



Programa de Pesquisa e  
Desenvolvimento - P&D



## Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 7-8

Evolução tecnológica  
nacional no segmento de  
assuntos sistêmicos do setor  
de energia elétrica

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) edita publicações sobre diversas temáticas que impactam a agenda do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI).

As edições são alinhadas à missão institucional do Centro de subsidiar os processos de tomada de decisão em temas relacionados à ciência, tecnologia e inovação, por meio de estudos em prospecção e avaliação estratégica baseados em ampla articulação com especialistas e instituições do SNCTI.

As publicações trazem resultados de alguns dos principais trabalhos desenvolvidos pelo Centro, dentro de abordagens como produção de alimentos, formação de recursos humanos, sustentabilidade e energia. Todas estão disponíveis gratuitamente para *download*.

A instituição também produz, semestralmente, a revista Parcerias Estratégicas, que apresenta contribuições de atores do SNCTI para o fortalecimento da área no País.

Você está recebendo uma dessas publicações, mas pode ter acesso a todo o acervo do Centro pelo nosso site: <http://www.cgge.org.br>.

Boa leitura!

#### Empresas:



#### Comitê estratégico:





# Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro

---

Volume 7-8

Evolução Tecnológica  
Nacional no Segmento  
de Assuntos Sistêmicos do  
Setor de Energia Elétrica



Brasília – DF  
2017

**Presidente em exercício**

*Marcio de Miranda Santos*

**Diretores**

*Antonio Carlos Filgueira Galvão*

*Gerson Gomes*

**Edição** / *Anna Cristina Araújo Rodrigues*

**Diagramação e infográficos** / *Contexto Gráfico*

**Capa** / *Eduardo Oliveira*

**Projeto Gráfico** / *Núcleo de Design Gráfico do CGEE*

**Apoio técnico ao projeto** / *Márcia Tupinambá*

*Catálogo na fonte*

C389P

Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: Evolução tecnológica nacional no segmento de assuntos sistêmicos. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. v.7.

400 p.; il, 24 cm

ISBN: 978-85-5569-138-6 (eletrônico)

1. Energia Elétrica. 2. Assuntos Sistêmicos. 3. Construção do Futuro. 4. Rotas Tecnológicas. 5. Foresight. I. CGEE. II. ANEEL. III. Título.

CDU 621.611:001.89

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), SCS Qd. 9, Torre C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, CEP: 70308-200 - Brasília, DF, Telefone: (61) 3424 9600, <http://www.cgee.org.br>

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que seja citada a fonte.

**Referência bibliográfica:**

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS- CGEE. Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: Evolução tecnológica nacional no segmento de assuntos sistêmicos. Brasília, DF: 2017. 400 p.



# Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro - Volume 7-8 - Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Assuntos Sistêmicos do Setor de Energia Elétrica

## **Supervisão**

Gerson Gomes

## **Coordenação**

Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti

## **Equipe técnica**

Alanna Alencar Coelho da Silva

Alexandre Braz Azevedo

Allan Parente Vasconcelos

Amanda Lopes Dantas (Estagiária)

Claudio Henrique Roth

Daniel Haubert de Freitas

Leonardo Ivo de Carvalho Silva

Márcia Tupinambá

Matheus Rafael Passos (Estagiário)

Ricardo Gonçalves Araújo Lima

Os textos apresentados nesta publicação são de responsabilidade dos autores.

## **Gerente do Projeto**

Anderson da Silva Jucá (CESP)

## **Coordenadora da Projeto**

Ceres Zenaide Barbosa Cavalcanti (CGEE)

## **Equipe da Apine**

Celso Maurício Correa

Daniel Costa Braga

Luis Fernando Souza Dias

Luiz Roberto Morgenstern Ferreira

Mauro Antônio Pereira

Régis Augusto Vieira Martins

## **Membros do Comitê Técnico Gestor**

Anderson da Silva Jucá (CESP)

André Pedretti (COPEL DIS)

Antonio Roberto Donadon (CPFL Sul Paulista e CPFL Piratininga)

Carlos Fernando Bley Carneiro (COPEL GeT)

Claudio Homero Ferreira da Silva (CEMIG GT)

Eduardo Heraldo dos Santos Silva (AES Tietê)

Frederico Bruno Ribas Soares (CEMIG GT)

Humberto Fernandes dos Santos (LIGHT)

João Adalberto Pereira (COPEL GeT)

José Tenorio Barreto Junior (LIGHT)

Marcus Vinícius Ferreira de Santana (BAESA e ENERCAN)

Rafael Gomes Bento (CPFL Sul Paulista e CPFL Piratininga)

Sérgio Ishida (CESP)

Vanessa Aparecida Coelho Andrade (CEMIG GT)

## **Membros do Comitê Consultivo**

José Sidnei Colombo Martini (USP)

Sergio de Oliveira Frontin (UnB)

Marciano Morozowski Filho (UFSC)

## **Membros do Comitê Estratégico**

Ailson de Souza Barbosa (Aneel)

Alexandre Viana (CCEE)

André Melo Bacellar (Aneel)

Ary Pinto (CCEE)

Fernando Campagnoli (Aneel)

Gilberto Hollauer (MME)

Jairo José Coura (MCTIC)

José Ricardo Ramos Sales (MDIC)

Luiz Alberto Machado Fortunato (ONS)

Marcos Vinícius Gonçalves da Silva Farinha (EPE)

Renata Nogueira Francisco de Carvalho (EPE)

Roberto Nogueira Fontoura Filho (ONS)

Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo (MCTIC)

Ubiratan Francisco Castellano (MME)

## **COLABORADORES – Participantes do 2º ciclo de reuniões de especialistas**

Adilson de Oliveira (UFRJ)

Afonso Henriques Moreira Santos (USP)

Alessandra Magrini (COPPE/UFRJ)

Alexandre Guedes Viana (CCEE)

Alfredo Carlos Orphão Lobo (Especialista)

Amaro Olimpio Pereira Junior (EPEMA)

Amilcar Guerreiro (EPE)

André Tortato Rauen (IPEA)

Andre Tosi Furtado (Unicamp)

Caetano Christophe Rosado Penna (UFRJ)

Caio Cesar Rocha Barroso (CEB)

Carla Mara Stacchini de Souza (EPE)

Carlos Alexandre Principe Pires (MME)

Cesar Lucio Correa de Sá Jr. (WeSee)

Claude Cohen (UFF)

Claudio J. D. Sales (Presidente do Instituto Acende Brasil)

Clóvis Ricardo Montenegro de Lima (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia)

Danielle Assafin Vieira Souza Silva (Inmetro)

David Alves Castelo Branco (COPPE/UFRJ)

Dorel Soares Ramos (USP)

Eduardo Pellini (USP)

Eduardo Viola (UnB)

Emílio Hiroshi Matsumura (EPE)

Felipe Sgarbi (Abrinstal)

Fernanda Sobral (UnB)

Fernando Luiz Cyrino Oliveira (PUC -RJ)

Francisco Anuatti Neto (USP)

Gilberto Hollauer (SPE/MME)

Gustavo Naciff de Andrade (EPE)

Jairo Coura (MCTIC)

Jorge Luís Ferreira Boeira (ABDI)  
José Eustáquio Diniz Alves (ENCE/RJ)  
José Felício da Silva (UnB)  
José Francisco Moreira Pessanha (Eletrobrás Cepel)  
José Wanderley Marangon Lima (UNIFEI)  
Lavinia Hollanda (Consultora)  
Lélio Fellows Filho (CNPq)  
Leontina Maria Viana Graziadio Pinto (Engenho Consultoria)  
Luciana Paz (Cepel)  
Luciano Basto de Oliveira (EPE)  
Luiz Edival de Souza (UNIFEI)  
Marcela Nunes Mesquista Ribas (CEB)  
Marcelo Knorich Zuffo (City/LSI)  
Marciano Morozowski Filho (WeSee)  
Marcos Vinicius Lobato (CEMIG)  
Maria Carlota Souza Paula (UnB)  
Maria de Fátima Ludovico de Almeida (PUC-RJ)  
Maria do Rosário Fabeni Hurtado (UnB)  
Mariana Weiss de Abreu (FGV Energia)  
Michelle Hallack (UFF)  
Osvaldo Soliano (CBEM)  
Paula Maçaira (PUC -RJ)  
Pedro Costa Ferreira (Model Thinking Br, RJ)  
Rafael Leme (Unifei)  
Rafael Theodoro Alves e Mello (EPE)  
Regina Gusmão (MCTIC)  
Reinaldo Castro Souza (PUC-RJ)  
Ricardo Cunha Perez (PSR)  
Ricardo Elias Caetano (Unifei)  
Ricardo Gorini (EPE)  
Roberto Barbieri (ABINEE)  
Roberto Nogueira Fontoura Filho (ONS)

Rodrigo Augusto Dias (Eneva)  
Rodrigo Flora Calili (PUC (RJ))  
Ruy Ramos (ITI)  
Sadalla Domingos (POLI/USP)  
Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo (MCTI)  
Sergio de Oliveira Frontin (UnB)  
Silvio Ikuyo Nabeta (USP)  
Simone Saviolo Rocha (EPE)  
Takaaki Ohishi (UNICAMP)  
Thiago Correa Cesar (EPE)  
Thiago Martins (EPE)  
Ubiratan F. Castellano (MME)  
Vinicius Neves Motta (FGV)

### **COLABORADORES – Contribuições nos Textos**

Adilson de Oliveira (UFRJ)  
Amaro Olimpio Pereira Júnior (EPEMA)  
Cesar Lucio Corrêa de Sá Jr (WeSee)  
Danielle Assafin Vieira Souza Silva (Inmetro)  
Eduardo Pellini (USP)  
Genaro Dueire Lins (Itaú Unibanco)  
Gheisa Esteves e Paula Maçaira (PUC-RJ)  
Giovanni Manassero Junior (USP)  
Marciano Morozowski Filho (WeSee)  
Maria Fátima Ludovico de Almeida (PUC-RJ)  
Michelle Hallack (UFF)  
Oswaldo Soliano (CBEM)  
Reinaldo Castro Souza (PUC-RJ)

# Sumário

---

<b>Resumo Executivo</b>	<b>19</b>
-------------------------	-----------

## Capítulo 1

<b>Introdução</b>	<b>31</b>
1.1 Contexto	31
1.2 O Projeto	32
1.2.1 Objetivo do Projeto	32
1.2.2 Metodologia do Projeto	33
1.3 Governança do Projeto	34
1.4 Objetivo do Livro	34
1.5 Conceitos das Macrotemáticas	35
1.5.1 Planejamento de CT&I	35
1.5.2 Modelos Econômicos e de Mercado	36
1.5.3 Demanda por Energia Elétrica	36
1.5.4 Modelos de Planejamento da Operação	36
1.5.5 Modelos de Planejamento da Expansão	36
1.5.6 Modelos Institucionais	36
1.5.7 Regulação	37
1.5.8 Sistemas de Informação e Estatística	37
1.5.9 Análise dos Impactos das Tecnologias	37
1.5.10 Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	37
1.5.11 Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	38
1.5.12 Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	38

1.6	Abordagem dos Capítulos	38
1.7	Análise Geral do Grupo Distribuição de Energia Elétrica (Tendências Nacionais e Internacionais)	39
1.7.1	Macrotemática Planejamento de CT&I	40
1.7.2	Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado	41
1.7.3	Macrotemática Demanda por Energia Elétrica	41
1.7.4	Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	42
1.7.5	Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão	43
1.7.6	Macrotemática Modelos Institucionais	44
1.7.7	Macrotemática Regulação	45
1.7.8	Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística	45
1.7.9	Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	46
1.7.10	Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	47
1.7.11	Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	48
1.7.12	Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	49
1.7.13	Principais Constatações	50

## Capítulo 2

<b>Macrotemática Planejamento de CT&amp;I</b>	<b>57</b>
2.1 Visão de Futuro	58
2.1.1 Cenário Setorial	58
2.1.2 Objetivo Geral	59
2.1.3 Objetivo Específico	59
2.1.4 Fundamentação	60



2.2	Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	61
2.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	64
	2.3.1 Temática: Modelos para Estudos Prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	64
	2.3.2 Temática: Modelos para Estudos de Prospecção Tecnológica	70
	2.3.3 Temática: Modelos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I e Tecnologias	75
	2.3.4 Temática: Metodologias de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I	80
2.4	Priorização	85

## Capítulo 3

	<b>Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado</b>	<b>91</b>
3.1	Visão de Futuro	91
	3.1.1 Cenário Setorial	91
	3.1.2 Objetivo Geral	93
	3.1.3 Objetivo Específico	93
	3.1.4 Fundamentação	94
3.2	Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	96
3.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	98
	3.3.1 Temática: Evolução	98
	3.3.2 Temática: Desenho de Mercado	105
	3.3.3 Temática: Interação	111
3.4	Priorização	114

## Capítulo 4

<b>Macrotemática Demanda por Energia Elétrica</b>	<b>119</b>
4.1 Visão de Futuro	120
4.1.1 Cenário Setorial	120
4.1.2 Objetivo Geral	120
4.1.3 Objetivo Específico	121
4.1.4 Fundamentação	122
4.2 Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	124
4.3 Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	126
4.3.1 Temática: Determinantes e Previsão da Demanda por Energia Elétrica	127
4.3.2 Temática: Gerenciamento pelo lado da demanda	135
4.4 Priorização	144

## Capítulo 5

<b>Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação</b>	<b>149</b>
5.1 Visão de Futuro	149
5.1.1 Cenário Setorial	149
5.1.2 Objetivo Geral	150
5.1.3 Objetivo Específico	150
5.1.4 Fundamentação	151
5.2 Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	152
5.3 Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	154

5.3.1	Temática: Modelo de Pré-despacho (Dia seguinte)	154
5.3.2	Temática: Modelo de Planejamento de Curto Prazo (Semana seguinte)	161
5.3.3	Temática: Modelo de Planejamento de Médio Prazo (Mês seguinte)	168
5.4	Priorização	173

## Capítulo 6

<b>Macrotemática</b>	<b>Modelos de Planejamento da Expansão</b>	<b>177</b>
6.1	Visão de Futuro	177
6.1.1	Cenário Setorial	177
6.1.2	Objetivo Geral	178
6.1.3	Objetivo Específico	178
6.1.4	Fundamentação	179
6.2	Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	181
6.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	183
6.3.1	Temática: Modelos de Curto e Médio Prazo (5 a 15 anos)	183
6.3.2	Temática: Modelos de Longo Prazo (Acima de 20 anos)	190
6.4	Priorização	196

## Capítulo 7

<b>Macrotemática Modelos Institucionais</b>	<b>201</b>
7.1 Visão de Futuro	202
7.1.1 Cenário Setorial	202
7.1.2 Objetivo Geral	203
7.1.3 Objetivo Específico	203
7.1.4 Fundamentação	204
7.2 Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	205
7.3 Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	206
7.3.1 Temática: Coordenação	207
7.3.2 Temática: Concorrência	210
7.3.3 Temática: Confiabilidade	213
7.3.4 Temática: Competitividade	216
7.4 Priorização	219

## Capítulo 8

<b>Macrotemática Regulação</b>	<b>223</b>
8.1 Visão de Futuro	225
8.1.1 Cenário Setorial	225
8.1.2 Objetivo Geral	225
8.1.3 Objetivo Específico	225
8.1.4 Fundamentação	226

8.2	Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	227
8.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	228
	8.3.1 Temática: Transporte e Armazenagem	229
	8.3.2 Temática: Mercado Atacadista	231
	8.3.3 Temática: Mercado Varejista	234
	8.3.4 Temática: Inovação	237
8.4	Priorização	240

## Capítulo 9

<b>Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística</b>	<b>245</b>	
9.1	Visão de Futuro	246
	9.1.1 Cenário Setorial	246
	9.1.2 Objetivo Geral	246
	9.1.3 Objetivo Específico	246
	9.1.4 Fundamentação	247
9.2	Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	248
9.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	250
	9.3.1 Temática: Estruturação de Bases de Dados	251
	9.3.2 Temática: Gestão de Bases de Dados	253
9.4	Priorização	261

## Capítulo 10

<b>Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias</b>	<b>265</b>
10.1 Visão de Futuro	266
10.1.1 Cenário Setorial	266
10.1.2 Objetivo Geral	266
10.1.3 Objetivo Específico	266
10.1.4 Fundamentação	267
10.2 Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	269
10.3 Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	270
10.3.1 Temática: Modelos de Avaliação dos Impactos Econômicos, Sociais e Ambientais das Tecnologias do Setor Elétrico	270
10.3.2 Temática: Impactos das Fontes de Geração de Energia Elétrica sobre as Tecnologias	273
10.3.3 Temática: Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias	284
10.4 Priorização	292

## Capítulo 11

<b>Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas</b>	<b>297</b>
11.1 Visão de Futuro	298
11.1.1 Cenário Setorial	298
11.1.2 Objetivo Geral	298
11.1.3 Objetivo Específico	299
11.1.4 Fundamentação	299
11.2 Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	300

11.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	302
11.3.1	Temática: Políticas Públicas voltadas para pesquisas tecnológicas	302
11.3.2	Temática: Políticas Públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia	304
11.3.3	Temática: Políticas Públicas voltadas para Aspectos Socioambientais	309
11.3.4	Temática: Políticas Internacionais	313
11.4	Priorização	315

## Capítulo 12

	<b>Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade</b>	<b>321</b>
12.1	Visão de Futuro	321
12.1.1	Cenário Setorial	322
12.1.2	Objetivo Geral	322
12.1.3	Objetivo Específico	323
12.1.4	Fundamentação	324
12.2	Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	325
12.3	Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	327
12.3.1	Temática: Metrologia	327
12.3.2	Temática Normalização e Regulamentação Técnica	330
12.3.3	Temática: Avaliação da Conformidade	332
12.3.4	Temática: Governança e Vigilância de Mercado	334
12.4	Priorização	336

## Capítulo 13

<b>Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos</b>	<b>339</b>
13.1 Visão de Futuro	340
13.1.1 Cenário Setorial	340
13.1.2 Objetivo Geral	341
13.1.3 Objetivo Específico	341
13.1.4 Fundamentação	342
13.2 Caracterização das Métricas da Macrotemática para o Cenário Futuro	345
13.3 Estudo e Prospecção das Rotas Tecnológicas	348
13.3.1 Temática: Perfil do Profissional para trabalhar no Setor Elétrico	348
13.3.2 Temática: Metodologias e Tecnologias Aplicadas à Capacitação de Recursos Humanos	351
13.4 Priorização	357
Referências Bibliográficas	359
Anexo - Planilha de Indicadores	377
Lista de Gráficos	381
Lista de Tabelas	389
Lista de Siglas e Abreviaturas	395





## Resumo Executivo

Abordagem sistêmica é uma **metodologia** que busca conjugar conceitos de diversas **ciências** a respeito de determinado objeto de **pesquisa** (no caso deste relatório, o Projeto de Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica). É baseada na ideia de que determinado objeto de estudo apresenta várias dimensões e facetas que podem ser estudadas e entendidas por diversas ciências (modelos computacionais, econômicos, políticos e normativos) e que conceitos e princípios emanados de diferentes ciências podem ser empregados no estudo e na compreensão de determinado **fenômeno** (adequação técnica, econômica e regulada do setor elétrico) por determinada ciência.

O Grupo Temático Assuntos Sistêmicos reúne 12 macrotemáticas com características diversas.

Essa diversidade de temas e conteúdos dificulta uma análise direta de cada macrotemática, pois se entende evolução tecnológica, para o grupo temático, mais na forma de evolução do conhecimento do que de uma tecnologia propriamente dita.

Considerando esse cenário, bem como o aporte da pesquisa e desenvolvimento (P&D), via programas como o P&D Aneel, o futuro do conhecimento relativo a assuntos sistêmicos transversais a todo o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) é caracterizado conforme apresentado a seguir.

### Planejamento de CT&I

- **Visão de futuro:** desenvolvimento para planejamento de ciência, tecnologia e inovação (CT&I) de ciclo completo, integrado, de alto desempenho e na busca pela fronteira do conhecimento, de forma a considerar a necessidade de pesquisa em áreas tradicionais, mas ainda relevantes para o SEB, como suporte à formulação de políticas públicas e estratégias corporativas de atores comprometidos com a inovação e a sustentabilidade do SEB;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática Planejamento de CT&I dizem respeito a modelos para: estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação (SSI), estudos de prospecção tecnológica, seleção e priorização de linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I. Nesse contexto, a maior parte do conhecimento associado ao planejamento de CT&I alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica em médio e longo prazo. A evolução desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores:<sup>1</sup> revisão

<sup>1</sup> Fatores portadores de futuro.

do marco regulatório de CT&I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&I; produção científica crescente; fatores culturais e institucionais do SEB; política de incentivo e governança do SEB; política definida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e pelo Ministério de Minas e Energia (MME);

- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, a combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias, novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias e métodos híbridos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I.

### Modelos Econômicos e de Mercado

- **Visão de futuro:** desenvolvimento de novos modelos que passem pelo escrutínio da comunidade científica, capazes de lidar com um ambiente tecnológico e social mais complexo, diverso e inovativo. O objetivo do PD&I em modelos econômicos é construir instrumentos que ajudem os agentes a tomar decisões. Os modelos econômicos e de mercado precisarão se adaptar às inovações internas ao setor de energia, como novos produtos de energia (por exemplo, diferenciação de qualidade de serviços, produtos pré-pagos, níveis diferentes de segurança de abastecimento) e interação de pequenos agentes no mercado (incluindo os consumidores no mercado de energia livre);
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática modelos econômicos e de mercado dizem respeito a: modelos de evolução, que consideram comportamento, sistema, inovação tecnológica e transição; modelos de desenho de mercado, que consideram definição de produtos, formação de preços e remuneração, arquitetura, subsídios e interação entre agentes; modelos de interação, que consideram modelos de interações intersetoriais e de coevolução. Nesse contexto, a maior parte do conhecimento associado aos modelos econômicos e de mercado alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica nas décadas de 2030 e 2040. A evolução desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: aumento da complexidade sistêmica, formação de capital humano em tecnologia e economia da energia, conhecimento técnico em engenharia, estabilidade regulatória e aumento de base de informação;
- **Rotas priorizadas:** para atender à demanda futura por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, o desenvolvimento de modelos de definição de produtos, de arquitetura e de formação de preços e remuneração (tarifas).



## Demanda por Energia Elétrica

- **Visão de futuro:** desenvolvimento de ferramentas e modelos que permitam estabelecer uma visão da evolução futura do mercado de energia elétrica, em horizontes de curto, médio e longo prazo, com ênfase na demanda das diversas classes de consumo, a saber, residencial, comercial, industrial, rural, serviços, poderes públicos e outros;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática Demanda por Energia Elétrica dizem respeito ao estudo de fatores determinantes e de previsão da demanda de energia elétrica e ao estudo do gerenciamento pelo lado da demanda, o que envolve pesquisas de técnicas de resposta à demanda, do próprio gerenciamento desta e da participação cada vez maior da geração distribuída no sistema. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à demanda de energia elétrica alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica nas décadas de 2040 e 2050. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento no Brasil depende, principalmente, dos seguintes fatores: existência de capacitação técnica para lidar com a complexidade dos modelos, particularidades que devem ser estudadas de forma individual; evolução dos modelos de inteligência artificial e *Big Data*, disponibilidade de dados que suportem o desenvolvimento de modelos mais desagregados, taxas de difusão e preços de equipamentos de geração distribuída que começaram a ser utilizados no Brasil.
- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por essas tecnologias e por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, os estudos de fatores determinantes e para previsão da demanda de energia elétrica e para os estudos de técnicas de resposta à demanda.

## Modelos de Planejamento da Operação

- **Visão de futuro:** identificação das tendências de investimento em PD&I que deverão ser incentivadas para alinhar as ferramentas para uso no planejamento da operação às mudanças tecnológicas, regulatórias, de modelos de negócios e de aspectos comportamentais de agentes de consumo visualizadas no período de 2020 a 2050. Essas ferramentas deverão evoluir tanto do ponto de vista de técnicas de modelagem (otimização ou simulação, arquiteturas de *hardware* etc.) quanto do ponto de vista da representação dos aspectos energético-econômicos e de qualidade do atendimento à carga do sistema elétrico brasileiro;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática modelos de planejamento da operação dizem respeito aos modelos de pré-despacho, que consideram a previsão, a metodologia atual, os estudos elétricos, as novas fontes de produção de energia e a oferta dos agentes; aos modelos de planejamento de curto prazo, que consideram a

melhoria da representação das incertezas das afluências, a evolução da metodologia atual, a inserção da representação do mercado de gás natural, a consideração das restrições do atendimento da carga de ponta e a melhoria na representação das incertezas sobre a carga de energia; e aos modelos de planejamento de médio prazo, que consideram a evolução da metodologia atual, o estudo de metodologia para representar o sistema elétrico de forma individualizada e a representação do atendimento da ponta de carga. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à macrotêmica alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica no médio e longo prazo, sendo que a maior parte das rotas chegará ao estágio máximo de maturidade tecnológica em 2040 ou 2050. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: possibilidade de estudo para novas abordagens para resolução do problema da operação; necessidade de integrar novas fontes de energia e seus impactos; novas tendências de consumo e equipamentos podem ser incompatíveis com as metodologias em uso; evolução do sistema e base de agentes a ser gerenciada; complexidade na gestão das integrações do sistema entre agentes; requisitos de segurança e auditoria; aumento da complexidade para representar novos recursos; metodologia atual já é consolidada; é necessário garantir a convergência e a estabilidade da metodologia;

- **Rotas prioritizadas:** para atender a demanda futura por essas tecnologias e por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, os modelos de previsão (informações básicas para os modelos) e os estudos elétricos para o pré-despacho e a melhoria na representação das incertezas sobre a carga de energia para o planejamento de curto prazo.

## Modelos de Planejamento da Expansão

- **Visão de futuro:** o foco principal dos investimentos em PD&I deverá ser a instrumentalização do planejamento da expansão da geração e transmissão por meio de conceitos, métodos e modelos, critérios e procedimentos que incorporem as inovações técnicas e alterações do ambiente regulatório e institucional do setor elétrico, em harmonia com os processos de operação e de comercialização de energia;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotêmica Modelos de Planejamento da Expansão dizem respeito ao desenvolvimento de modelos integrados, à representação apurada da operação nos modelos de expansão e ao desenvolvimento de modelos de expansão com decisão sob incerteza, sob diferentes enfoques, considerando os estudos de curto e o médio prazo de forma conjunta e o longo prazo separadamente. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à macrotêmica alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica



nas décadas de 2030 e 2040. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: disponibilidade de ampla base de dados de novas tecnologias e novas fontes intermitentes desenvolvimento de algoritmos, investimentos em capacidade computacional e custo computacional da incorporação das fontes de incerteza.

- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por essas tecnologias e por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, a representação apurada da operação nos modelos de expansão, o desenvolvimento de modelos integrados e o desenvolvimento de modelos de expansão com decisão sob incerteza, sob o enfoque de modelos de curto e médio prazo.

### Modelos Institucionais

- **Visão de futuro:** identificação das opções de arquitetura institucional que contemplem as diferentes instâncias de governança federais, estaduais e não governamentais (sem fins lucrativos);
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática Modelos Institucionais dizem respeito a conhecimento e estudos de regulação, planejamento e operação do SEB, considerando os enfoques de coordenação, concorrência, confiabilidade e competitividade entre os diversos agentes que compõem o sistema. Nesse contexto, a maior parte do conhecimento associado à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica na década de 2040. A evolução desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: mudanças climáticas, política energética, desenvolvimento das redes elétricas inteligentes (REI), geração distribuída, fontes intermitentes, ampliação do mercado livre, usos consuntivos da água, difusão de veículos elétricos e desigualdades sociais e regionais;
- **Rotas priorizadas:** para atender à demanda futura por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, estudos sobre operação, regulação e planejamento, sob o enfoque de coordenação entre os agentes que compõem o SEB.

### Regulação

- **Visão de futuro:** identificação de modelos de mercado e mudanças regulatórias necessárias para adequar o sistema elétrico às mudanças no cenário setorial e exploração de alternativas regulatórias para a gestão dos riscos decorrentes de novas modalidades de negócios;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática regulação dizem respeito a:

coordenação e confiabilidade, concorrência e competitividade entre agentes e serviços do setor de energia elétrica, com enfoque no transporte e na armazenagem, no mercado atacadista, no mercado varejista e de inovação. Nesse contexto, a maior parte do conhecimento associado à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica nas décadas de 2040 e 2050. A evolução desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: mudanças climáticas, difusão de baterias, REI, integração com países vizinhos, tarifas nodais, recuperação de custos afundados e gestão de incertezas;

- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, a coordenação e a confiabilidade entre agentes e serviços no setor de energia elétrica, com enfoque em transporte e armazenagem, mercado atacadista, concorrência e competitividade entre os agentes e serviços no setor de energia elétrica, este com enfoque no mercado atacadista.

## Sistemas de Informação e Estatística

- **Visão de futuro:** especificar e sistematizar a integração de bancos de dados, permitindo acesso e publicação, de forma unificada e estruturada, de múltiplos sistemas de informações no ambiente do sistema elétrico, a ser permanentemente atualizado pelos diversos corpos técnicos especializados dos agentes do setor e pelos consumidores e cidadãos em geral;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica da macrotemática dizem respeito à estruturação de bases de dados, o desenvolvimento de metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados, gestão de bases de dados, estudos de infraestrutura de processamento e comunicação, estudos de segurança e arquitetura de sistemas e à pesquisa de metodologias e padrões de desenvolvimento e gestão de tecnologias de informação e comunicação (TIC). Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica nas décadas de 2040 e 2050. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: existência de bancos de dados unificados em outros países; existência de particularidades que devem ser estudadas de forma individual no Brasil, compatibilização de informações diferentes, sobre um mesmo dado, entre as diferentes esferas (geração, transmissão e distribuição) são acesso não público a muitas informações do setor de energia elétrica.
- **Rotas priorizadas:** para atender à demanda futura por essas tecnologias e por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, o desenvolvimento de metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados, de estudos para desenvolvimento de infraestrutura de processamento e comunicação,



estudos para desenvolvimento de metodologias e padrões para o desenvolvimento e gestão de TIC.

## Análise dos Impactos das Tecnologias

- **Visão de futuro:** viabilização de modelos de análise que permitam avaliar adequadamente os impactos positivos e negativos de projetos energéticos sobre o meio ambiente, a sociedade e a economia do país. Devem ser considerados a produção e o uso de energia, além da necessidade de uma dinâmica suficiente para acompanhar o desenvolvimento das novas tecnologias cujas fontes primárias são renováveis e variáveis, como a eólica e a solar. Devem também ser consideradas as formas de armazenamento de energia. É importante também adequar os modelos de análise para abarcar a geração distribuída, que vem tomando novas formas manifestadas nas REI;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática análise dos impactos das tecnologias dizem respeito ao desenvolvimento de modelos de avaliação dos impactos das tecnologias do setor elétrico, aos estudos dos impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias, no que tange à hidroeletricidade, ao uso de petróleo, gás e derivados, à energia nuclear, à energia solar, à energia eólica, à energia proveniente de biomassa e à pesquisa sobre os impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias, no que tange ao armazenamento de energia, à geração distribuída, às REI (*smart grid*), aos padrões de consumo de energia e à cogeração de energia. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica em médio e longo prazo, nas décadas de 2030, 2040 e 2050. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: adoção, pela EPE, de modelos de análise de impactos nos planos de expansão; aumento dos usos múltiplos da água que impactam o aproveitamento hidrelétrico e os recursos hídricos, larga experiência em exploração de petróleo e gás natural no Brasil, bem como na avaliação dos respectivos impactos socioambientais, definição do destino dos resíduos de alta radioatividade para a energia nuclear; intermitência da geração solar e eólica, que causa dificuldades na operação do Sistema Interligado Nacional (SIN); podendo gerar impactos nas redes elétricas, geração distribuída favorecida pelas fontes de geração de biomassa, armazenamento de energia, que viabiliza a geração com fontes intermitentes, geração distribuída, que implica em mudança na estrutura produtiva de energia, pouco conhecimento sobre impactos das REI, mudança do comportamento do consumidor de energia elétrica, que depende do progresso tecnológico e complementaridade entre as fontes, que é possibilitada pela cogeração.
- **Rotas prioritizadas:** para atender à demanda futura por essas tecnologias e por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo,

modelos de avaliação de impactos das tecnologias do setor elétrico, estudos sobre padrões de consumo de energia e pesquisa sobre possíveis impactos das REI.

### Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

- **Visão de futuro:** desenvolvimento de modelos, com apoio de metodologias quantitativas e qualitativas, para estudar, simular e avaliar o efeito de políticas públicas e de mecanismos que podem ser utilizados na sua implementação, integrando, além das dimensões econômica e energética, as dimensões ambiental, social e de aspectos intersetoriais, a exemplo das políticas industriais, de saneamento, de transporte, dentre outras;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas dizem respeito a: políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas de CT&I, políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia, políticas públicas voltadas para aspectos socioambientais e políticas internacionais. Nesse contexto, a maior parte do conhecimento associado à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica na década de 2030, em médio prazo. A evolução desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: indefinição de uma política nacional de CT&I com foco em energia; falta de integração histórica entre o setor industrial nacional e o setor de CT&I; carência de modelos de integração do setor de energia com demais setores; programa de P&D da Aneel; dificuldade de internalizar o conceito de desenvolvimento sustentável e precificar custos e benefícios de gerações futuras; necessidade de manter a questão ambiental no foco do setor elétrico, em face dos compromissos assumidos pelo país; necessidade de agilizar a universalização do serviço de energia elétrica; perspectivas de integração energética regional e global e necessidade de se pensar na integração energética regional e global;
- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, a pesquisa para políticas públicas voltadas para o setor de energia, a pesquisa para políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas de CT&I e a pesquisa para políticas públicas voltadas para o setor industrial.

### Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

- **Visão de futuro:** o sistema de controle metrológico deverá prover a adequada rastreabilidade das medições realizadas, com base no desenvolvimento de métodos e processos de medição de referência nacional primária para as calibrações de instrumentos, com destaque às PMU (*phasor measurement unit*) e àqueles equipamentos aplicáveis ao





fornecimento de energias renováveis, como anemômetros, sonômetros, acelerômetros e piranômetros. O desempenho esperado dos equipamentos, processos e serviços da cadeia de fornecimento de energia elétrica deverá ser padronizado por meio do estabelecimento de requisitos técnicos. Para aumentar o grau de confiança de que os equipamentos, processos e serviços atendam aos requisitos técnicos estabelecidos, deverão ser desenvolvidas formas de determinação da conformidade (ensaios, inspeção, auditorias, verificações, medições etc.), que podem dar subsídios, inclusive, a programas de avaliação da conformidade. Por fim, para que as diferentes frentes desta macrotemática se desenvolvam de forma planejada e alinhada, há de se estabelecer governança e vigilância do mercado, com a definição de um modelo de coordenação institucional entre os atores envolvidos na normalização e regulamentação técnica, no desenvolvimento de modelos e ferramentas (inclusive computacionais) para análise de impacto e resultado regulatório, bem como para validação, aperfeiçoamento e revisão de normas e regulamentos técnicos, para definição do modelo de vigilância do mercado adequado para garantir a regularidade do SEB e para o desenvolvimento de tecnologias de gestão aplicadas às empresas do setor elétrico para conformidade e *compliance* às normas e regulamentações técnicas;

- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática normalização, regulamentação e avaliação de conformidade dizem respeito a estudos para desenvolvimento da confiabilidade metrológica do setor elétrico, aos estudos para desenvolvimento do referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços, aos estudos para garantir a conformidade dos equipamentos, processos e serviços, às normas e aos regulamentos técnicos e aos estudos para desenvolvimento da coordenação institucional e apoio à atividade regulatória, considerando a governança e a vigilância de mercado. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica em longo prazo, na década de 2050. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: limitada interação direta entre laboratórios primários e setor produtivo, o que dificulta o desenvolvimento de soluções aplicadas; inexistência de coordenação institucional entre os atores envolvidos na normalização e regulamentação, necessária para solucionar os problemas afetos ao sistema elétrico; leis e fundamentos que norteiam as atividades de avaliação da conformidade são bem consolidados nacionalmente e alinhados às práticas internacionais; existência de um órgão acreditador oficial de acreditação, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), existência do Comitê Brasileiro de Regulamentação (CBR), que pode ser utilizado como fórum para coordenação institucional, ambiente jurídico que não penaliza a contento agentes infratores, o que enfraquece ações de vigilância de mercado.
- **Rotas prioritizadas:** para atender a demanda futura por essas tecnologias e por esse

conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, pesquisas para garantir a coordenação institucional e o apoio à atividade regulatória, a confiabilidade metrológica do setor elétrico e o desenvolvimento do referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços.

## Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

- **Visão de futuro:** capacitação de recursos humanos deverá prover mão de obra especializada, capacitada e treinada para dar suporte à área de serviços, nas seguintes atividades: planejamento, projeto, implantação, comercialização, manutenção e operação de redes elétricas e seus equipamentos. São também necessários recursos humanos nas áreas de engenharia, pesquisa, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias para o setor, considerando as questões relacionadas ao meio ambiente e ao ciclo de vida dos ativos. Esse pessoal será destinado tanto ao trabalho em redes elétricas existentes (seja em expansão, seja em repotenciação e reforma), quanto no projeto de novos empreendimentos, com requisitos de nível superior e técnico ímpares e conhecimentos multidisciplinares;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas dessa macrotemática dizem respeito à identificação dos requisitos e habilidades profissionais dos recursos humanos, quanto ao perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico, e a metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos, no que tange a metodologias de treinamento, ensino e experimentação, e a tecnologias de simulação, emulação, treinamento e experimentação. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias e do conhecimento associados à macrotemática alcançará estágio máximo de maturidade tecnológica em longo prazo, na década de 2050. A evolução dessas tecnologias e desse conhecimento depende, principalmente, dos seguintes fatores: maiores incentivos para promover a troca de informações e experiências, o intercâmbio de profissionais e tecnologias no setor elétrico; disponibilidade e acesso a ferramentas e recursos tecnológicos para apoio ao ensino, incentivo e promoção do intercâmbio de professores e pesquisadores em âmbito nacional e internacional, por meio da promoção de eventos, seminários e *workshops* para fins de comunicação e troca de experiências; valorização da formação continuada dos profissionais nas empresas e instituições; incentivo à produção de protótipos, lotes pioneiros e tecnologias nacionais; aumento de parcerias para promover a nacionalização de tecnologias e eliminação de dificuldades para compra de componentes e recursos importados para finalidades de pesquisa e desenvolvimento;
- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por essas tecnologias e por esse conhecimento, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, as pesquisas para identificação dos requisitos e habilidades profissionais, quanto ao perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico.



## Capítulo 1

---





# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contexto

Os estudos de futuro são muito utilizados por diferentes países na construção de sua estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), especialmente na seleção de onde e como aportar os seus recursos de fomento à Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). O Brasil possui tradição nos estudos de planejamento elétrico que projetam demanda e oferta de energia elétrica e, com base neles, estuda a necessidade de investimento na infraestrutura do setor. Todavia, o mesmo não é tradicionalmente realizado na construção da estratégia de investimentos de CT&I para o setor elétrico.

Desde meados da década de 1990, o governo federal brasileiro redireciona as Políticas de CT&I para o setor produtivo esperando intensificar as atividades de inovação nas empresas. Os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia (Lei nº 11.540/2007), a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004) e a Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005) são exemplos desse esforço. O governo brasileiro algumas vezes utiliza-se de estudos prospectivos, como vários dos estudos em temas específicos encomendados ao CGEE pelo MCTI ao longo dos últimos anos. Todavia, não há um processo definido nem um estudo amplo setorial de maneira a identificar oportunidades e, dessa forma, selecionar qual área a se aprofundar.

O planejamento da CT&I no setor também vem se tornando uma preocupação cada vez maior entre os agentes. Um estudo anterior do CGEE (2015) mostra que as empresas do setor também reconhecem a importância de estudos de prospecção focados na priorização de temáticas para melhorar a eficácia do Programa de P&D regulado pela Aneel. Os exercícios de projeção de consumo realizados pelo governo e de forma independente por outros agentes indicam uma necessidade de crescimento de capacidade instalada acima de 300%<sup>2</sup> para 2050. Isso impõe o desafio para o PD&I do setor que deverá estimular avanços e inovações, mas também grandes oportunidades de novos

---

<sup>2</sup> Ano base: 2015.

negócios para o setor e toda a sua cadeia produtiva. Neste contexto nasceu a proposta do projeto *Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica*.

## 1.2 O Projeto

A Equipe da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel, responsável por acompanhar o Programa de P&D do setor elétrico (Lei nº 9.991/2000), tem preocupação em definir uma estratégia para o programa de forma a gerar resultados mais eficientes. Para auxiliá-los com esse objetivo, a própria equipe idealizou o projeto *Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica*.

Nesse contexto, a Aneel solicitou uma proposta ao CGEE. A proposta do estudo, aceita pela Aneel, busca identificar e selecionar temáticas de PD&I no setor elétrico que desenvolvam soluções para vencer os futuros desafios desse setor. Busca ainda identificar quais são as possíveis ações de CT&I necessárias, de maneira a otimizar os recursos do Programa de P&D regulado pela Aneel no fomento ao desenvolvimento dessas temáticas.

A proposta foi apresentada às empresas concessionárias do setor elétrico, com recurso oriundo do programa P&D regulado pela Aneel para aplicar em P&D, de maneira a identificar os possíveis interessados em financiar o projeto. Iniciou-se, então, um processo de articulação entre o CGEE, a APINE (que liderou o processo junto às empresas) e as empresas interessadas para desenhar a proposta final e firmar o contrato de serviço. O resultado foi o estabelecimento de um contrato de 11 empresas<sup>3</sup> do setor com as executoras, APINE e o CGEE. A primeira ficou responsável pela interação entre as partes e a segunda com a responsabilidade da parte técnica do estudo.

A Aneel, por meio da Nota Técnica nº 0095/2014-SPE/Aneel retificada pelo ofício 0203/2016 - SPE/Aneel (19/agosto/2016) autorizou o uso de recursos do Programa de P&D, regulado por essa agência para o desenvolvimento do projeto. Os resultados subsidiarão a definição de temas estratégicos e projetos prioritários para a Aneel, como também auxiliarão o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério de Minas e Energia (MME) no processo de formulação de políticas públicas voltadas ao setor de energia nacional.

### 1.2.1 Objetivo do projeto

O Projeto<sup>4</sup> *Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica* tem por objetivo construir propostas de ações de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) para o direcionamento dos recursos do Programa de P&D, regulado pela Aneel.

<sup>3</sup> AES; BAESA; CEMIG GT; CESP; COPEL DIS; COPEL GeT; CPFL PIRATININGA; CPFL SUL PAULISTA; ENERCAN; e LIGHT

<sup>4</sup> Convênio: CP&D001/2014; identificação no CGEE: 7.32.51.01.01; cadastro na Aneel: PED-0061-0046/2014.



O foco deve ser no desenvolvimento da CT&I no setor de energia elétrica nacional, buscando o crescimento da participação da tecnologia nacional ou, quando couber, a transferência com absorção de tecnologia estrangeira, promovendo a competitividade das empresas de energia e suas respectivas cadeias produtivas no Brasil.

Conforme dispõe o contrato (001/2014) e retificado no Ofício 0203/2016 - SPE/ANEEL, o foco do estudo é o setor de energia elétrica<sup>5</sup>. Assim, combustíveis, eficiência energética e demais temáticas gerais serão considerados no contexto de energia elétrica.

Para facilitar a operação do trabalho, o estudo foi dividido em cinco grupos temáticos<sup>6</sup>: Grupo 1 - Geração de energia elétrica e Armazenamento de energia; Grupo 2 - Transmissão de energia elétrica; Grupo 3 - Distribuição de energia elétrica; Grupo 4 - Eficiência energética; Grupo 5 - Assuntos Sistêmicos.

## 1.2.2 Metodologia do projeto

Atualmente, os estudos de futuros são entendidos como um resultado sistêmico de múltiplos fatores e as decisões devem levar em conta elementos de cunho político-sociais e não apenas obedecer a resultados técnicos. Ao enfatizar-se a importância da combinação de resultados de diversos métodos, ganha-se em flexibilidade e reduz-se o caráter determinista tradicionalmente associado ao *forecasting*.

O estudo *Prospecção tecnológica no Setor de Energia Elétrica* faz uso dos diferentes métodos, mas utiliza o *foresight* como base, tendo em vista a dificuldade e o risco de realizar estudos de cunho muito determinísticos para definir uma estratégia de P&D sem um objetivo previamente delineado.

O processo básico de *foresight* encontrado na literatura se divide em 3 etapas: diagnóstico, prognóstico e prescrição. Para facilitar o detalhamento da metodologia proposta, o projeto adaptou e dividiu o processo em quatro etapas:

- Diagnóstico;
- Construção do Futuro;
- Posicionamento;
- Consolidação final.

<sup>5</sup> Inicialmente excluía a energia nuclear, que passou a ser incluída conforme decisões, constando em ata, das reuniões do comitê Técnico do projeto e retificado pelo Ofício 0203/2016 – SPE/ANEEL.

<sup>6</sup> A proposta inicial descrita no contrato 001/2014 foi alterada e retificada nas reuniões do comitê técnico gestor (Conforme descrito na ata da reunião de abertura do projeto, realizada no dia 07/08/2015) e do ofício 0203/2016 – SPE/ANEEL.

A etapa do diagnóstico busca identificar opções temáticas, a sua situação, potencialidades e dificuldades associadas. Com base nas análises dessas informações, inicia-se o processo de construção do futuro, o qual descreve a visão de futuro, a evolução da maturidade, as trajetórias tecnológicas e priorização das rotas tecnológicas. O mapa do conhecimento descreve as linhas de PD&I para as diferentes áreas temáticas. Esse mapa, resultante da primeira etapa e revisado na segunda etapa do processo, associado às informações levantadas ao longo do projeto, será o objeto de detalhamento do planejamento estratégico (posicionamento) que finaliza com a construção da agenda. Conclui-se com a consolidação de todo o processo por meio da construção dos documentos finais.

### 1.3 Governança do projeto

O projeto foi dimensionado para apresentar diversos produtos com o objetivo de promover um processo de validação ao longo do estudo por três comitês diferentes de acompanhamento com perfis distintos. São eles:

- a) Comitê técnico gestor das empresas<sup>7</sup>: Formado por representantes das empresas parceiras que financiam o projeto, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente e comandar a parte de gestão do projeto;
- b) Comitê estratégico<sup>8</sup>: Formado por representantes das instituições que compõem a governança do setor, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente o projeto de forma a alinhar as estratégias setoriais;
- c) Comitê consultivo<sup>9</sup>: Formado por especialistas seniores do setor, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente o projeto, representando a Academia.

### 1.4 Objetivo do livro

O livro aborda os resultados da etapa construção de futuro para as 12 macrotemáticas pertencentes ao grupo temático Assuntos Sistêmicos, e faz parte da coletânea de oito livros, que compõem os resultados do Projeto Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica. Sendo eles:

- Volume 01 - Documento Executivo
- Volume 02 - Diagnóstico da CT&I no setor elétrico brasileiro

<sup>7</sup> AES; Baesa, Cemig GT; Cesp; Copel DIS; Copel GeT; CPFL Piratininga; CPFL Sul Paulista; Enercan; e Light.

<sup>8</sup> Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel); Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC); Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC); Ministério de Minas e Energia (MME); Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

<sup>9</sup> Formado por representantes de três instituições de pesquisa de diferentes regiões.





- Volume 03 - Evolução tecnológica nacional no segmento de geração de energia elétrica e armazenamento de energia
- Volume 04 - Evolução tecnológica nacional no segmento de transmissão de energia elétrica
- Volume 05 - Evolução tecnológica nacional no segmento de distribuição de energia elétrica
- Volume 06 - Evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética
- Volume 07 - Evolução tecnológica nacional no segmento de assuntos sistêmicos do setor de energia elétrica
- Volume 08 - Agenda estratégica de CT&I no setor elétrico brasileiro

Como resultados da etapa construção de futuro, o livro apresenta a visão de futuro das macrotemáticas, o estudo de prospecção das tecnologias trabalhadas nas rotas tecnológicas (*roadmaps tecnológicos*) e a priorização dessas rotas para os investimentos de P&D no setor elétrico.

Os roadmaps tecnológicos mostram a evolução da maturidade dessas tecnologias, bem como as questões condicionantes para a sua evolução.

## 1.5 Conceitos das macrotemáticas

O Grupo Temático Assuntos Sistêmicos contempla questões relacionadas à gestão do SEB, endereçadas aos ramos da economia (modelos de eficiência econômica), aspectos institucionais (políticas e regulação), impactos técnico-econômicos e socioambientais, na sua expansão e operação (planejamento do sistema e previsão da demanda), confiabilidade operacional, impactos das tecnologias, além de tópicos transversais, como planejamento de CT&I, tecnologias para capacitação, normalização, regulamentação e avaliação de conformidade e estrutura de dados e informações sobre o sistema elétrico brasileiro.

As macrotemáticas relativas ao Grupo Temático Assuntos Sistêmicos são conceituadas a seguir.

### 1.5.1 Planejamento de CT&I

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas aos estudos de identificação, priorização e planejamento de linhas de PD&I e ações de CT&I. Considera modelos para estudos prospectivos do SSI, modelos para estudos de prospecção tecnológica, modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I, tecnologias e metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I, abordando modelos baseados em programação matemática, modelos multicritério, modelos de decisão em grupo e negociação e modelos de decisão sob incerteza, além de abordar modelos na fronteira do conhecimento.

## 1.5.2 Modelos Econômicos e de Mercado

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas aos modelos de comportamento, modelos de inovação/aprendizagem tecnológica, modelos de evolução do sistema, modelos de transição de desenho de mercado, modelos de definição de produtos, modelos de formação de preços e remuneração (tarifas), modelos de desenho de subsídios, modelos de arquitetura de mercado, modelos de interação entre os agentes (negócios), modelos de interações intersetoriais e modelos de coevolução. Aborda igualmente riscos regulatórios, modelos de leilões, impactos econômicos das políticas energética e industrial, avaliação de ativos e impacto de novas tecnologias na formação de preço da energia.

## 1.5.3 Demanda por Energia Elétrica

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I sobre o comportamento do consumidor no tocante ao consumo de energia elétrica (determinantes e previsão da demanda), os programas de gerenciamento pelo lado da demanda, incluindo técnicas de resposta à demanda e geração distribuída, o empoderamento dos consumidores e as metodologias e os modelos para estimar a demanda futura.

## 1.5.4 Modelos de Planejamento da Operação

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas a métodos, conceitos e critérios, ferramentas computacionais e critérios econômicos, elétricos, energéticos e ambientais, relativos aos modelos de pré-despacho (dia seguinte), modelos de planejamento de curto prazo (semana seguinte) e modelos de planejamento de médio prazo (mês seguinte). Tais modelos são necessários para a formulação de alternativas e recomendação das fontes de geração e linhas de transmissão, técnica e economicamente mais adequados para a operação do SIN.

## 1.5.5 Modelos de Planejamento da Expansão

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas a métodos, conceitos e critérios, ferramentas computacionais e critérios econômicos, elétricos, energéticos e ambientais, relativos aos modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos) e aos modelos de longo prazo (acima de 20 anos). Tais modelos são necessários para a formulação de alternativas e recomendação das fontes de geração e linhas de transmissão, técnica e economicamente mais adequados para a expansão do SIN.

## 1.5.6 Modelos Institucionais

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas aos modelos que regem a participação dos diferentes agentes (planejador, regulador, operador) que atuam no mercado



de energia elétrica nos segmentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização e da governança dos órgãos governamentais que estabelecem políticas, resoluções e procedimentos de tal maneira que o setor possa se desenvolver de forma integrada, levando em conta aspectos de coordenação, concorrência, confiabilidade e competitividade. É relevante notar que essa macrotemática é ampla e transversal, com apresentação das características principais da governança do setor de energia elétrica.

### 1.5.7 Regulação

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas a formação e análise de marcos regulatórios voltados para o ordenamento das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil, relativos a coordenação e confiabilidade, concorrência e competitividade no transporte e na armazenagem, mercado atacadista, mercado varejista e inovações tecnológicas. São apresentados aspectos relevantes da governança da regulação em termos da concessão, regulamentação, fiscalização, operação e mediação, ordenamento de leis, atos, resoluções, decretos e procedimentos e sugestões de melhorias voltadas para as áreas de PD&I.

### 1.5.8 Sistemas de Informação e Estatística

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas à estruturação e à gestão de bases de dados do setor elétrico, com foco na segurança cibernética (segurança e arquitetura de sistemas), na análise de dados utilizando técnicas de *Big Data*, ferramentas de *business intelligence* (metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados), infraestrutura de processamento e comunicação, metodologias e padrões de desenvolvimento e gestão de TIC e estatística aplicada.

### 1.5.9 Análise dos Impactos das Tecnologias

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas aos modelos de avaliação dos impactos das tecnologias aplicadas ao setor de energia elétrica, considerando os impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias (hidroeletricidade, uso de petróleo, gás e derivados, energia nuclear, solar, eólica, da biomassa), os impactos do uso e do armazenamento de energia e tecnologias (geração distribuída, uso das baterias, REI, padrões de consumo de energia e cogeração), considerando as dimensões econômicas, sociais e ambientais.

### 1.5.10 Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas a modelos para a formação de políticas públicas de CT&I, ambiental, voltadas para setores da energia, indústria e economia, direcionadas para aspectos socioambientais e para políticas internacionais, entre outras que favoreçam o desenvolvimento do SEB.

### 1.5.11 Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas aos processos de elaboração e adequação às normas, de certificação e garantia de conformidade, qualidade e segurança da cadeia produtiva do setor de energia elétrica, relativos a metrologia, normalização e regulamentação técnica, avaliação de conformidade, coordenação institucional e apoio a atividade regulatória, no que tange a governança e vigilância de mercado, objetivando reduzir perdas e melhorar a gestão de todo o processo produtivo.

### 1.5.12 Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas à identificação do perfil do profissional para trabalhar no setor de energia elétrica e a metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos, objetivando melhorar a qualificação dos profissionais que trabalham no SEB.

## 1.6 Abordagem dos capítulos

Para cada uma das macrotemáticas apresentadas, é dedicado um capítulo, subdividido em quatro seções. Nestas seções, são definidos os objetivos que se buscam obter por meio do aporte da PD&I e o cenário geral prospectado para o horizonte considerado, além das métricas de evolução da macrotemática. A partir desse cenário, foi projetada a evolução da maturidade tecnológica de cada rota. Por fim, levando-se em consideração os objetivos, os cenários e a evolução das rotas, indica-se uma ordem de prioridade de investimentos e de recursos visando à maximização dos ganhos para o Setor Elétrico Brasileiro (SEB).

Inicialmente é apresentada **a visão geral da macrotemática** e o que ela aborda em termos de PD&I. Apresentam-se as temáticas, de acordo com o Mapa do Conhecimento (apresentado no Diagnóstico).

A seção **Visão de Futuro** apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos do desenvolvimento nacional da CT&I na macrotemática, considerando os horizontes de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazos (2030-2050). Para tanto, é descrito inicialmente o cenário setorial da macrotemática, com as premissas baseadas no capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”). Apresenta-se, ainda, uma fundamentação teórica da visão de futuro que contextualiza as informações apresentadas no cenário mais detalhado para a macrotemática.

A seção **Caracterização das métricas para o cenário futuro** busca representar o cenário geral de cada macrotemática, por meio de fatores que procuram explicar a evolução tecnológica da macrotemática no tempo: evolução tecnológica, estratégia setorial, questão socioambiental,



produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. Para cada macrotemática, foram definidas métricas referentes a diferentes dimensões de análise, conforme apresentado na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A seção **Estudo e prospecção das rotas tecnológicas** apresenta, por temática, os roadmaps tecnológicos de cada rota da macrotemática. Os *roadmaps* se caracterizam pelos gráficos de evolução da maturidade tecnológica de cada rota,<sup>10</sup> associados aos seus fatores portadores de futuro.<sup>11</sup> Desta forma, tem-se uma ideia geral do que é necessário ser desenvolvido em termos de PD&I para que cada rota evolua ao longo do horizonte considerado no Projeto de Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica (até 2050).

Por fim, a seção **Priorização das rotas** define a ordem de prioridade das rotas tecnológicas para o direcionamento dos investimentos e recursos. Tal ordem foi definida levando-se em consideração os objetivos da macrotemática, a sua ordem cronológica de desenvolvimento nos períodos de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo prazos (2030-2050), o cenário setorial e a evolução do estágio de maturidade das rotas consideradas. Objetiva-se, dessa forma, definir o que é possível e o que se deve desenvolver de forma mais urgente, para que a macrotemática evolua como um todo e seus objetivos sejam atingidos. Ressalva-se que as rotas evoluem de forma concomitante.

## 1.7 Análise geral do grupo Assuntos Sistêmicos (tendências nacionais e internacionais)

A diversidade de temas e conteúdos do Grupo Temático Assuntos Sistêmicos dificulta uma análise direta das visões de futuro, razão pela qual elaborou-se uma metodologia de análise estrutural.

Nesta metodologia abordam-se as macrotemáticas, com base nos seguintes atributos principais:

- Propósito (para quê?)
- Perspectiva (para quem?)
  - Agentes econômicos: geradores, transmissores, distribuidores;
  - Agentes reguladores: Aneel, ANA, ANP etc.;
  - Agentes do sistema: EPE, ONS;
  - Agentes institucionais: MME, MMA, MCTIC etc.

<sup>10</sup> Para a compreensão do procedimento realizado para a formulação dos gráficos, ver Capítulo Metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”).

<sup>11</sup> Condicionantes para o desenvolvimento da rota tecnológica tal qual prospectado, os quais podem acelerar ou retardar a sua evolução.

- Produtos (tipos de entregáveis)
  - Metodologias;
  - Modelos computacionais (*softwares*).
- Premissas (diretrizes e/ou requisitos)

A análise de tendências nacionais e internacionais objetiva identificar potenciais contribuições para cada macrotemática de desenvolvimentos análogos ou correlatos realizados no exterior. O critério usado na análise é o de relevância e aplicabilidade das tendências internacionais em eventuais projetos de PD&I que venham a ser desenvolvidos no Brasil.

### 1.7.1 Macrotemática Planejamento de CT&I

#### **Propósito**

- Desenvolver métodos e modelos para planejamento de CT&I.

#### **Perspectiva**

- Agentes institucionais;
- Agentes econômicos.

#### **Produtos**

- Métodos, modelos e ferramentas computacionais (*softwares*).

#### **Premissas**

- Desenvolver ciclo completo e integrado de pesquisas na fronteira do conhecimento;
- Promover a aplicabilidade na formulação de políticas públicas e estratégias corporativas.

Em contraste com outras macrotemáticas desse grupo, o referencial básico dessa macrotemática está no plano internacional, como o atesta a ampla bibliografia citada na correspondente nota técnica. Assim, boa parte da pesquisa na área tem como foco identificar métodos e ferramentas de prospecção, bem como tendências e abordagens emergentes dessa macrotemática no exterior. Os modelos para prospecção de sistemas setoriais de inovação partem da convergência de três componentes: conhecimento, processo de aprendizagem e tecnologia; atores, redes e instituições. A construção de cenários, em particular, vem crescendo em importância e uso, tanto no Brasil quanto em nível internacional. Neste nível, a produção científica sobre novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias é ainda incipiente. A produção científica sobre modelos e métodos para monitorar e avaliar resultados e impactos de PD&I é crescente em nível mundial, abrindo janelas de oportunidade para o desenvolvimento colaborativo de projetos de PD&I colaborativos entre instituições brasileiras e estrangeiras.



## 1.7.2 Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado

### Propósito

- Desenvolver métodos e modelos de suporte à decisão adequados à realidade nacional.

### Perspectiva

- Agentes econômicos;
- Agentes reguladores.

### Produtos

- Desenho de políticas públicas com foco em eficiência econômica;
- Modelos de regulação com foco no equilíbrio de interesse de agentes;
- Especificação de novos modelos de negócio para agentes econômicos.

### Premissas

- Realizar escrutínio da comunidade científica;
- Modelar complexidade, diversidade e inovação sociotécnica:
  - Intra-setorial: pequenos agentes, consumidores livres etc.;
  - Inter-setorial: energia elétrica, telecomunicações, transporte;
  - Políticas: energia, urbanas (cidades inteligentes), ambientais e sociais.
- Modelar produtos de energia:
  - Produtos pré-pagos;
  - Qualidade de serviço diferenciada;
  - Segurança de abastecimento diferenciada.
- Modelar mudanças institucionais e organizacionais na indústria de energia.

Nessa macrotemática, as principais referências no plano internacional são a *International Energy Agency* (IEA) e o *Harvard Electricity Policy Group* (HEPG). No plano nacional, os principais centros de referência são o Cepel, a EPE e o CERJ da FGV. O avanço realizado no exterior tem sido internalizado no Brasil por meio de pesquisas acadêmicas, com pouca repercussão em empresas e instituições setoriais.

## 1.7.3 Macrotemática Demanda por Energia Elétrica

### Propósito

- Desenvolver ferramentas e modelos para projeção da demanda de energia elétrica.

### Perspectiva

- Agentes do sistema;
- Agentes econômicos.

### **Produtos**

- Métodos, modelos e *softwares* para uso na projeção da demanda de energia elétrica.

### **Premissas**

- Considerar múltiplas classes de consumo:
  - Residencial;
  - Comercial;
  - Industrial;
  - Rural;
  - Serviços;
  - Poderes públicos.
- Considerar múltiplos horizontes de análise:
  - Curto prazo;
  - Médio prazo;
  - Longo prazo.

Essa macrotemática tem por objetivo apontar as linhas de P&DI que necessitam de melhorias, bem como as necessidades futuras do mercado de energia elétrica. Para determinar o estado da arte nacional nessa macrotemática, foram levantadas informações na Agência Nacional de Energia elétrica (Aneel) sobre projetos de P&D realizados no Brasil, além de pesquisas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS) sobre publicações nesse tema. No plano internacional, foram consultadas as publicações no tema em países como a Alemanha, por meio da *Scopus* e da *Web of Science* (WoS). A pesquisa aponta, como tendência internacional, a construção de modelos *bottom-up* para previsão de demanda. Tais modelos são aplicados em países desenvolvidos para projetar todas as classes de consumo com alto grau de precisão e com a vantagem de permitir a análise de cenários de eficiência energética. Como exemplo da eficácia dessa abordagem, citam-se os modelos desenvolvidos pelo Instituto Fraunhofer, na Alemanha, aplicados nos 28 países da União Europeia, na Noruega, na Suíça e na Turquia. De modo geral, há referências internacionais sobre todas as linhas dessa macrotemática, mas os modelos disponíveis devem ser adaptados às particularidades do caso brasileiro, como extensão territorial e os distintos comportamentos dos consumidores em cada região eletrográfica do sistema brasileiro.

## **1.7.4 Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação**

### **Propósito**

- Instrumentar planejamento da operação em face das mudanças previstas (2020-2050).

### **Perspectiva**

- Agente operador do sistema.



**Produtos**

- Métodos e modelos computacionais para operação;
- Critérios e procedimentos de operação.

**Premissas**

- Considerar novos modelos de negócios;
- Incorporar mudanças tecnológicas e regulatórias;
- Incluir aspectos comportamentais de consumidores;
- Garantir qualidade de atendimento à carga do sistema elétrico;
- Representar melhor aspectos energético-econômicos.

De forma similar ao que ocorre com os modelos de planejamento da expansão, não há defasagens significativas entre modelos desenvolvidos ou em uso no Brasil e modelos de origem internacional. No exterior, avanços observados na modelagem de fontes renováveis intermitentes poderão facilitar as mudanças na estrutura de oferta, em padrões de consumo e na reação de consumidores industriais ou comerciais a sinais de preço, como já acontece em vários mercados no exterior.

### 1.7.5 Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão

**Propósito**

- Instrumentar planejamento da expansão da geração e transmissão.

**Perspectiva**

- Agente planejador do sistema.

**Produtos**

- Métodos e modelos computacionais para expansão do sistema;
- Conceitos básicos, critérios e procedimentos de expansão.

**Premissas**

- Alinhar com processos de operação e comercialização de energia elétrica;
- Incorporar alterações regulatórias e institucionais no setor elétrico;
- Incorporar inovações técnicas:
  - Representação adequada de fontes intermitentes e sazonais (eólica e solar);
  - Formas de armazenamento de energia (em forma elétrica ou não);
  - Variáveis técnicas e socioambientais.
- Incorporar melhorias e adequações
  - Geração distribuída;
  - Redes elétricas inteligentes (*smart grids*);

- Veículos elétricos e outras inovações em nível de distribuição;
- Aspectos comportamentais dos consumidores (prosumidores).

Na esfera internacional, as referências de modelos para planejamento da expansão são os desenvolvidos por agências como a Agência Internacional de Energia (IEA), a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), o Departamento de Energia do Estados Unidos (DOE), além de universidades, centros de pesquisa e instituições privadas. Dentre os modelos de longo prazo, destacam-se, no plano internacional, o PLEXOS Integrated Energy Model, desenvolvido pela Energy Exemplar; The Open Source Energy Modeling System (OSeMOSYS), desenvolvido pelo Departamento de Tecnologia da Energia da KTH, além dos modelos MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact), desenvolvido pelo IIASA, e o MARKAL (Market Allocation), desenvolvido pelo ETSAP, estes dois últimos já usados no Brasil. No plano nacional, dispõe-se dos modelos MELP (Modelo de Expansão de Longo Prazo) e MATRIZ (Modelo de Projeção da Matriz Energética),<sup>12</sup> desenvolvidos pelo Cepel; MODPIN (Modelo de Planejamento sob Incerteza), desenvolvido pelo Cepel para a Olade; MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético), desenvolvido pela Coppe/UFRJ; OptGen (Expansão da geração e interligações), desenvolvido pela PSR etc. Não se observam atrasos significativos, em termos de atualidade, entre modelos desenvolvidos no Brasil e no exterior, com a vantagem, para os modelos nacionais, de melhor representar as especificidades do sistema brasileiro. Em ambos os planos, nacional e internacional, o grande desafio atual é a correta representação de fontes intermitentes no planejamento de médio e longo prazo. Sob esse aspecto, poderá haver ganhos com a incorporação, nos modelos nacionais, de avanços observados no exterior.

### 1.7.6 Macrotêmica Modelos Institucionais

#### **Propósito**

- Desenvolver métodos e critérios para formular e avaliar arquiteturas institucionais.

#### **Perspectiva**

- Agentes institucionais;
- Agentes reguladores.

#### **Produtos**

- Métodos, modelos e critérios para desenhar e testar arranjos institucionais.

#### **Premissas**

- Otimizar estrutura institucional e coordenar decisões;
- Focar entes governamentais em nível federal e estadual;
- Focar entidades não governamentais sem fins lucrativos.

<sup>12</sup> No PNE 2030, a EPE usou o MELP. Para o próximo PNE, a EPE pretende utilizar o Matriz.



Essa macrotemática tem por objetivo geral identificar opções de arquitetura institucional que contemplem a atuação de diferentes instâncias de governança: federais, estaduais e não governamentais (sem fins lucrativos). O estado da arte nacional, nessa macrotemática, não apresenta defasagem significativa em relação ao estado da arte internacional, como o atesta a extensa literatura sobre mudanças na arquitetura institucional no setor elétrico no Brasil e no resto do mundo. No plano internacional, merece atenção a análise de distintas estruturas institucionais adotadas em mercados elétricos com características diversas, que oferece instrumentos e mecanismos de gestão, indicando aspectos positivos e suas limitações.

### 1.7.7 Macrotemática Regulação

#### **Propósito**

- Desenvolver métodos para desenhar e avaliar estruturas de mercado e mudanças regulatórias.

#### **Perspectiva**

- Agentes institucionais;
- Agentes reguladores.

#### **Produtos**

- Métodos, modelos e critérios para análise de arranjos regulatórios.

#### **Premissas**

- Adequar o sistema a mudanças no cenário setorial;
- Considerar alternativas regulatórias para gestão de riscos;
- Identificar e quantificar riscos de novos ambientes de negócios.

Essa macrotemática tem por objetivo geral identificar modelos de mercado e as mudanças regulatórias necessárias para adequar o setor elétrico às mudanças no cenário setorial, bem como explorar alternativas regulatórias para a gestão de riscos decorrentes de novos ambientes de negócios. A literatura que trata da regulação na indústria elétrica é extensa, tanto no Brasil quanto no resto do mundo, o que sinaliza a comparabilidade do estado da arte nacional e internacional, em âmbito acadêmico. A evolução dessa macrotemática no Brasil, de forma similar a outras desse grupo, depende menos da disponibilidade de referenciais teóricos adequados do que de avanços institucionais no SEB.

### 1.7.8 Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística

#### **Propósito**

- Desenvolver propostas de sistematização e integração de bancos de dados setoriais.

**Perspectiva**

- Agentes econômicos;
- Agentes do sistema.

**Produtos**

- Especificação de estrutura de dados e informações sobre o sistema elétrico brasileiro.

**Premissas**

- Assegurar acesso e publicitação de dados de forma unificada e estruturada;
- Considerar os múltiplos sistemas de informações do sistema elétrico;
- Assegurar conteúdo permanentemente atualizado;
- Envolver consumidores e sociedade em geral;
- Identificar corpos técnicos especializados.

A visão de futuro para essa macrotemática tem por objetivo viabilizar um banco de dados unificado do setor energético, desvinculado de *softwares* em uso, estruturado e mantido por corpo técnico permanente e especializado, preferencialmente no âmbito de uma agência nacional de informação. Como principais referências internacionais, citam-se o *US Energy Information Administration* (EIA)<sup>13</sup> e a base de dados da Eurostat, que podem servir de inspiração para a base de dados do setor energético no Brasil. A inexistência de uma referência nacional, nesse campo, se deve às dificuldades na coleta de dados do setor energético do Brasil, desde a não padronização atual de informações dos segmentos de geração, transmissão e distribuição até políticas de não divulgação de certa classe de dados.

### 1.7.9 Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias

**Propósito**

- Desenvolver metodologias para analisar os impactos de projetos energéticos.

**Perspectiva**

- Agentes reguladores;
- Agentes econômicos.

**Produtos**

- Métodos, modelos e métricas para análise de impactos regulatórios.

**Premissas**

- Considerar impactos em múltiplas dimensões:

<sup>13</sup> U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics & Analysis. <https://www.eia.gov>.



- Social;
- Ambiental;
- Econômica.
- Considerar desenvolvimento tecnológico na produção e uso de energia:
  - Geração distribuída;
  - Fontes eólica e solar;
  - Armazenamento de energia;
  - Redes elétricas inteligentes (*smart grids*).

Essa macrotemática visa identificar impactos de fontes e tecnologias de energia e modelar os efeitos desses impactos. Também nessa área, o referencial do conhecimento está no plano internacional, em agências como a Agência Internacional de Energia (IEA), a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), o Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados (IIASA), a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), além de universidades, centros de pesquisa e instituições privadas. No Brasil, as principais referências são o Cepel e a Eletrobras. Na temática modelos de avaliação, há modelos que integram variáveis socioambientais, mas os principais estudos ainda são acadêmicos. Na temática modelos de análise, a disponibilidade de modelos internacionais pode facilitar a construção de modelos nacionais por meio de cooperação internacional, uma vez superados os obstáculos institucionais para a adoção desse tipo de modelo no planejamento do sistema.

### 1.7.10 Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

#### Propósito

- Desenvolver modelos para avaliar políticas públicas e mecanismos de implementação.

#### Perspectiva

- Agentes institucionais;
- Agentes reguladores.

#### Produtos

- Métodos e modelos computacionais (*softwares*);
- Sistemas de suporte à decisão de formuladores de políticas.

#### Premissas

- Considerar múltiplas dimensões de análise:
  - Econômica;
  - Energética;
  - Ambiental;
  - Social.

- Modelar políticas intersetoriais:
  - Industrial;
  - Transporte;
  - Saneamento.
- Implementar múltiplos critérios de avaliação:
  - Eficácia;
  - Eficiência;
  - Efetividade.
- Viabilizar análise de impactos:
  - Análise de impacto regulatório;
  - Modelos de planejamento energético;
  - Risco associado à incerteza de resultados de políticas.
- Pesquisar uso de megadados em sistema de suporte à decisão.

Essa macrotemática tem por objetivo desenvolver modelos e metodologias prospectivas para simular o efeito de políticas públicas e mecanismos para sua implementação. Esses novos modelos deverão buscar a incorporação de análises de risco de políticas públicas e de sistemas de suporte à decisão por meio do uso de megadados (*Big Data*), com impacto direto nos modelos de planejamento energético e de análise de impactos regulatórios. A principal referência citada na análise dessa macrotemática<sup>14</sup> indica tendência de evolução das técnicas de modelagem de políticas públicas similares às que balizam o desenvolvimento da macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado.

### 1.7.11 Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

#### **Propósito**

- Instrumentar controle metrológico da qualidade de energia elétrica.

#### **Perspectiva**

- Agentes da indústria;
- Agentes reguladores.

#### **Produtos**

- Sistema de controle metrológico;
- Métodos e processos de medição e calibração;
- Métodos e procedimentos de segurança cibernética;
- Métodos e modelos para avaliar e vigiar conformidade;

<sup>14</sup> ESTRADA, R.; ARTURO, M.; YAP; SU FEI. The origins and evolution of policy modeling. In: Journal of Policy Modeling, v. 35, p. 170-182, 2013.



- Modelos computacionais para análise de impacto regulatório;
- Tecnologias de gestão com foco em conformidade e *compliance*.

### Premissas

- Pesquisar metrologia quântica como suporte da metrologia elétrica;
- Padronizar requisitos técnicos para regulamentação técnico-metrológica;
- Definir referência nacional primária para métodos e processos de medição;
- Assegurar rastreabilidade de medições no sistema de controle metrológico;
- Considerar especificidades e requisitos nacionais para segurança cibernética;
- Promover a coordenação institucional na elaboração de normas e regulamentação técnica;
- Desenvolver métodos e processos de calibração com foco em energia renovável e *smart grids*:
  - Calibração de medidores elétricos inteligentes;
  - Sinais não senoidais para qualidade de energia elétrica;
  - Referências para calibração de biogás e misturas gasosas.

Essa macrotemática aborda a contribuição de atividades de normalização, regulamentação e avaliação da conformidade para a confiabilidade e segurança do sistema elétrico. Também nesse caso, o estado da arte do conhecimento, no âmbito do setor elétrico, está atualizado em relação às práticas internacionais, pois as empresas do setor no Brasil têm participação ativa em grupos de trabalho e comitês técnicos do Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (CIGRÉ) e do *The Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), principais órgãos internacionais no desenvolvimento de normas técnicas para sistemas de potência. O mesmo vale para as atividades de normalização e regulamentação técnica, no âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e de agências reguladoras e órgãos de governo que consolidam os regulamentos técnicos. Deve ser observado que muitas das soluções internacionais não são adequadas ao perfil de riscos para a segurança cibernética no Brasil, que difere daquele verificado nos demais países. De modo geral, as leis e os fundamentos que norteiam a avaliação da conformidade no Brasil estão bem consolidados e alinhados às práticas internacionais.

### 1.7.12 Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

#### Propósito

- Desenvolver ferramentas de ensino e treinamento para preparar recursos humanos.

#### Perspectiva

- Agentes econômicos;
- Agentes do sistema.

## Produtos

- Técnicas e ferramentas para qualificar e formar recursos humanos para o setor elétrico.

## Premissas

- Otimizar a estrutura educacional e interligar instituições;
- Estabelecer metas de qualificação em nível superior e técnico;
- Definir currículos para formação na área de redes e equipamentos:
  - Planejamento, projeto e implantação;
  - Operação e manutenção;
  - Repotenciação e reforma;
  - Comercialização de energia.
- Focalizar formação multidisciplinar:
  - P&D: produtos e tecnologias;
  - Engenharia de projeto;
  - Ciclo de vida de ativos;
  - Aspectos ambientais.

As principais referências para a PD&I nessa área residem no plano internacional. Embora estas referências não sejam aplicáveis de imediato ao Brasil, sinalizam importantes linhas de desenvolvimento para essa macrotemática. Isso se deve ao fato de que boa parte das tecnologias usadas no setor elétrico é importada, o que ressalta a necessidade de acordos e parcerias com instituições estrangeiras para acelerar o processo de nacionalização e transferência tecnológica às empresas nacionais. Para o desenvolvimento de tecnologias e ferramentas para capacitação, há competência no país, porém aplicada em outros setores da indústria ou dependente de equipamentos e insumos importados. Em especial, na rota **metodologias de treinamento, ensino e experimentação**, uma das linhas de PD&I vislumbradas é a prospecção e análise de metodologias para capacitação e formação profissional, com base em experiências de países como Coreia do Sul e Estados Unidos. Na rota **tecnologias de simulação, emulação, treinamento e experimentação**, estabelecida para agrupar linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas de ferramentas e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos, é importante nacionalizar e desenvolver tecnologias e produtos para as áreas de ensino e treinamento de forma específica para o SEB. Dada a defasagem tecnológica em setores como eletrônica embarcada, eletrônica digital e analógica, conversores, computadores e plataformas digitais, prevê-se que as soluções para essa macrotemática sejam realizadas inicialmente com equipamentos e infraestrutura importados em face da baixa presença de ferramentas de apoio ao ensino com base em tecnologia exclusivamente nacional.

### 1.7.13 Principais constatações

De forma geral, observa-se que o estado da arte, no Brasil, de grande parte dos temas objeto desse grupo temático é comparável ao estado da arte internacional. Destacam-se, nas macrotemáticas





relacionadas ao planejamento energético, os avanços consideráveis que o Brasil tem realizado, em relação ao resto do mundo, como o atesta a difusão internacional de métodos e modelos desenvolvidos no Brasil. Tais avanços se devem, em grande parte, às características físicas e operacionais do sistema brasileiro, que exigiram pesados investimentos, ao longo de décadas, para desenvolver e validar métodos e modelos computacionais que representassem adequadamente esse sistema.

Essa constatação se aplica às demais macrotemáticas desse grupo, em graus variados, dependendo do nível de implementação, por parte de agentes setoriais, de inovações oriundas de projetos de PD&I realizados por instituições brasileiras. Em muitos casos, a implementação de inovações no setor elétrico esbarra em limites políticos ou regulatórios.<sup>15</sup> Como esse tipo de dificuldade afeta praticamente todas as macrotemáticas desse grupo, os avanços verificados se limitam a protótipos ou pilotos que não atingem a escala necessária para acelerar a maturação do conhecimento, como ocorre em outros países.

A Tabela 1 sintetiza o conjunto de macrotemáticas, compondo um quadro analítico que serve de referência para a análise estrutural dessas macrotemáticas, visando identificar similaridades e complementaridades entre as macrotemáticas desse grupo, como abordado no item a seguir.

**Tabela 1** - Macrotemáticas do Grupo Assuntos Sistêmicos: Quadro Analítico

Macrotemática (sigla)	Propósito	Perspectiva	Produtos
Modelos de Planejamento da Expansão (MPE)	Instrumentar planejamento da expansão da geração e transmissão	Agente planejador do sistema	Métodos e modelos computacionais para expansão Conceitos, critérios e procedimentos de expansão
Modelos de Planejamento da Operação (MPO)	Instrumentar planejamento da operação em face das mudanças previstas (2020-2050)	Agente operador do sistema	Métodos e modelos computacionais para operação Critérios e procedimentos de operação
Modelos de Avaliação de Políticas Públicas (MAPP)	Desenvolver modelos para avaliar políticas públicas e mecanismos de implementação	Agentes institucionais Agentes reguladores	Métodos e modelos computacionais e sistema de suporte à decisão de formuladores de políticas
Modelos Econômicos e de Mercado (MEM)	Desenvolver métodos e modelos de suporte à decisão adequados à realidade nacional	Agentes econômicos Agentes reguladores	Desenho de políticas públicas, modelos de regulação e modelos de negócio inovadores

<sup>15</sup> Um caso emblemático é o despacho por oferta de preços, paralisado, em 2002, por injunções políticas, que causaram atraso de 15 anos em um tema central para a eficiência econômica do sistema elétrico.

<b>Macrotemática (sigla)</b>	<b>Propósito</b>	<b>Perspectiva</b>	<b>Produtos</b>
Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade (NRAC)	Instrumentar controle metrológico da qualidade da energia elétrica	Agentes da indústria Agentes reguladores	Sistema de controle metrológico, métodos e processos de medição e calibração etc.
Planejamento de CT&I (PCTI)	Desenvolver métodos e modelos para planejamento de CT&I	Agentes institucionais Agentes reguladores	Métodos, modelos e ferramentas computacionais ( <i>softwares</i> )
Tecnologia para Capacitação de RH (TCRH)	Desenvolver ferramentas de ensino e treinamento para preparar recursos humanos	Agentes econômicos Agentes do sistema	Técnicas e ferramentas para qualificar e formar recursos humanos para o setor elétrico
Modelos Institucionais (MINS)	Desenvolver métodos e critérios para formular e avaliar arquiteturas institucionais	Agentes institucionais Agentes reguladores	Métodos, modelos e critérios para desenhar e testar arranjos institucionais
Regulação (REG)	Desenvolver métodos para desenhar e avaliar estruturas de mercado e mudanças regulatórias	Poder concedente Agentes reguladores	Métodos, modelos e métricas para análise de impactos regulatórios
Análise dos Impactos das Tecnologias (AIT)	Desenvolver metodologias para analisar os impactos de projetos energéticos	Agentes reguladores Agentes econômicos	Métodos e modelos de análise de impactos tecnológicos
Demanda por Energia Elétrica (DEE)	Desenvolver ferramentas e modelos para projeção da demanda de energia elétrica	Agentes do sistema Agentes econômicos	Métodos, modelos e <i>softwares</i> para uso na projeção da demanda de energia elétrica
Sistemas de Informação e Estatística (SIE)	Desenvolver propostas de sistematização e integração de bancos de dados setoriais	Agentes econômicos Agentes do sistema	Especificação de estrutura de dados e informações sobre sistema elétrico brasileiro

Fonte: Elaboração própria.

O resultado da análise estrutural está sintetizado na Matriz de Influências (Tabela 2), indicando o grau de influência mútua entre macrotemáticas, como segue:



- Similaridade (S): macrotemáticas com alto potencial de influência mútua (alta sinergia);
- Complementaridade (C): macrotemáticas com médio potencial de influência mútua.

**Tabela 2** - Macrotemáticas do Grupo Assuntos Sistêmicos: Matriz de Influências

	MPE	MPO	MAPP	MEM	NRAC	PCTI	TCRH	MINS	REG	AIT	DEE	SIE
MPE		S								C		C
MPO	S									C		C
MAPP				S						C		C
MEM			S							C	S	C
NRAC												C
PCTI											C	C
TCRH												
MINS									S			
REG								S				
AIT	C	C	C	C								
DEE				S		C						C
SIE	C	C	C	C	C	C					C	

Fonte: Elaboração própria.

### Legenda:

Relação de influência	Sigla
Similaridade	S
Complementaridade	C

Essa metodologia e a matriz de influências podem ser aplicadas também na identificação de similaridades e complementaridades entre linhas e projetos de pesquisa, contribuindo para a construção de redes de colaboração mais eficientes e eficazes.





## Capítulo 2

---





## Capítulo 2

# Macrotemática Planejamento de CT&I

Planejamento de CT&I é um campo do conhecimento que está se deslocando da abordagem tradicional para enfoques dinâmicos, que incorporam alternativas e opções geradas por combinação de modelos conhecidos e pelo desenvolvimento de novos modelos, explorando-se áreas de fronteira desse campo.

A adoção de enfoques dinâmicos permitirá obter um entendimento mais completo das forças que moldam o futuro e que devem ser levadas em consideração na tomada de decisão relacionada ao planejamento de CT&I do SEB. A Aneel, as empresas e demais atores que integram o sistema de inovação do SEB deverão incluir ferramentas qualitativas e quantitativas para monitorar sinais e indicadores das tendências em CT&I e promover a geração de soluções completas nas áreas de interesse estratégico, consoante um direcionamento eficaz dos recursos garantidos por lei para as atividades de PD&I do setor.

A metodologia adotada para a macrotemática compreendeu a revisão da literatura sobre as temáticas centrais de planejamento de CT&I e consulta a bases de dados internacionais e ao Portal de Inovação<sup>16</sup> para identificação de especialistas e grupos de pesquisa atuantes nesse campo.

Dentre os trabalhos de referência consultados, destacam-se: *The handbook of technology foresight: Concepts and practice* (GEORGHIOU et al., 2008); *Research infrastructure foresight: Practical guide for integrating foresight in research infrastructures policy formulation* (KEENAN; POPPER, 2007); *The evolution of strategic foresight: Navigating public policy making* (KUOSA, 2012); e *Research and technology management in the electricity industry: Methods, tools and case studies* (DAIM et al., 2013).

<sup>16</sup> Atualmente, o Portal de Inovação tem 30 mil registros de empresas, agentes de inovação e de institutos de pesquisa, além de ser integrado à Plataforma Lattes, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCTIC).

Além desses trabalhos, identificaram-se e analisaram-se artigos de revisão da literatura sobre planejamento de CT&I (POPPER, 2009; PORTER, 2010; MILES, 2010; KUOSA, 2011; CHO; DAIM, 2013) e artigos publicados em 2010 no número especial *Emerging Methods and Application Areas in Technology Foresight*, do periódico *Foresight: the Journal of Futures Studies, Strategic Thinking and Policy*. Buscou-se identificar tipologias de métodos e ferramentas de prospecção, bem como tendências e abordagens emergentes da macrotemática.

Para a macrotemática em questão, consideram-se as seguintes temáticas de PD&I:

- Modelos para estudos prospectivos do SSI;
- Modelos para estudos de prospecção tecnológica;
- Modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias;
- Metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I.

## 2.1 Visão de futuro

### 2.1.1 Cenário setorial

Do cenário setorial, de acordo com o capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), destacam-se as principais condicionantes de futuro referentes à macrotemática em foco, nos horizontes de curto (2020), médio (2030) e longo prazo (2050), conforme a Tabela 3.

**Tabela 3** - Principais Condicionantes do Cenário Setorial nos Horizontes de Curto (2020), Médio (2030) e Longo prazo (2050)

Horizonte	Condicionantes
Curto prazo: 2017-2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os objetivos gerais da política energética no período são segurança energética, sustentabilidade e modicidade tarifária. Alguns direcionamentos políticos incluem compromissos ambientais mais restritivos nas reuniões da COP no curto prazo;</li> <li>• A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado do SEB;</li> <li>• A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecem o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado do SEB, considerando as metas definidas no plano decenal do período e as diretrizes estratégicas do plano nacional para o período;</li> <li>• As potencialidades da inovação no SEB ainda não são suficientemente exploradas pelas empresas.</li> </ul>





Horizonte	Condicionantes
Médio prazo: 2020-2030	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os objetivos gerais da política energética continuam a ser segurança energética, sustentabilidade e modicidade tarifária no médio prazo. Alguns direcionamentos políticos incluem compromissos ambientais mais restritivos nas reuniões da COP desse período;</li> <li>PD&amp;I de novos modelos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação (SSI) e a adoção de modelos híbridos contribuem significativamente para o desempenho do sistema integrado de planejamento de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às metas definidas no plano decenal do período e às diretrizes estratégicas do plano nacional, com foco no planejamento de CT&amp;I no horizonte de 2030;</li> <li>Resultados dos programas de capacitação para gestores de PD&amp;I e da divulgação das boas práticas de planejamento de CT&amp;I fortalecem significativamente a cultura de inovação nas empresas do SEB e ICT do país que atuam em parceria e cooperação com as empresas.</li> </ul>
Longo prazo: 2030-2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os objetivos gerais da política energética continuam a ser segurança energética, sustentabilidade e modicidade tarifária. Alguns direcionamentos políticos incluem compromissos ambientais mais restritivos nas reuniões da COP desse período;</li> <li>A adoção dos resultados de PD&amp;I de modelos híbridos e novos modelos de prospecção do SSI contribui para o alto desempenho do sistema de planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado;</li> <li>A difusão das boas práticas de planejamento de CT&amp;I e resultados dos programas de capacitação de gestores de PD&amp;I fortalecem significativamente a geração e difusão de inovações pelas empresas do SEB.</li> </ul>

Fonte: Elaboração própria.

## 2.1.2 Objetivo geral

O objetivo geral dessa macrotemática, considerando-se o horizonte de 2050, é:

- Realizar o planejamento de CT&I de ciclo completo, integrado, de alto desempenho e na fronteira do conhecimento, como suporte à formulação de políticas públicas e estratégias corporativas de atores comprometidos com a inovação e a sustentabilidade do SEB;
- Promover a realização de PD&I em métodos, modelos e ferramentas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado em áreas de fronteira do conhecimento para o SEB.

## 2.1.3 Objetivo específico

Segundo a abordagem de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado, desdobram-se os seguintes objetivos de PD&I da macrotemática em foco.

**Curto prazo (2017-2020):**

- Dispor de modelos híbridos para cenarizar o SSI;
- Dispor de modelos que combinem métodos de prospecção tecnológica existentes;
- Priorizar e selecionar linhas de PD&I e tecnologias nas áreas de CT&I do SEB de interesse estratégico para o país;
- Mobilizar ferramentas e métodos existentes de monitoramento e avaliação de resultados e impactos da PD&I no SEB;
- Desenvolver modelos em áreas de fronteira de prospecção e modelos para seleção e priorização de tecnologias e/ou de linhas de PD&I.

**Médio prazo (2020-2030):**

- Desenvolver e aplicar novos modelos em estudos prospectivos do SSI, em paralelo a novas aplicações de métodos híbridos;
- Desenvolver e aplicar novos modelos em estudos de prospecção tecnológica, em paralelo a novas aplicações de métodos híbridos;
- Desenvolver e aplicar novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I;
- Desenvolver novos modelos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos da PD&I no SEB.

**Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver e aplicar novos modelos para estudos de prospecção do SSI;
- Desenvolver e aplicar novos modelos para estudos de prospecção tecnológica;
- Desenvolver e aplicar novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I;
- Desenvolver e aplicar novos modelos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos da PD&I no SEB.

No estabelecimento das visões de curto, médio e longo prazos, adotou-se a lógica dos modelos de maturidade de sistemas de planejamento e gestão, baseando-se nos trabalhos de Tarhan e Türetken (2016), Marinho et al. (2015) e Roglinger e Becker (2012).

## 2.1.4 Fundamentação

Para a macrotemática em questão, definiu-se visão de futuro como uma descrição clara de intenções estratégicas, representada pela declaração sobre o futuro do planejamento de CT&I para o SEB no horizonte determinado.

A partir dessa definição, buscou-se construir a visão de futuro segundo a abordagem de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado, cuja característica principal é a identificação sistemática de áreas estratégicas e tecnologias emergentes ou disruptivas



com potencial de gerar grandes benefícios econômicos e sociais para o SEB no horizonte temporal considerado.

Dentre os trabalhos de referência sobre essa abordagem, destacam-se: *The handbook of technology foresight: Concepts and practice* (GEORGHIOU et al., 2008); *Research infrastructure foresight: Practical guide for integrating foresight in research infrastructures policy formulation* (KEENAN; POPPER, 2007); *The evolution of strategic foresight: Navigating public policy making* (KUOSA, 2012); e *Research and technology management in the electricity industry: Methods, tools and case studies* (DAIM et al., 2013).

Além desses trabalhos, identificaram-se e analisaram-se artigos de revisão da literatura sobre planejamento de CT&I (POPPER, 2009; PORTER, 2010; MILES, 2010; KUOSA, 2011; CHO; DAIM, 2013) e artigos publicados em 2010 no número especial “*Emerging Methods and Application Areas in Technology Foresight*”, do periódico *Foresight: The Journal of Futures Studies, Strategic Thinking and Policy*, visando identificar tipologias de métodos e ferramentas de prospecção, bem como tendências e abordagens emergentes dessa temática.

Com base em artigos de revisão da literatura sobre modelos de maturidade mais comumente usados na avaliação de processos de planejamento e gestão (TARHAN; TÜRETKEN, 2016; MARINHO et al., 2015; ROGLINGER; BECKER, 2012), buscou-se definir níveis de maturidade considerados na definição das metas de PD&I de curto, médio e longo prazo para alcance da visão de futuro do planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado para o SEB.

Finalmente, consideram-se fatores críticos de sucesso para materialização da visão de futuro da macrotemática em foco: i) mapeamento e mobilização de especialistas e gestores em torno dos temas de interesse estratégico do SEB; ii) definição dos objetivos e escopo da prospecção em função de cada área temática; iii) escolha dos métodos e ferramentas de prospecção mais adequados para cada situação; iv) escolha dos métodos e ferramentas de priorização e seleção de tecnologias/temáticas de PD&I nas áreas de CT&I de interesse estratégico para o SEB; v) emprego de ferramentas avançadas de monitoramento e avaliação de resultados e impactos da PD&I no SEB.

## 2.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

As principais condicionantes de futuro referentes à macrotemática em foco referem-se aos focos da política energética, que deverão ser segurança energética, sustentabilidade e modicidade

tarifária. Alguns direcionamentos políticos poderão incluir compromissos ambientais mais restritivos nas reuniões da Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP) no horizonte considerado, com implicações nas atividades de PD&I da macrotemática, particularmente no desenvolvimento de modelos e métodos que incluam critérios socioambientais para a seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias, bem como para a avaliação dos impactos dos resultados de PD&I no âmbito do SEB.

A revisão do marco regulatório de CT&I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&I, também influenciará favoravelmente o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I no âmbito do SEB, considerando-se o aumento da demanda por novos modelos e métodos de prospecção, seleção e priorização de linhas de PD&I e de monitoramento e avaliação de resultados de PD&I do SEB.

A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecerão o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB, considerando as metas definidas no plano decenal do período e as diretrizes estratégicas do plano nacional. A adoção dos resultados de PD&I de modelos híbridos e novos modelos de prospecção do SSI contribuirá para o alto desempenho do sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado.

Para fins da construção dos *roadmaps* tecnológicos das rotas associadas às temáticas de planejamento de CT&I do SEB, descrevem-se os condicionantes do cenário geral do SEB que impactam essa macrotemática para os seguintes horizontes da cenarização das rotas: 2020; 2025; 2030 e 2050.

A seguir, apresentam-se os condicionantes que integram a cenarização geral da macrotemática, referentes aos seguintes objetivos:

- Evolução tecnológica;
- Estratégia setorial;
- Socioambiental;
- Produção de CT&I;
- Estrutura de CT&I;
- Indústria e mercado.

### **Evolução tecnológica**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas no tocante à dimensão de análise metas/diretrizes do desenvolvimento tecnológico: i) TRL de modelos para estudos prospectivos do SSI; ii) TRL de modelos de prospecção tecnológica para identificação ou geração de alternativas de tecnologias e temáticas de PD&I; iii) TRL de modelos para seleção e priorização de linhas de



PD&I e tecnologias; iv) TRL de modelos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos da PD&I no SEB. Quanto à dimensão de análise de interdependência ou influência da evolução de outras rotas da mesma área e/ou outras áreas, foi definida uma métrica: desempenho do sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado para o SEB. Com as métricas definidas dessa maneira, cada uma delas representa uma temática e optou-se por mostrar como cada rota vai evoluir com o objetivo de se chegar a um planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado. Em 2020, haverá grande esforço de PD&I para desenvolvimento de novos modelos. Em 2025, ocorrerá grande esforço de continuidade do desenvolvimento de novos modelos. Em 2030, ainda ocorrerá desenvolvimento de novos modelos, porém alguns modelos desenvolvidos em curto e médio prazo já estarão sendo adotados. Por fim, em 2050, a adoção dos resultados dos modelos contribuirá para o sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado, que corresponde à própria métrica desempenho do sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado para o SEB.

### **Estratégia setorial**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas: i) influência da política e/ou regulação ambiental e social no desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB; ii) influência do marco regulatório de CT&I que incentive o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB; iii) impactos da política de incentivo e governança do SEB no desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB; iv) influência de fatores culturais, urbanos ou rurais no desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB; v) influência do planejamento e política definida pela EPE e pelo MME no desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB; vi) influência do planejamento e política de longo prazo definida pela EPE e pelo MME no desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB.

### **Socioambiental**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas: i) efeitos ambientais globais provocados pela adoção de modelos de planejamento de CT&I desenvolvidos para o SEB; ii) efeitos ambientais locais provocados pela adoção de modelos de planejamento de CT&I desenvolvidos para o SEB; iii) expectativa de que o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I no SEB cause impactos sociais, tais como geração de empregos e renda.

### **Produção de CT&I**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas: i) número de publicações científicas sobre modelos de planejamento de CT&I em âmbito nacional; ii) número de patentes e de projetos em âmbito internacional; iii) número de patentes e de projetos em âmbito nacional.

## **Estrutura de CT&I**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas: i) número de pesquisadores nos diversos níveis de capacitação (técnico/graduação/especialista/mestres e doutores) atuantes em planejamento de CT&I no Brasil; ii) número de laboratórios ou unidades de PD&I que atuam em planejamento de CT&I no Brasil; iii) número de projetos de PD&I em cooperação e de publicações em coautoria.

## **Indústria e mercado**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas: i) demanda por modelos e estudos de planejamento de CT&I no mercado nacional; ii) demanda por modelos e estudos de planejamento de CT&I no mercado global; iii) capacidade do parque fabril nacional no sentido de viabilizar a implantação no sistema de energia elétrica da tecnologia relacionada às rotas de planejamento de CT&I do SEB.

## **2.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas**

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática planejamento de CT&I consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 1 ao Gráfico 8. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisas, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

Para essa macrotemática, os gráficos consideram apenas a curva Média - Painel de Especialistas, pois houve concordância entre os especialistas sobre a análise prévia da evolução da maturidade das rotas tecnológicas consideradas no Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico) da macrotemática Planejamento de CT&I. Ou seja, a curva Pesquisa CGEE coincide com a curva Média - Painel de Especialistas.

### **2.3.1 Temática: Modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação**

A primeira temática refere-se ao desenvolvimento e uso de modelos para estudos de prospecção do sistema de inovação do SEB, como suporte à formulação de políticas públicas e estratégias corporativas dos atores envolvidos.



As diversas abordagens e os inúmeros modelos de estudos prospectivos têm por objetivo obter configurações de futuros alternativos de médio e longo prazo, que poderão ser utilizados como instrumentos particularmente úteis no planejamento de CT&I do setor elétrico (WACK, 1985; HUSS; HONTON, 1987; SCHOEMAKER, 1993; VAN DER HEIJDEN, 1996; SCHWARTZ, 1996; GODET, 2000; VAN NOTTEN, 2003; BÖRJESON et al., 2006; WESTHOEK et al., 2006; BISHOP et al., 2007; REILLY; WILLENBOCKEL, 2010).

Os modelos para estudos de prospecção de SSI, em geral, partem da observação da convergência de três componentes: i) conhecimento, processo de aprendizagem e tecnologia; ii) atores e redes; iii) instituições (MALERBA, 2004).

Prospectar as relações entre o primeiro componente - conhecimento, processo de aprendizagem e tecnologia - e a eficiência da atuação dos atores envolvidos nesse processo é de suma importância para alcançar a maior complementariedade desejada nos esforços voltados para atividades inovativas. Malerba (2004) destaca ainda a importância das relações entre firmas na estruturação dos sistemas setoriais de inovação. Seguindo a visão evolucionária, a firma funciona como “depósito” de acumulação de conhecimento que pode influenciar a trajetória tecnológica, inclusive, sinalizar possíveis caminhos para a consolidação das relações entre essas mesmas firmas e outros atores que podem fazer parte do SSI. O terceiro componente - instituições - refere-se a normas, rotinas, regras, ações cognitivas, entre outras, que poderão influenciar e moldar o ambiente no qual as empresas do setor elétrico estão inseridas, em particular a construção de cenários, que vem crescendo em importância e uso tanto em nível internacional quanto em nível de países e de regiões.

Observam-se como tendências de PD&I nessa temática: i) combinação e integração de modelos e técnicas para o desenvolvimento de estudos de prospecção de SSI, ou seja, uso de modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos (CGEE, 2016; POPPER, 2008) e abordagens exploratórias e normativas (CHO; DAIM, 2013); e ii) uso de técnicas de *Big Data* combinadas com métodos e ferramentas de prospecção de SSI.

Incluem-se ainda nessa temática o desenvolvimento e a aplicação de novas metodologias de estudos de prospecção de sistemas setoriais de inovação em áreas de fronteira, segundo uma perspectiva de médio e longo prazo.

A cenarização das rotas da temática 1 considerou os seguintes pressupostos básicos:

- Evolução da macrotemática, segundo as visões de curto, médio e longo prazo, sob a perspectiva da temática modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação;
- Tendência geral de combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção de sistemas setoriais de inovação;
- Desenvolvimento e uso de novos modelos e métodos que explorem áreas de fronteira da temática deverão ser intensificados a partir de 2020;

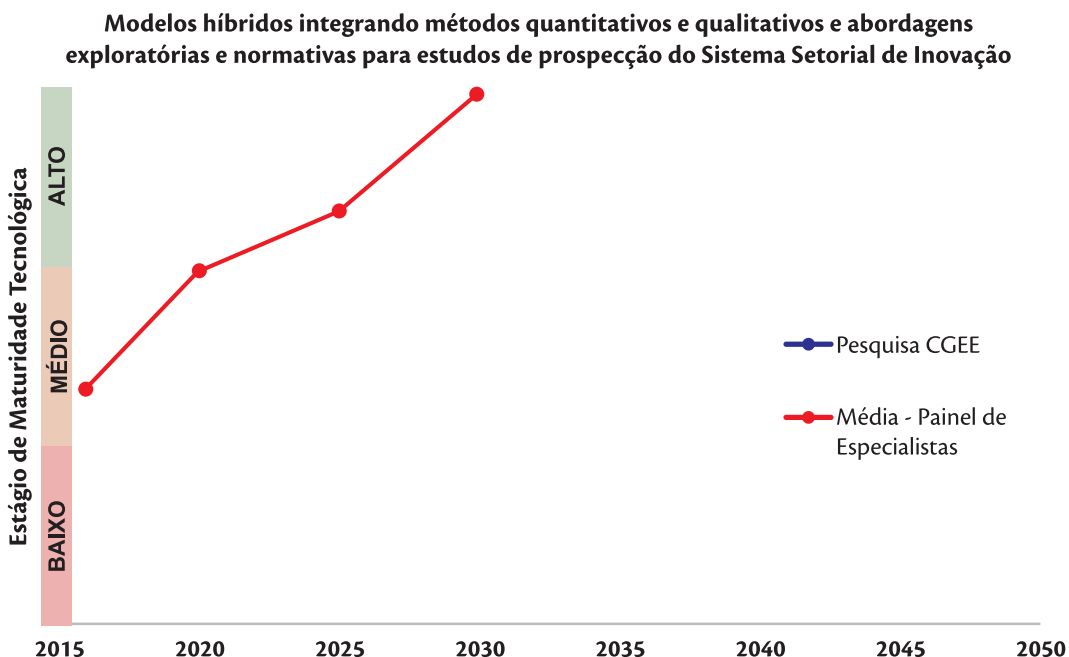
- Desenvolvimento e aplicação de modelos econométricos devem ser desestimulados no contexto dessa macrotemática.

## Roadmap tecnológico

### *Rota 1 - Modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas para estudos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação*

As linhas de PD&I dessa rota são: i) combinação e integração de modelos e técnicas para desenvolvimento de estudos de prospecção de sistemas setoriais de inovação, ou seja, uso de modelos híbridos que integrem métodos quantitativos e qualitativos (CGEE, 2016; POPPER, 2008) e abordagens exploratórias e normativas (CHO; DAIM, 2013); ii) uso de técnicas de *Big Data* combinadas com métodos e ferramentas de prospecção de sistemas setoriais de inovação.

No Gráfico 1, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas para estudos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação.



**Gráfico 1** - Evolução da maturidade tecnológica da rota modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas para estudos de prospecção do sistema setorial de inovação

Fonte: Elaboração própria.



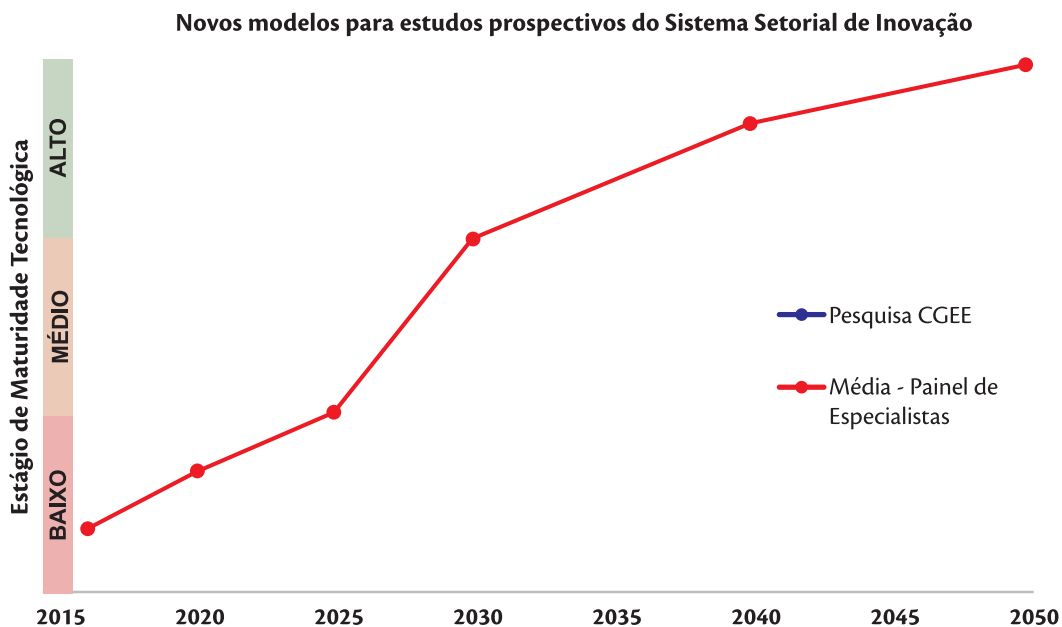


Pode-se observar que hoje o estágio de maturidade da rota é médio e a rota atingirá o máximo de maturidade em 2030, ou seja, a partir de 2030, os modelos híbridos com a integração dos métodos quantitativos e qualitativos já estarão sendo adotados de forma a atingir o objetivo geral da macrotemática.

### *Rota 2 - Novos modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação*

Incluem-se ainda nessa temática, segundo os objetivos de médio e longo prazo da visão de futuro, o desenvolvimento e a aplicação de novas metodologias de estudos de prospecção de sistemas setoriais de inovação em áreas de fronteira.

No Gráfico 2, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota novos modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação.



**Gráfico 2** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos para Estudos Prospectivos do Sistema Setorial de Inovação

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se perceber, pelo Gráfico 2, que o estágio de maturidade da rota hoje é baixo. A partir do médio prazo, a evolução de maturidade se dará de forma mais rápida e consistente, indicando

que será necessário grande esforço para desenvolvimento de novos modelos no curto e no médio prazo. É provável que os novos modelos sejam adotados apenas no longo prazo.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 4, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 4 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos para Estudos Prospectivos do Sistema Setorial de Inovação da Macrotemática Planejamento de CT&I**

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	Modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas para estudos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação	Fatores portadores de futuro	<p>A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado do SEB. A produção científica sobre modelos para estudos prospectivos de sistemas setoriais de inovação em vários contextos socioprodutivos é crescente em nível mundial. Surgem oportunidades de desenvolvimento de projetos de PD&amp;I colaborativo entre instituições/empresas do Brasil e de outros países. Existência de grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem estudos de prospecção de sistemas setoriais de inovação. Fatores culturais e institucionais do SEB limitam o desenvolvimento e o uso sistemático de modelos para estudos prospectivos para o seu Sistema Setorial de Inovação.</p>		<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecem o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado do SEB, considerando-se as metas definidas no plano decenal do período e as diretrizes estratégicas do plano nacional para o período. Aumento da produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem estudos de prospecção de sistemas setoriais de inovação para diversos contextos socioprodutivos. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB ainda não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema Setorial de Inovação do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento e o uso de modelos para prospecção do Sistema</p>		<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento e o uso de modelos para prospecção do Sistema Setorial de Inovação do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento de modelos para prospecção do Sistema Setorial de Inovação do SEB nesse período.</p>	



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	Novos modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	Fatores portadores de futuro	As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB são pouco exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema Setorial de Inovação do SEB.			Setorial de Inovação do SEB nesse período.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	Novos modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	Fatores portadores de futuro	A revisão do marco regulatório de CT&I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&I, incentiva o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB, incluindo novos modelos para estudos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação. A tendência para esse período é a combinação de modelos conhecidos de prospecção de sistemas setoriais de inovação, integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB deverão ser exploradas a partir de 2020. Em nível mundial, a produção científica sobre novos modelos para estudos prospectivos de sistemas setoriais de inovação é ainda incipiente no curto prazo.		A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecem o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB, considerando-se as metas definidas no plano decenal do período e as diretrizes estratégicas do plano nacional para o período. A produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem estudos de prospecção de sistemas setoriais de inovação inclui artigos sobre novos modelos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação. As potencialidades de desenvolvimento de novos modelos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento e a aplicação de novos modelos para prospecção do Sistema Setorial de Inovação nesse período.		A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento das rotas de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB, inclusive de novos modelos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento de novos modelos para prospecção do Sistema Setorial de Inovação do SEB nesse período.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO		ALTO

Fonte: Elaboração própria.

### 2.3.2 Temática: Modelos para estudos de prospecção tecnológica

A segunda temática contempla o desenvolvimento e a adoção de modelos para estudos de prospecção tecnológica, visando identificar ou gerar alternativas de linhas de PD&I e tecnologias, com base em subsídios gerados pelos estudos prospectivos. A partir desse pressuposto, adotou-se a abordagem metodológica de *technology foresight*, cuja característica principal é a identificação sistemática de temáticas estratégicas e tecnologias emergentes ou disruptivas com potencial de gerar grandes benefícios econômicos e sociais no referido horizonte temporal (GEORGHIOU et al., 2008; MILES, 2010).

A abordagem de *technology foresight* (GEORGHIOU et al., 2008; MILES, 2010) enfatiza a intenção de se conhecerem coletivamente os avanços tecnológicos futuros, sob a perspectiva dinâmica dos sistemas setoriais de inovação e das estruturas socioeconômicas, do que propriamente desenvolver um instrumental prospectivo bem definido e pronto para ser aplicado. Trata-se de buscar uma visão compartilhada de quais seriam as mais importantes demandas e os campos promissores de pesquisa no futuro, de modo que se possam estabelecer prioridades, mas também articular as diversas partes interessadas em torno da problemática de um futuro incerto e dos condicionantes da complexidade e da melhoria de vida e da sociedade (ZACKIEWICZ; SALLES-FILHO, 2001).

Visando construir o Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico) referente a essa temática, destacam-se as seguintes linhas de PD&I referentes à primeira rota dessa temática: i) métodos e técnicas avançadas de *roadmapping* tecnológico, combinados com métodos conhecidos de prospecção tecnológica; ii) métodos e técnicas avançadas de avaliação tecnológica (*technology assessment*), combinados com métodos conhecidos de prospecção tecnológica; iii) lógica *fuzzy* aplicada a métodos conhecidos de prospecção tecnológica; iv) uso de técnicas de *Big Data* aplicadas à prospecção tecnológica; v) técnica Delphi em tempo real, combinada com outros métodos de prospecção tecnológica.

Segundo uma perspectiva de médio e longo prazo, consideram-se o desenvolvimento e a aplicação de novos modelos para estudos de prospecção tecnológica, incluindo a aplicação de redes neurais, mapas cognitivos difusos, dentre outros métodos.

A cenarização das rotas considerou os seguintes pressupostos básicos:

- Evolução da macrotemática segundo visões de curto, médio e longo prazo sob a perspectiva da temática modelos para estudos de prospecção tecnológica;
- Tendência geral de combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção tecnológica;
- Início do desenvolvimento de novos modelos e métodos que explorem áreas de fronteira no curto prazo, porém seu uso deverá ser intensificado a partir de 2020.

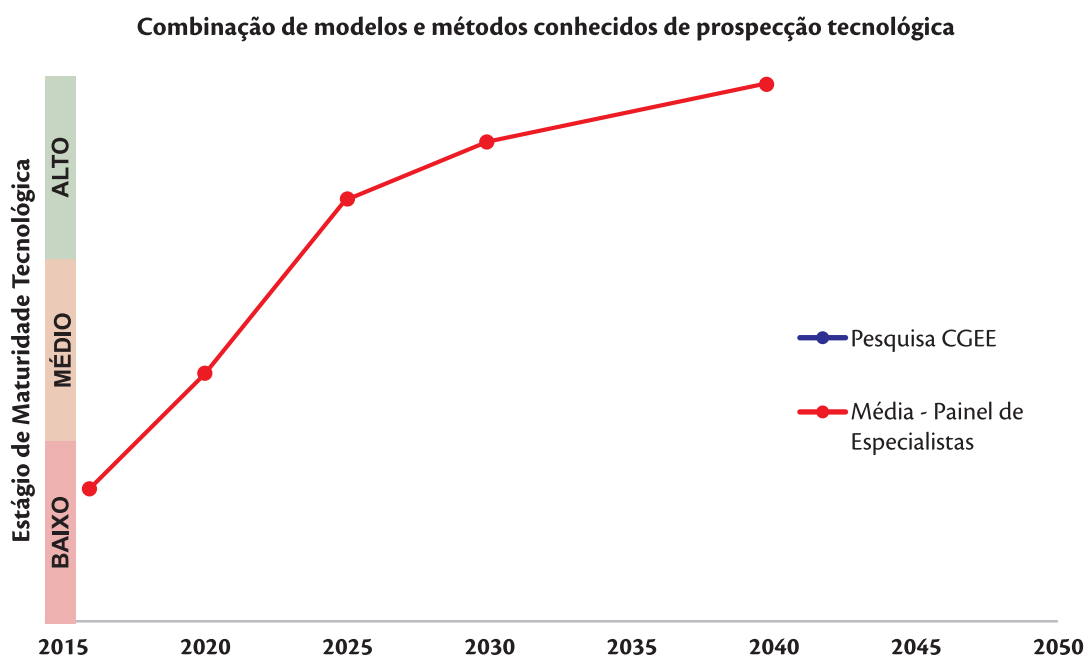


## Roadmap tecnológico

### Rota 1 - Combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção tecnológica

Destacam-se as seguintes linhas de PD&I referentes à primeira rota dessa temática: i) métodos e técnicas avançadas de *roadmapping* tecnológico, combinados com métodos conhecidos de prospecção tecnológica; ii) métodos e técnicas avançadas de avaliação tecnológica (*technology assessment*), combinados com métodos conhecidos de prospecção tecnológica; iii) lógica *fuzzy* aplicada a métodos conhecidos de prospecção tecnológica; iv) uso de técnicas de *Big Data* aplicadas à prospecção tecnológica; v) técnica Delphi em tempo real, combinada com outros métodos de prospecção tecnológica.

No Gráfico 3, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção tecnológica.



**Gráfico 3** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Combinação de Modelos e Métodos Conhecidos de Prospecção Tecnológica

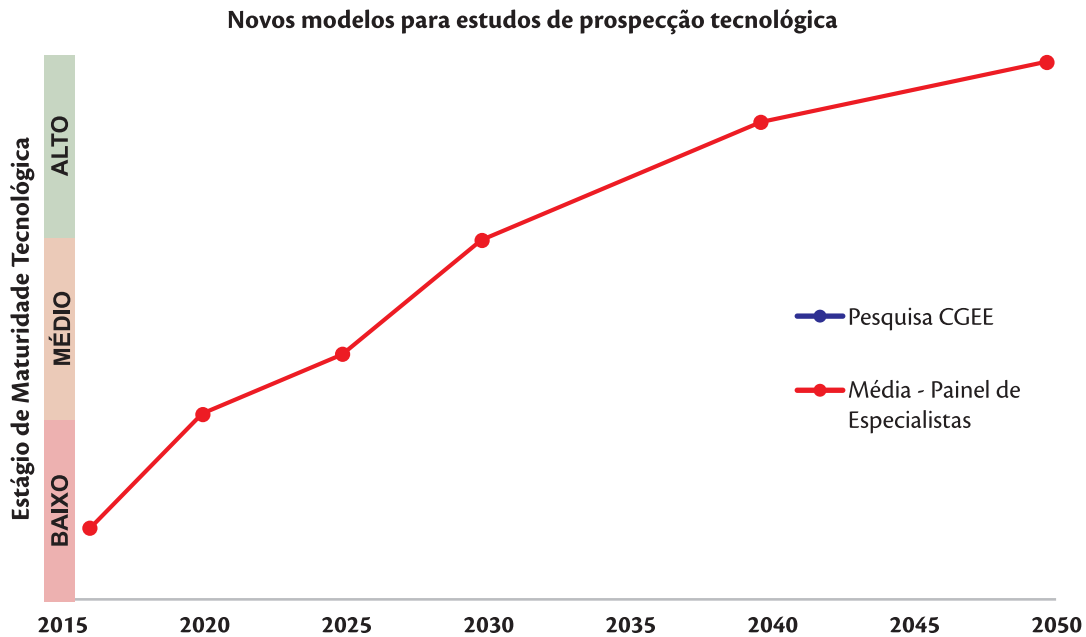
Fonte: Elaboração própria.

Pelo Gráfico 3, percebe-se que a evolução do estágio de maturidade tecnológica da rota é linear até 2025. A partir de 2025, evolui de forma mais branda, já em estágio alto de maturidade. O estágio máximo de maturidade é atingido em 2040. Em resumo, a evolução de maturidade nos períodos de curto e médio prazo é mais acentuada e, no longo prazo, é mais branda, a depender de fatores culturais e institucionais e de maior exploração pelas instituições e empresas que integram o SSI.

#### *Rota 2 - Novos modelos para estudos de prospecção tecnológica*

Para atendimento dos objetivos específicos de médio e longo prazo referentes a essa temática, consideram-se o desenvolvimento e a aplicação de novos modelos para estudos de prospecção tecnológica, incluindo o emprego de redes neurais, mapas cognitivos difusos, dentre outros métodos.

No Gráfico 4, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota novos modelos para estudos de prospecção tecnológica.



**Gráfico 4** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos para Estudos de Prospecção Tecnológica

Fonte: Elaboração própria.



Pode-se ver, pelo Gráfico 4, que a evolução de maturidade da rota é bem gradual ao longo do horizonte até 2050, indicando que os desenvolvimentos e a adoção dos novos modelos ocorrem de forma gradual, com o objetivo de, em 2050, haver uma metodologia de prospecção tecnológica que favoreça o sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 5, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 5** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos para Estudos de Prospecção Tecnológica da Macrotemática Planejamento de CT&I

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para estudos de prospecção tecnológica	Combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção tecnológica	Fatores portadores de futuro	<p>A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento de modelos e métodos híbridos para estudos de prospecção tecnológica como parte fundamental do ciclo completo e integrado de planejamento de CT&amp;I. A produção científica sobre estudos de prospecção tecnológica é crescente em nível mundial nos mais diversos setores. Surgem oportunidades de desenvolvimento de projetos de PD&amp;I colaborativo entre instituições/empresas do Brasil e de outros países. Existência de grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem estudos de prospecção tecnológica para inúmeros contextos socioprodutivos. Fatores culturais e institucionais limitam o desenvolvimento e a aplicação de modelos para prospecção tecnológica pelos atores do Sistema Setorial de</p>		<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecem o desenvolvimento de modelos e métodos híbridos para estudos de prospecção tecnológica no âmbito do SEB. Aumento da produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem modelos e métodos para estudos de prospecção tecnológica para diversos contextos socioprodutivos. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB não são ainda suficientemente exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema de Inovação do SEB. Fatores culturais e institucionais do SEB poderão limitar o desenvolvimento de modelos e métodos para prospecção tecnológica nesse período.</p>		<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento de modelos e métodos híbridos para estudos de prospecção tecnológica no âmbito do SEB. Fatores culturais e institucionais do SEB poderão limitar o desenvolvimento de modelos e métodos híbridos para prospecção tecnológica nesse período.</p>	

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para estudos de prospecção tecnológica	Novos modelos para estudos de prospecção tecnológica	Fatores portadores de futuro	Inovação do SEB nesse período. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB são ainda pouco exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema Setorial de Inovação do SEB.					
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para estudos de prospecção tecnológica	Novos modelos para estudos de prospecção tecnológica	Fatores portadores de futuro	A revisão do marco regulatório de CT&I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&I, incentiva o desenvolvimento de novos modelos para estudos de prospecção tecnológica no âmbito desse setor, segundo a abordagem de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado. A ênfase para esse período é a combinação de modelos conhecidos de prospecção tecnológica a serem aplicados pelos atores do SEB. Em nível mundial, a produção científica sobre novos modelos para estudos de prospecção tecnológica é ainda incipiente. Predomina a combinação de métodos conhecidos.		A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME reforçam a necessidade de desenvolvimento de novos modelos para estudos de prospecção tecnológica no âmbito do SEB, buscando-se o balanceamento dos portfólios de PD&I (coexistência de P&D incremental e radical). A produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem estudos de prospecção tecnológica inclui artigos sobre novos modelos de prospecção tecnológica voltados para o planejamento de CT&I em diversos contextos socioprodutivos. As potencialidades de desenvolvimento de novos modelos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento de novos modelos de prospecção tecnológica voltados para o planejamento de CT&I do SEB nesse período.		A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento de novos modelos e métodos de prospecção tecnológica, considerados fundamentais para o aperfeiçoamento dos processos de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento de novos modelos para estudos de prospecção tecnológica aplicáveis ao Sistema Setorial de Inovação do SEB nesse período.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.





### 2.3.3 Temática: Modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias

A terceira temática aborda o desenvolvimento e o uso de modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I em áreas estratégicas do SEB, agregando os interesses dos vários atores envolvidos. Destacam-se, para fins da construção do Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico) referente a essa temática, as seguintes linhas de PD&I: i) combinação e integração de modelos e técnicas de priorização/seleção (Fitradeoff, AHP, Smarts/Smarter, Macbeth, ANP, Topsis, Electre, Promethee, dentre outros) para decisão individual ou em grupo; ii) métodos baseados em *machine learning*; iii) uso de *Big Data*, combinado com modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias; iv) combinação de métodos de apoio à decisão para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias sob incerteza (*MAUT*, simulação, *value at risk* etc.) ou informação parcial; v) combinação de modelos de opções reais com ferramentas *stage-gate* para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias; vi) combinação de métodos de otimização aplicados a seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias, incluindo modelagem de portfólios, programação linear, programação inteira, algoritmos genéticos etc.

Integram ainda o Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico) dessa temática as linhas de PD&I associadas à segunda rota: i) novos métodos baseados em *machine learning*, como apoio a seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias; ii) novos modelos de decisão sob incerteza ou informação parcial como apoio a seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias; iii) novos métodos de otimização aplicados a seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias com espaço de alternativas fixo e sequencial para decisão individual ou em grupo; iv) novos modelos de seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias em áreas de fronteira.

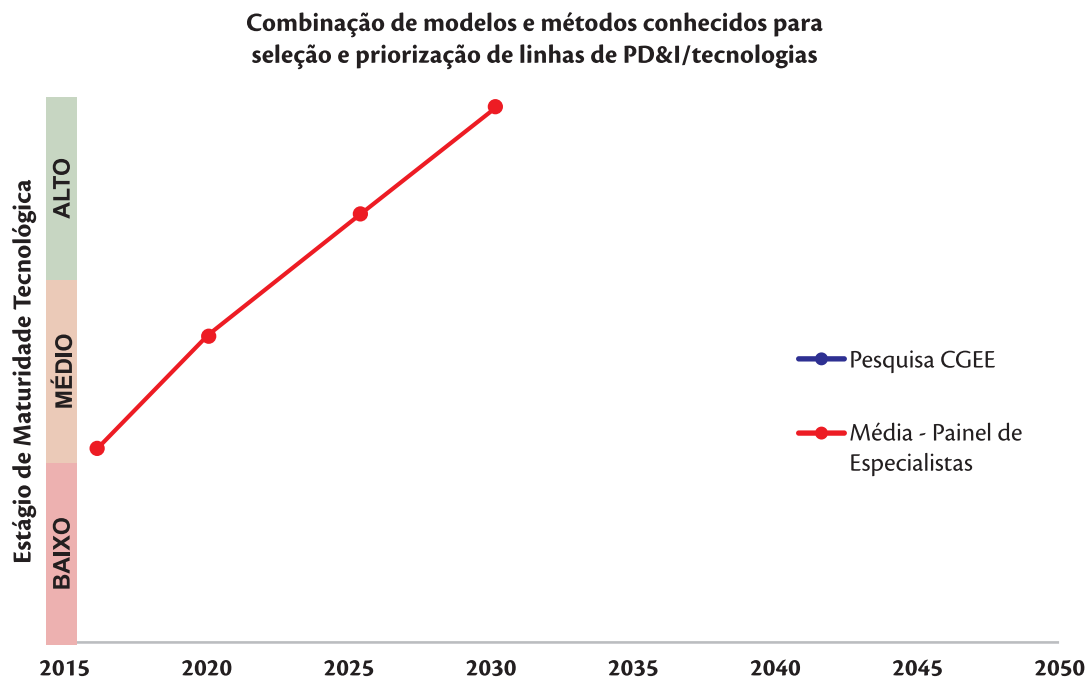
#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias*

A cenarização geral das rotas considerou os seguintes pressupostos básicos:

- Evolução da macrotemática segundo visões de curto, médio e longo prazo, sob a perspectiva da temática modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias;
- Tendência geral de combinação de modelos e métodos conhecidos de seleção e priorização de linhas de PD&I;
- Desenvolvimento de novos modelos e métodos explorando áreas de fronteira da temática deverá ser intensificado a partir de 2020.

No Gráfico 5, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica da rota combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias.



**Gráfico 5** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Combinação de Modelos e Métodos Conhecidos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I/Tecnologias

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pelo Gráfico 5, que a evolução de maturidade da rota é bem linear, começando do estágio baixo de maturidade e atingindo o estágio máximo de maturidade em 2030, após forte tendência de combinação de modelos conhecidos.

#### *Rota 2 - Novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias*

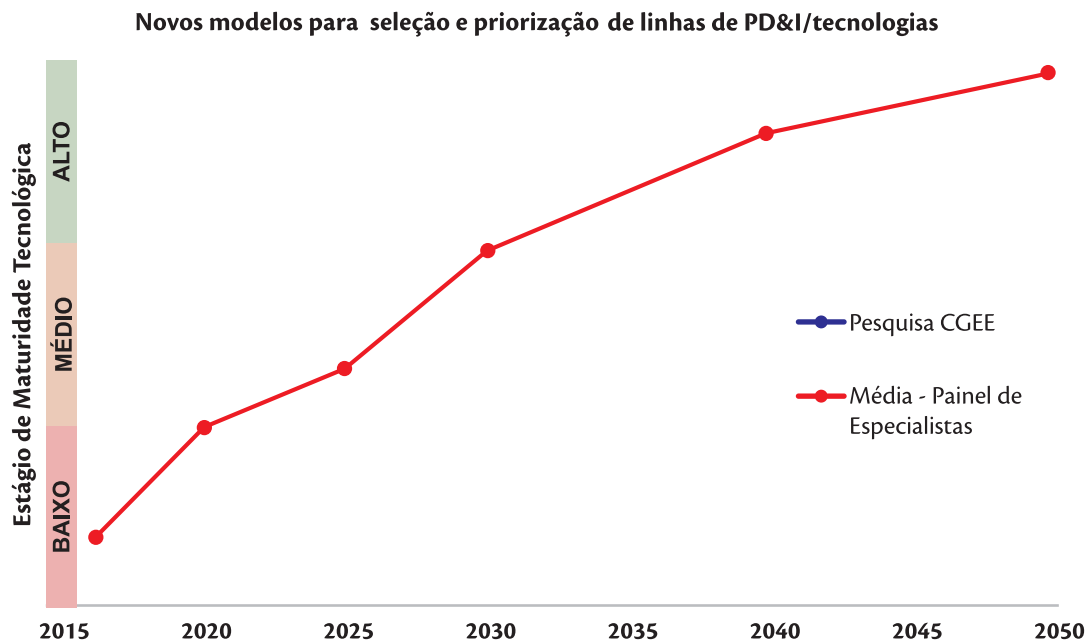
A cenarização geral das rotas considerou os seguintes pressupostos básicos:

- Evolução da macrotemática segundo visões de curto, médio e longo prazo, sob a perspectiva da temática modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias;
- Tendência geral de combinação de modelos e métodos conhecidos de seleção e priorização de linhas de PD&I;



- Desenvolvimento de novos modelos e métodos explorando áreas de fronteira da temática deverá ser intensificado a partir de 2020.

No Gráfico 6, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias.



**Gráfico 6** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I/Tecnologias

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pelo Gráfico 6, que a evolução de maturidade da rota é bem gradual ao longo do horizonte até 2050, indicando que os desenvolvimentos e a adoção dos novos modelos vão ocorrendo de forma gradual, com o objetivo de, em 2050, haver seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias que favoreçam o sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 6, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 6** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I e Tecnologias da Macrotemática Planejamento de CT&I

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Temática Modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias	Combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias	Fatores portadores de futuro	<p>A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento de modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do Sistema Setorial de Inovação. A produção científica sobre modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias é crescente em nível mundial. Surgem oportunidades de desenvolvimento de projetos de PD&amp;I colaborativo entre instituições/empresas do Brasil e de outros países. Existência de grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias em diversos contextos socioprodutivos. Fatores culturais e institucionais limitam o desenvolvimento de modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias pelos atores do Sistema Setorial de Inovação do SEB nesse período. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB poderiam ser mais bem exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema Setorial de Inovação do SEB. Predomina o uso de métodos convencionais de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias.</p>	<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecem o desenvolvimento de modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do SEB. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema de Inovação do SEB. Aumento da produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias para os mais diversos contextos socioprodutivos. Fatores culturais e institucionais do SEB poderão limitar o desenvolvimento de modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias nesse período.</p>	<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento e o uso de modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do SEB. Nesse período, fatores culturais e institucionais do SEB poderão limitar o desenvolvimento e o uso de modelos e métodos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias, resultantes da combinação de métodos conhecidos.</p>				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				



Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias	Novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I/tecnologias	<p>Fatores portadores de futuro</p> <p>A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento de novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias, visando ao aperfeiçoamento do planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado. A ênfase para esse período é a combinação de modelos conhecidos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do Sistema Setorial de Inovação do SEB. Em nível mundial, a produção científica sobre novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias é ainda incipiente.</p> <p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME reforçam a necessidade de desenvolvimento de novos modelos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do SEB, buscando-se balanceamento estratégico dos portfólios de PD&amp;I (coexistência de P&amp;D incremental e radical). As potencialidades de desenvolvimento de novos modelos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias aplicados no âmbito do Sistema Setorial de Inovação não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas do SEB nesse período. A produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem modelos e métodos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias passa a incluir novos modelos que poderão ser aplicados no planejamento de CT&amp;I do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento de novos modelos e métodos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias aplicáveis ao planejamento de CT&amp;I do SEB nesse período.</p> <p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento e o uso de novos modelos e métodos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do SEB. Esses novos modelos são considerados fundamentais para a evolução do planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado do SEB e o balanceamento estratégico dos portfólios de PD&amp;I. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento e o uso de novos modelos e métodos de seleção e priorização de linhas de PD&amp;I e tecnologias no âmbito do SEB nesse período.</p>						
			Maturidade	BAIXO		MÉDIO		

Fonte: Elaboração própria.

### 2.3.4 Temática: Metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I

A quarta temática refere-se a desenvolvimento e aplicação de metodologias para monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I, visando consolidar no SEB um sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado.

Para fins da construção do Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico) referente a essa temática, ressaltam-se as seguintes linhas de PD&I da primeira rota: i) combinação de métodos quantitativos e qualitativos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I; ii) uso de técnicas de *Big Data* combinadas com métodos e ferramentas de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I. A segunda rota contempla o desenvolvimento e o uso de novas metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I em áreas de fronteira.

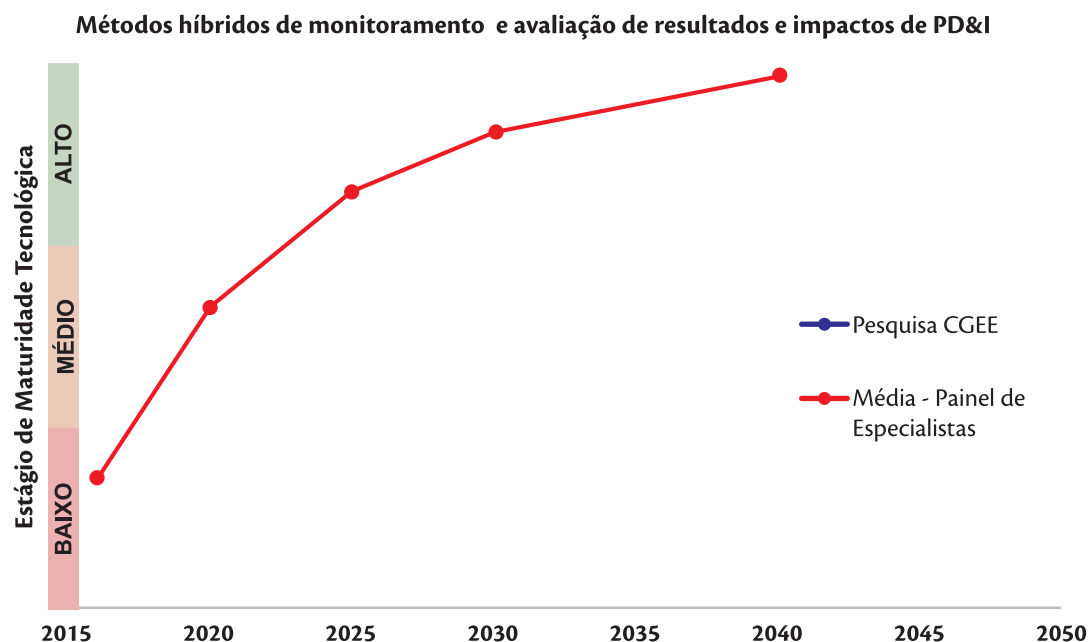
#### **Roadmap tecnológico**

##### *Rota 1 - Métodos híbridos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I*

A cenarização geral das rotas considerou os seguintes pressupostos básicos:

- Evolução da macrotemática segundo visões de curto, médio e longo prazo, sob a perspectiva da temática metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I;
- Tendência geral de combinação de modelos e métodos conhecidos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I;
- Desenvolvimento e uso de novos modelos e métodos, explorando áreas de fronteira da temática, deverão ser intensificados a partir de 2020.

No Gráfico 7, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota métodos híbridos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I.



**Gráfico 7** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Métodos Híbridos de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pelo Gráfico 7, que a evolução de maturidade da rota está sendo representada por um arco, em que a evolução é mais rápida no período de curto prazo e depois se torna mais lenta, porém consistente, atingindo o estágio máximo de maturidade em 2040. Esse resultado demonstra que o desenvolvimento dos métodos não é demorado, porém a adoção dos métodos é um processo um pouco mais demorado, ou seja, é necessário um esforço de PD&I no curto e no médio prazo, com forte tendência de combinação de métodos conhecidos.

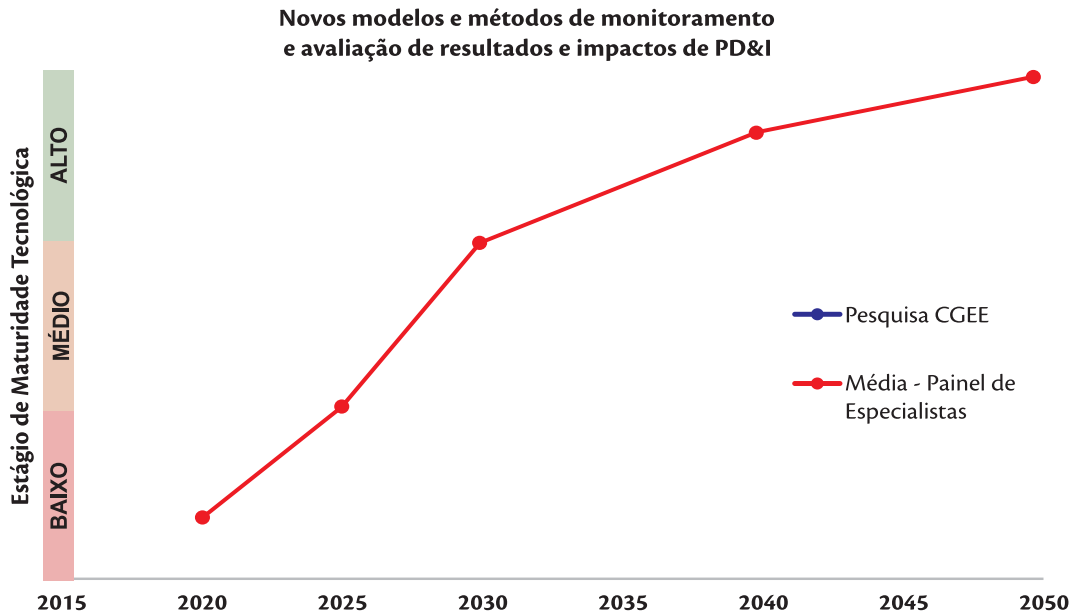
#### *Rota 2 - Novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I*

A cenarização geral das rotas considerou os seguintes pressupostos básicos:

- Evolução da macrotemática segundo visões de curto, médio e longo prazo, sob a perspectiva da temática metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I;
- Tendência geral de combinação de modelos e métodos conhecidos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I;

- Desenvolvimento e uso de novos modelos e métodos, explorando áreas de fronteira da temática, deverão ser intensificados a partir de 2020.

No Gráfico 8, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I.



**Gráfico 8** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos e Métodos de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I

Fonte: Elaboração própria.

A análise do Gráfico 8 mostra que a rota tem hoje um estágio de evolução tecnológica muito baixo, mas novos modelos e métodos de monitoramento começarão a ser desenvolvidos no período de médio prazo e no longo prazo. A partir de 2030, o estágio de maturidade já é alto e, no período de 2030 a 2050, a rota ganha maturidade de forma gradual e consistente até atingir o estágio máximo de maturidade em 2050. Tudo indica que, a partir do começo do longo prazo, esses novos modelos e métodos já estejam sendo utilizados e serão necessárias duas décadas para maturação total, com o objetivo de possibilitar o sistema de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 7, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.





**Tabela 7** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Metodologias de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I da Macrotemática Planejamento de CT&I

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I	Métodos híbridos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I	<p>Fatores portadores de futuro</p> <p>A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento de modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I no setor, segundo a abordagem de planejamento de ciclo completo e integrado. Fatores culturais e institucionais limitam o desenvolvimento de modelos e métodos para monitoramento e avaliação de PD&amp;I e uso de técnicas de <i>Big Data</i> combinadas com esses modelos e métodos, no âmbito do Sistema Setorial de Inovação do SEB nesse período.</p> <p>A produção científica sobre modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I é crescente em nível mundial. Surgem oportunidades de desenvolvimento de projetos de PD&amp;I colaborativo entre instituições/empresas do Brasil e de outros países. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota no SEB poderiam ser mais exploradas nesse período pelas instituições e empresas que integram o Sistema Setorial de Inovação do SEB. Existência de grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I em diversos contextos socioprodutivos.</p>	<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME favorecem o desenvolvimento de modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I no SEB, buscando o fortalecimento das competências em planejamento de CT&amp;I do SEB segundo a abordagem de ciclo completo e integrado. As potencialidades de desenvolvimento dessa rota ainda não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas que integram o Sistema de Inovação do SEB.</p> <p>A produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I em diversos contextos socioprodutivos continua crescendo nesse período. Fatores culturais e institucionais do SEB poderão limitar o desenvolvimento e o uso de modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I nesse período.</p>	<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o uso de modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I, que foram desenvolvidos nos períodos anteriores. Fatores culturais e institucionais do SEB poderão limitar a aplicação de modelos e métodos para monitoramento e avaliação de resultados e impactos PD&amp;I nesse período.</p>				
			Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Temática Metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I	Novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I	Fatores portadores de futuro	<p>A revisão do marco regulatório de CT&amp;I do SEB, em alinhamento às políticas energética e de CT&amp;I, incentiva o desenvolvimento de modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I, segundo a abordagem de planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado. A ênfase para esse período é a combinação de modelos e métodos conhecidos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I no âmbito do SEB. Em nível mundial, a produção científica sobre novos modelos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I é ainda incipiente.</p>			<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME reforçam a necessidade de desenvolvimento de novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I, visando ao aperfeiçoamento do planejamento de CT&amp;I do SEB. As potencialidades de desenvolvimento de novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I aplicáveis no âmbito do Sistema Setorial de Inovação não são suficientemente exploradas pelas instituições e empresas do SEB nesse período.</p> <p>A produção científica dos grupos de pesquisa no Brasil que desenvolvem PD&amp;I no campo de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I incluem novos modelos que poderão ser aplicados no planejamento de CT&amp;I do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento e o uso de novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I, aplicáveis ao planejamento de CT&amp;I do SEB nesse período.</p>			<p>A política de incentivo e governança do SEB e a política definida pela EPE e pelo MME para horizontes de longo prazo favorecem o desenvolvimento e uso de novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I no âmbito do SEB. Esses novos modelos serão considerados fundamentais para a evolução do planejamento de CT&amp;I de ciclo completo e integrado do SEB. Fatores culturais e institucionais poderão limitar o desenvolvimento e uso de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&amp;I, no âmbito do Sistema Setorial de Inovação do SEB nesse período.</p>		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO				

Fonte: Elaboração própria.



## 2.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Planejamento de CT&I. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Planejamento de CT&I

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias	Modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias
2	Novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias	Modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias
3	Métodos híbridos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I	Metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I
4	Modelos híbridos, integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas, para estudos prospectivos do SSI	Modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação
5	Combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção tecnológica	Modelos para estudos de prospecção tecnológica
6	Modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	Modelos para estudos prospectivos do SSI
7	Novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I	Modelos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I
8	Modelos para estudos de prospecção tecnológica	Modelos para estudos de prospecção tecnológica

Fonte: Elaboração própria.

A rota combinação de modelos e métodos conhecidos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias foi indicada com prioridade um, e a rota novos modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias foi indicada com prioridade dois pelos especialistas. Ambas as rotas pertencem à temática modelos para seleção e priorização de linhas de PD&I e tecnologias e foram priorizadas nas primeiras posições pelo fato de a seleção e a priorização de linhas de PD&I e tecnologias constituírem a etapa central dos processos de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado. Justificam-se as prioridades um e dois para as rotas dessa temática em função da necessidade de aperfeiçoamento dos modelos atualmente adotados, visando à melhoria dos processos decisórios voltados para a priorização de linhas de PD&I e tecnologias no SSI do SEB.

A rota métodos híbridos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I foi indicada com a prioridade três pelos especialistas pelo fato de o desenvolvimento e a adoção de metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I fecharem o ciclo de planejamento de CT&I integrado do SEB. Justifica-se a prioridade três para essa rota devido à importância de PD&I no campo de monitoramento e avaliação, segundo a abordagem de planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado. A aplicação dessas metodologias fornecerá aos gestores feedback para o redirecionamento de esforços de PD&I e aperfeiçoamento de novos ciclos de planejamento de CT&I do SEB.

A rota modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas para estudos de prospecção do Sistema Setorial de Inovação foi indicada com a prioridade quatro pelo fato de o desenvolvimento e o uso de modelos híbridos para estudos prospectivos do SSI serem fundamentais, considerando-se todo o período de 2016 a 2050 e o estágio de maturidade da rota no Brasil. No curto prazo, essa rota reveste-se de fundamental importância para a revisão do marco regulatório e do modelo de governança do SEB.

A rota combinação de modelos e métodos conhecidos de prospecção tecnológica foi indicada com a prioridade cinco pela sua aplicação no âmbito do SEB, considerando-se todo o período de 2016 a 2050 e o nível de maturidade no Brasil. No longo prazo, a prioridade dessa rota deverá ser revista em função dos avanços de PD&I em áreas de fronteira desse campo e das oportunidades de aperfeiçoamento de novos ciclos de planejamento de CT&I do SEB.

A rota novos modelos para estudos prospectivos do Sistema Setorial de Inovação foi indicada com a prioridade seis pelo fato de considerar todo o horizonte de 2050 e a necessidade de se priorizarem outras rotas dessa macrotemática. No longo prazo, a prioridade dessa rota deverá ser revista em função dos avanços de PD&I em áreas de fronteira desse campo e das oportunidades de aperfeiçoamento dos processos de planejamento e governança do SSI do SEB.

A rota novos modelos e métodos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I foi indicada com prioridade sete, pois, em comparação às demais rotas, foi identificada em



posição de menor prioridade. No longo prazo, a partir dos resultados de PD&I gerados na temática metodologias de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I, a prioridade da rota deverá ser revista em função dos avanços de PD&I em áreas de fronteira desse campo e da necessidade de aperfeiçoamento dos processos de monitoramento e avaliação de resultados e impactos de PD&I.

A rota novos modelos para estudos de prospecção tecnológica foi indicada como prioridade oito, no caso, a última posição em prioridade na macrotemática planejamento de CT&I. Comparativamente às demais rotas, a rota do desenvolvimento e uso de novos modelos para estudos de prospecção tecnológica foi indicada em posição de menor prioridade. No longo prazo, a prioridade dessa rota deverá ser reavaliada em função dos avanços de PD&I em áreas de fronteira desse campo e da necessidade de aperfeiçoamento dos processos de prospecção tecnológica, como suporte ao planejamento de CT&I de ciclo completo e integrado do SEB.





## Capítulo 3

---







## Capítulo 3

# Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado

Essa macrotemática aborda as possibilidades de PD&I aplicadas aos modelos para o entendimento do comportamento dos agentes econômicos em face das mudanças tecnológicas. São abordados aspectos como precificação dos serviços de energia elétrica, dos modelos para análise dos impactos das tarifas, da economia institucional e dos modelos dinâmicos. Essa macrotemática aborda igualmente riscos regulatórios, modelos de leilões, impactos econômicos das políticas energética e industrial, avaliação de ativos e impacto de novas tecnologias na formação de preço da energia.

Buscou-se, nas principais referências acadêmicas no ramo de microeconomia e teoria econômica aplicada ao setor elétrico, a base de análise para abordar a agenda de trabalho adequada ao cenário futuro descrito na prospecção tecnológica do setor. Adicionalmente, o acervo de centros de referência no Brasil, como Cepel, EPE e CERI/FGV, serviram de base de consulta. No exterior, além da Agência Internacional de Energia (IEA), foi consultado o *Harvard Electricity Policy Group* (HEPG).

Dessa maneira, a macrotemática modelos econômicos e de mercado foi dividida em três temáticas:

- 1) Evolução, abordando a influência das novas tecnologias sobre as decisões dos agentes.
- 2) Modelos para entendimento do desenho de mercado;
- 3) Modelos para avaliação de interações intersetoriais.

### 3.1 Visão de futuro

#### 3.1.1 Cenário setorial

A expectativa de crescimento econômico consistente, na faixa de 2,5%, traz consequências diretas à estrutura do setor elétrico. Com base nesse quadro, observar-se-ia um padrão de consumo e

demanda de energia similar ao de países desenvolvidos, com aumento da importância relativa no PIB do setor de serviços vis-à-vis a indústria.

Esta perspectiva de crescimento econômico seria acompanhada diretamente pelo incremento da demanda de energia. Espera-se que em 2050 esta seja na faixa de três vezes a atual, saindo de cerca de 140 GW referente ao balanço energético de 2016, segundo o capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), para a faixa entre 400 GW e 480 GW. Do lado da oferta, a expectativa é de que a matriz energética ainda permaneça fortemente hídrica, com exploração de basicamente todo o potencial hoje inventariado pela EPE, de cerca de 172 GW. Por outro lado, ampliar-se-ia a importância de outras fontes na matriz energética, como eólica, solar e térmica, em suas principais dimensões.

A evolução tecnológica do lado da oferta (novas tecnologias de geração centralizadas e descentralizadas) e do lado da demanda (tecnologias que permitam resposta da demanda e conservação da energia) determinará mudanças na organização econômica do setor. Espera-se que novos agentes sejam capazes de entrar no mercado e tomar decisões de forma automatizada, principalmente pequenos agentes. Como consequência, espera-se potencial aumento da elasticidade da demanda e da oferta. Ademais, a perspectiva é de que a divisão entre consumidor e gerador de energia seja bem menos clara do que é hoje devido à atuação em pequenos agentes no lado da oferta e da demanda.

Por outro lado, a diversidade de novas tecnologias em desenvolvimento (como redes inteligentes, geração distribuída, baterias, veículos elétricos, dentre outras) permitirá (e demandará) inovações nos modelos de negócios no setor de energia. O surgimento de modelos de negócios interagirá tanto com o ambiente institucional do setor (incluindo a regulação) quanto com os processos inovativos da indústria. Esta interação poderá levar a ganhos elevados de bem estar econômico devido ao alto ganho de produtividade na alocação dos recursos existentes.

Outro elemento relevante no cenário do setor energético é a interação com outros setores econômicos que também estão passando por inovações profundas. Por exemplo, espera-se cada vez maior interação entre as indústrias de rede (internet e energia; transporte e energia, dentre outros). Outro exemplo é a integração da energia no processo de organização urbana, assim, espera-se um novo grupo de serviços e negócios relacionados ao setor de energia no contexto das cidades inteligentes (como as microgrids).

Estas mudanças tecnológicas interagirão também com mudanças comportamentais dos indivíduos e da sociedade. Espera-se, por exemplo, uma maior preocupação com questões ambientais, culturais e socioeconômicas, associadas tanto à produção como ao consumo de energia. Em consequência, novas variáveis relacionadas a essas questões devem ganhar importância nas preferências dos agentes, nos modelos de negócio e no processo de tomada de decisão dos agentes.



Nesse contexto, os modelos de mercado e os modelos econômicos precisarão se adaptar às inovações do setor de energia, das indústrias adjacentes e da sociedade. Os mercados modificarão, abrindo novas oportunidades e destruindo modelos de negócios tradicionais. Do ponto de vista dos modelos econômicos, muitas das simplificações feitas nos modelos adequadas para as condições de contorno atuais se tornarão obsoletas.

### 3.1.2 Objetivo geral

Desenvolver novos modelos que passem pelo escrutínio da comunidade científica e que sejam capazes de lidar com um ambiente tecnológico e social mais complexo, diverso e inovativo. O objetivo do PD&I em modelos econômicos é construir instrumentos que ajudem os agentes a tomar decisões.

Esses modelos devem ser capazes de auxiliar nas decisões dos agentes econômicos (oferta e demanda) e nas decisões dos formuladores de políticas públicas e da regulação setorial. Sob a perspectiva dos agentes da indústria, as decisões incluem o desenvolvimento de novos modelos de negócios. Do ponto de vista dos formuladores de políticas e dos reguladores, as decisões devem objetivar a eficiência econômica, assim como balancear o interesse dos diferentes agentes do setor.

Os modelos econômicos e de mercado precisarão se adaptar às inovações internas do setor de energia, como novos produtos de energia (por exemplo, diferenciação de qualidade de serviços, produtos pré-pagos, níveis diferentes de segurança de abastecimento) e interação de pequenos agentes no mercado (incluindo os consumidores de energia livre).

Ademais, os modelos deverão se adaptar à interação intersetorial, incluindo novos modelos de negócios que unam os setores de telecom e de energia e/ou os de transporte e energia elétrica, entre outros. Os modelos econômicos e de mercado deverão também considerar e promover a relação entre o setor de energia e políticas urbanas (como as cidades inteligentes), políticas ambientais e sociais.

No que se refere ao auxílio aos formuladores de políticas e da regulação, a contínua adaptação dos modelos às inovações se fará necessária, uma vez que as inovações necessitarão de (ou/e permitirão) mudanças institucionais e organizacionais centrais na indústria de energia. Assim, PD&I nessa área objetiva desenvolver modelos econômicos adequados à realidade nacional que subsidiem a escolha dos tomadores de decisão.

### 3.1.3 Objetivo específico

Para atingir o objetivo geral, serão necessários obter, por meio de PD&I, os objetivos específicos a seguir.

**Curto prazo (2017-2020):**

- Modelos que permitam representar com maior transparência as políticas de incentivo e deem visibilidade às variáveis mais importantes no processo de decisão dos agentes;
- Modelos de avaliação de subsídios econômicos às novas tecnologias, analisando de forma holística o custo embutido nas respectivas adoções;
- Desenvolver pesquisas de desenhos de mercado que permitam maior participação de agentes setoriais na formação de preços de mercado, bem como a especificar as respectivas responsabilidades.

**Médio prazo (2020-2030):**

- Modelos capazes de incorporar hipóteses mais realistas, seja no processo de tomada de decisão de investimento, seja na dinâmica de inovação dos diversos atores setoriais;
- Modelos de instrumentos financeiros específicos para o setor de energia;
- Modelos capazes de representar o processo de coevolução institucional e tecnológica em ambientes complexos;
- Modelos que permitam explorar as interações intersetoriais, como *smart cities*, indústrias de redes e indústrias energéticas;
- Modelos de escolha do consumidor quanto à estratégia de consumo (residencial ou não) em diversos ambientes de comercialização e, para tanto amigáveis a usuários não profissionais do setor elétrico;
- Modelos adaptados ao tratamento diferenciado dos serviços de energia, como segurança, qualidade, pré ou pós-pagamento.

**Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver modelos capazes de avaliar as escolhas organizacionais, considerando objetivos socioeconômicos e interação com a dinâmica tecnológica;
- Desenvolver modelos compatíveis com aspectos climáticos, socioambientais, fundiários e culturais da sociedade brasileira;
- Desenvolver modelos capazes de incorporar métodos mais sofisticados na compreensão da dinâmica econômica.

### 3.1.4 Fundamentação

Dentre os elementos de tomada de decisão que os modelos econômicos objetivam tratar, destacam-se:

**1. Preços (via mecanismos de mercado ou mediante tarifas)**

Para serem eficientes, os preços devem ser capazes de refletir custos e benefícios. Se há externalidades,



bens públicos ou poder de mercado, os preços geram desalinhamento de incentivos e ineficiências econômicas. Nesse contexto, estrutura de mercado, valores e custos ambientais, sociais e culturais que se modificam ao longo do tempo devem ser considerados nos modelos econômicos.

Em presença de objetivos políticos que alterem a estrutura de preços, como modicidade tarifária ou subsídio a alguma tecnologia específica, os custos e benefícios dessas políticas necessitam ser medidos e apresentados à sociedade. Em setores como o de energia, onde ocorrem grandes custos de revenda do produto e ganhos de escala, a precificação ótima é em geral não linear. Wilson (1993) apresenta a forma de desenho desta tarifação e suas consequências para o bem-estar social.

Há uma ampla gama de referências bibliográficas sobre a teoria microeconômica tanto em ambientes competitivos quanto com imperfeições de mercado. Livros-textos de pós-graduação em economia, como Mas-Colell et al. (1995) ou Varian (2006), sintetizam muito bem essa literatura.

## 2. Quantidade (demanda e oferta e/ou investimento)

Ao contrário de outros ativos econômicos, o equilíbrio no mercado de bens acontece instantaneamente. Essa peculiaridade leva à necessidade da adoção de um ente central que garanta esse equilíbrio. Porém, no médio e no longo prazo, a quantidade disponível está sujeita à decisão de investimento dos agentes ofertantes.

No curto prazo, as técnicas econométricas permitem a determinação das elasticidades da demanda em relação à renda e em relação ao preço. Diversos autores obtiveram resultados bastante satisfatórios quanto à avaliação da demanda, como EPE (2014) e Schmidt (2004).

Outro ponto fundamental é o entendimento do custo social do déficit de energia. Essa é uma das variáveis fundamentais para o planejamento do sistema. Diversas metodologias podem ser aplicadas para estimar esse custo, como sumarizado em Dutra (2014), inclusive com sugestão de adaptação de uma metodologia conhecida no contexto do risco nas cadeias de suprimentos para o setor de energia.

No âmbito da expansão do sistema, os modelos econômicos permitem entender como as variáveis de contorno determinam a relação risco-retorno do investimento e, desse modo, utilizar essa informação na política de planejamento. Além disso, técnicas de desenho de leilões permitem reduzir a possibilidade de conluio entre participantes, com consequente modicidade tarifária. Essa é uma literatura já bastante consolidada. Em Milgrom (2000), apresentam-se os principais elementos de teoria dos leilões e como fazer uso desse ferramental para desenho de leilões eficientes.

## 3. Contratos e organizações

Com o desenvolvimento da microeconomia dos últimos 20 anos, tornou-se cada vez mais claro

que as decisões dos agentes não são apenas resultados da interação entre preços e quantidades. As decisões econômicas eficientes devem considerar a interação entre os agentes de forma dinâmica. Entender os impactos dos incentivos contratuais e das organizações torna-se central para avaliar impactos econômicos, simular e fazer cenários sobre resultados econômicos, considerando a dinâmica tecnológica e institucional. Tirole (1988) e Hart et al. (1987) são referências clássicas sobre o tema. Newbery (2000) apresenta esse tema no contexto específico dos mercados de energia e telecomunicações (*network utilities*), inclusive mostrando uma perspectiva histórica dos diferentes desenhos de mercados em diversos países.

Além dos temas abordados, existe amplo espaço para inovação em pesquisa operacional (aumentando complexidade, quantidade de variáveis e interações), teste dos modelos existentes para os casos de estudos específicos (com resultados de política) e análise e tratamento de novas variáveis (muitas vezes, qualitativas e de difícil medida) que vão se tornando importantes (por mudanças sociais, culturais e políticas).

Um exemplo de inovação para o setor de energia elétrica que será concomitante à massificação da geração distribuída (REI) será o surgimento de tecnologias que automatizam a decisão de oferta como função do preço e da quantidade. Tais tecnologias seriam adaptações, obviamente não triviais, do que já é prática no setor financeiro de negociações via algoritmo, sem interferência humana. Beam et al. (1997) fazem pesquisa dessa tecnologia no contexto financeiro. Cochran et al. (2013) apresentam uma visão de como seria esse futuro com o uso de REI.

No Brasil, há um importante estoque de conhecimento em estatística aplicada ao setor de energia. Isso se observa no bom nível das publicações internacionais relevantes de economia da energia com modelos estatísticos sofisticados, o que deve ser mantido e medido por meio das publicações tradicionais na área. Ademais, deve-se incentivar o desenvolvimento de modelos, bases de dados, especificamente infraestrutura para *Big Data*, e casos de estudo para lidar com inovações microeconômicas, dentre elas, a economia comportamental que ganhou, nas últimas décadas, especial importância do ponto de vista explicativo e do comportamento dos agentes econômicos (como consumidor em face dos incentivos de eficiência energética) e do ponto de vista de decisão de política. Nesse contexto, tratamento de informações/dados qualitativos e/ou em grande quantidade (*Big Data*) são elementos importantes.

Espera-se manter a importância brasileira em publicações em revistas especializadas, como IEEE, *Energy Economics Journal of Regulatory Economics Applied Energy* e *Energy Policy*.

### 3.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução



tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Considerando o capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), foi elaborada a planilha de indicadores. Dada a macrotecânica, esta reflete basicamente a necessidade de formação de capital humano em áreas do conhecimento de economia da energia e regulação econômica. Está refletida basicamente nas questões orientadoras de produção de CT&I e estrutura de CT&I. Na resposta a essas questões, apresentamos a expectativa de grande desenvolvimento da capacidade nacional de produção científica, atuando no futuro como agente importante no debate acadêmico do tema.

Nesse contexto, os principais elementos de evolução tecnológica referentes à macrotecânica dizem respeito à qualidade explicativa dos modelos econômicos. Estes farão uso de um conjunto de informações muito mais amplo que o atual. Devido a isso, teremos condições de ter modelos conceitualmente mais aderentes à realidade. Essa melhoria também estará refletida no aumento do volume de informações usadas para estimar e/ou calibrar os modelos. Adicionalmente, a acurácia preditiva deve aumentar, refletindo em melhor performance em *backtests*.

No que concerne ao tema estratégia setorial, na Planilha de Indicadores, apresenta-se inicialmente a necessidade de avaliação das condições socioeconômicas do país. Temas de relevância social, como roubo de energia, pobreza energética ou malefício social da poluição (incorporação de externalidades), tendem a ser foco de análise econômica.

A regulação necessariamente precisará incorporar o aumento de complexidade do sistema devido à entrada de novas tecnologias. Além do desafio de construção de mecanismos de internalização de incentivos, a regulação futura buscará um desenho de mercado adequado em um ambiente onde teremos competição direta com agentes de atuação mista entre geradores e consumidores.

No que concerne a aspectos socioambientais vinculados à macrotecânica, a principal questão vincula-se à melhoria do conhecimento das preferências dos agentes econômicos. Essa informação é requerida para desenho de políticas e desenho de subsídios.

A formação de capital humano passa necessariamente pelo incentivo a pesquisa em cada uma das temáticas abordadas. Esse processo se dá por meio da publicação das descobertas em revistas científicas sérias e reconhecidas. Logo, a métrica básica, no que concerne à produção de CT&I, é o número de publicações em revistas científicas de primeira linha.

Porém, para geração de massa crítica de conhecimento, é necessário formar pesquisadores no campo do conhecimento de economia da energia. Assim, o investimento em centros de pós-graduação reconhecidos internacionalmente, de forma a termos um número de pesquisadores aptos ao desafio da pesquisa nessas áreas, pode ser indicativo de que estejamos tendo sucesso.

No contexto dessa macrotemática, a indústria e o mercado estão, de certa forma, ligados ao mundo acadêmico. Assim, um indicativo pode ser o produto ofertado - modelos econômicos - se está sendo demandado e o número de citações de artigos publicados por pesquisadores brasileiros em revistas científicas nacionais e internacionais.

Adicionalmente, apresenta-se a necessidade de estruturação para o uso para modelagem econômica das diversas fontes de informação disponíveis. *Big Data* já é uma realidade em análise de dados e modelagem matemática no varejo e no setor financeiro internacional, havendo a tendência de tornar-se padrão para todos os setores. Nas respostas às questões orientadoras referentes à evolução tecnológica, apresentamos que essas tecnologias vão ficar ainda mais relevantes no futuro como instrumento de modelagem e entendimento das decisões dos agentes econômicos no setor elétrico.

A importância da interação entre agentes econômicos (demandantes e produtores) e o desenho regulatório está refletida no conjunto de perguntas referentes à estratégia setorial. Aqui, apresentou-se a expectativa de um nível de alteração regulatória no curto prazo que altere pouco os padrões de decisão dos agentes econômicos. Porém, a introdução de novas tecnologias, como as que permitirão distribuição descentralizadas, naturalmente imporá mudanças regulatórias importantes com consequentes mudanças no padrão de decisão por parte dos agentes.

### 3.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 9 ao Gráfico 19. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

#### 3.3.1 Temática: Evolução

A temática evolução trata especificamente dos modelos que abordam como agentes econômicos, indústria e desenho de mercado reagiriam, tomariam decisões e investiriam em inovação nas condições da cenarização feita para o futuro. Adicionalmente, nas demais rotas, aborda-se como as novas tecnologias serão incorporadas pela sociedade.



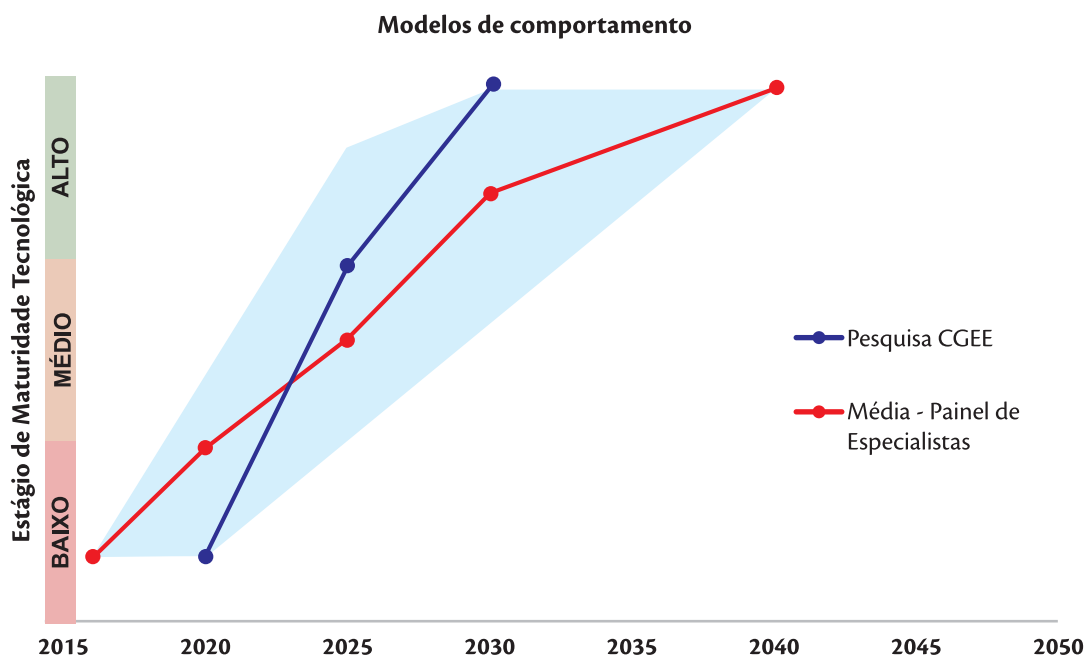


## Roadmap tecnológico

### Rota 1 - Modelos de comportamento

A rota modelos de comportamento visa descrever como os agentes econômicos tomam decisão. Em linhas gerais, aborda modelos relativos ao comportamento da demanda e da oferta segmentados em diferentes populações e como estas reagirão às novas tecnologias e aos incentivos.

No Gráfico 9, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de comportamento.



**Gráfico 9** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Comportamento

Fonte: Elaboração própria.

Os modelos de avaliação de demanda são hoje já consolidados, havendo diversos trabalhos acadêmicos avaliando o tema. Porém, existe larga margem de melhoria com a utilização de bases de dados mais integradas de forma a haver maior acurácia para desenho de políticas públicas. Essa melhoria deverá começar a ser desenvolvida em 2020, e, em 2030, as bases de dados mais integradas já poderão ser realidade, quando a curva Pesquisa CGEE atinge o estágio máximo de maturidade. Algumas questões, como o papel do agente econômico ser ao mesmo tempo demandante e ofertante, o que aumenta a complexidade do problema, podem limitar a evolução da rota e

possibilitar desenvolvimento no longo prazo, questão que foi contemplada pelos especialistas, conforme a curva Média - Paineis de Especialistas.

Do ponto de vista da oferta, a descrição da tomada de decisão do gerador/investidor ainda carece de estudos específicos. Por exemplo, quais variáveis o investidor considera para calcular o retorno esperado de seu investimento. Adicionalmente, a relação dessas variáveis com o risco do investimento. Obviamente, dentre as variáveis que determinam o *payoff* do investidor, está o valor esperado da energia no mercado livre e regulado, mas também o risco regulatório, o peso dessas variáveis etc. Esse mapeamento e essa descrição necessitam ser reforçados.

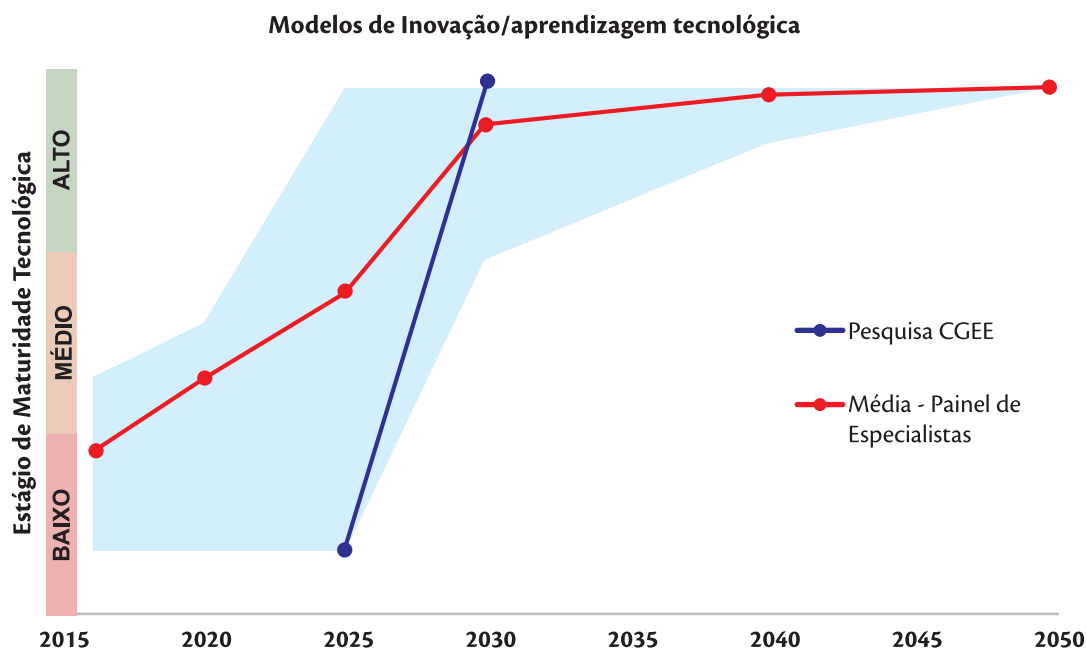
### ***Rota 2 - Modelos de inovação/aprendizagem tecnológica***

Essa rota aborda como modelar a própria inovação tecnológica, entendendo como a inovação dar-se-á nas organizações, tecnologias e/ou processos.

O nível de complexidade estrutural é visto academicamente como indicador de capacidade de inovação. O tamanho do sistema é um dos mais importantes itens a considerar para medir o grau de complexidade. Assim, uma grande organização, com vários empregados e diversos processos, teria mais incentivo à adoção - e descoberta - de novas tecnologias inovativas que uma companhia mais simples.

O setor elétrico, com seus diversos participantes - gerador, transmissor, distribuidor, consumidores (residenciais/comerciais), mercados regulado e livre, tecnologias de geração etc. - apresenta um nível de complexidade que naturalmente indica capacidade de inovação bastante alta.

No Gráfico 10, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de Inovação/aprendizagem tecnológica.



**Gráfico 10** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Inovação/Aprendizagem Tecnológica

Fonte: Elaboração própria.

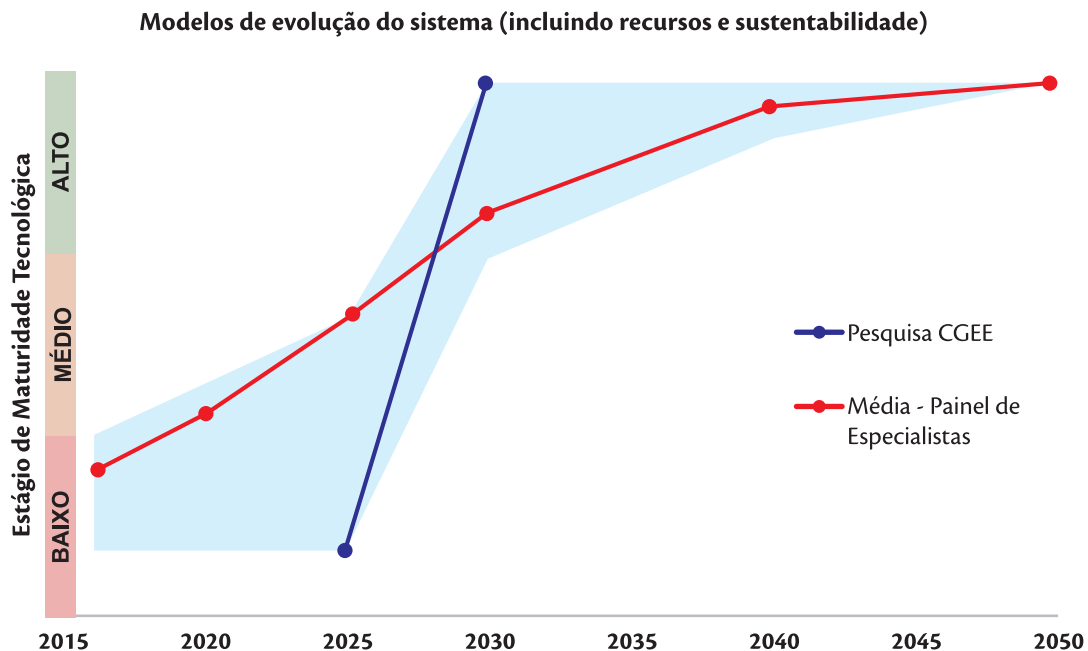
O campo de conhecimento de modelagem de inovação, apesar de recentes avanços, tem grande espaço a ser desenvolvido, principalmente no que concerne à medição de complexidade sistêmica (DAMANPOUR, 1996). O espaço do tema especificamente ligado à inovação no setor elétrico conta com alguns trabalhos acadêmicos que relacionam inovação e estímulos específicos. Por exemplo, Popp (2002) mostra que o número de patentes está positivamente relacionado ao preço da energia. Porém, Sagar et al. (2006) mostram a inexistência de correlação entre gastos públicos em estímulo à pesquisa e indicadores relevantes de inovação, indicando que o gasto do setor privado tem papel fundamental nesse sentido.

No contexto do mercado energético brasileiro, o entendimento do tema ainda tem longo caminho a percorrer em suas diversas dimensões de inovação: regulação, desenho de produtos, patentes etc. Conforme pode ser visto na curva Pesquisa CGEE, considera-se que os modelos de inovação/aprendizagem tecnológica já estarão desenvolvidos e sendo utilizados a partir de 2030, porém os especialistas foram um pouco mais pessimistas na análise por conta da alta complexidade sistêmica e porque será necessária uma revisão no contexto das novas tecnologias e regulação.

**Rota 3 - Modelos de evolução do sistema (incluindo recursos e sustentabilidade)**

Essa rota versa sobre o entendimento da forma como as novas tecnologias serão incorporadas pela indústria e pelos reguladores e sobre o entendimento de como as novas tecnologias serão incorporadas na cadeia produtiva e no dia a dia do consumidor.

No Gráfico 11, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de evolução do sistema (incluindo recursos e sustentabilidade).



**Gráfico 11** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Evolução do Sistema (incluindo recursos e sustentabilidade)

Fonte: Elaboração própria.

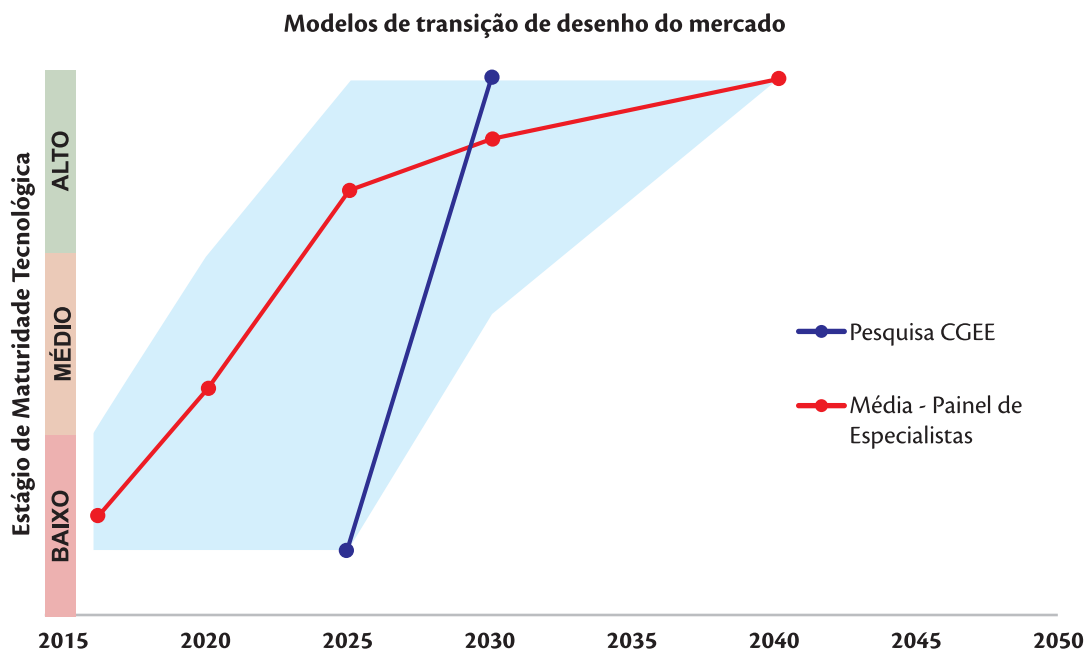
No curto prazo, há o limitador do estabelecimento do modelo regulatório, de forma a haver mais clareza dos estímulos econômicos dados aos agentes. Além disso, bases de informação de estruturas de custo e retorno dos investimentos carecem de bastante melhoria. No médio prazo, apesar de as novas tecnologias aumentarem a complexidade sistêmica, haverá como facilitador a formação de capital humano para pesquisa e o estabelecimento de bases de informação mais sistematizadas, o que favorece a evolução da rota no médio prazo. Porém, pela análise dos especialistas, a evolução é mais demorada, muito em função da avaliação do comportamento da oferta descentralizada e de dificuldades devido à grande disponibilidade de dados.



#### Rota 4 - Modelos de transição de desenho do mercado

O desenho de mercado atual está vinculado diretamente à tecnologia vigente. À medida que novas tecnologias forem sendo incorporadas, serão necessários novos desenhos de subsídios e incentivos de forma a construir a nova regulação. Adicionalmente, na medida em que houver maior participação do mercado livre, serão necessários ajustes no desenho de mercado.

No Gráfico 12, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de transição de desenho do mercado.



**Gráfico 12** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Transição de Desenho do Mercado

Fonte: Elaboração própria.

Hoje, ainda há elevado grau de complexidade regulatória. A evolução passa por mecanismos de reforço da sinalização via preço. No curto prazo, mesmo com as tecnologias atuais, ainda haverá a necessidade de um desenho de mercado mais apropriado ao *trade-off* modicidade tarifária e remuneração de investimentos. No médio prazo, apesar do aumento da complexidade sistêmica, haverá maior quantidade de pesquisadores dedicados ao *field*, além de um conjunto maior de informação disponível para análise, o que favorece a grande evolução da rota no médio prazo. A análise mais pessimista dos especialistas considerou a questão da avaliação contínua dos modelos

com base nos dados necessários e a medição do bem-estar econômico do desenho de mercado adotado que contemplem as novas tecnologias.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 9, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 9** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas  
 Evolução da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Evolução	Modelos de Comportamento	Fatores portadores de futuro	Modelos de avaliação de elasticidade da demanda bem definido. Definição de fatores para avaliação de investimento (oferta de longo prazo).		Novas fontes de informação permitirão uma maior acurácia de previsão. As definições de investimento dependem do arcabouço regulatório ainda a ser definido.		Aumento significativo de volume de informação. O papel do agente econômico ser ao mesmo tempo demandante e ofertante aumenta a complexidade do problema.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Modelos de Inovação/aprendizagem tecnológica	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Estabilidade regulatória.		Formação de capital humano em economia da energia. Aumento da complexidade sistêmica.		Aumento de base de informação. Alta complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Modelos de evolução do sistema (incluindo recursos e sustentabilidade)	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Estabilidade regulatória. Estabilização do modelo regulatório atual. Estrutura de informação para avaliação pouco estruturada.		Formação de capital humano em economia da energia. Disponibilidade de informação sobre estrutura de custos. Surgimento de novas tecnologias cujas interações.		Tecnologias já consolidadas. Aumento significativo de volume de informação. Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Modelos de transição de desenho do mercado	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Segurança regulatória.		Formação de capital humano em economia da energia. Disponibilidade de dados para análise. Aumento da complexidade sistêmica.		Aumento significativo de volume de informação. Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



### 3.3.2 Temática: Desenho de mercado

A segunda temática aborda os modelos para entendimento do desenho de mercado. Adicionalmente, neste item, apresenta-se como a variação dos desenhos de mercado influenciaria a formação de preços, a demanda, a oferta de curto prazo e o investimento em novos projetos. Adicionalmente, aborda os modelos que avaliam a formação de preço, a remuneração e os subsídios econômicos para estímulo a determinadas tecnologias, bem como os modelos de arranjo tecnológico.

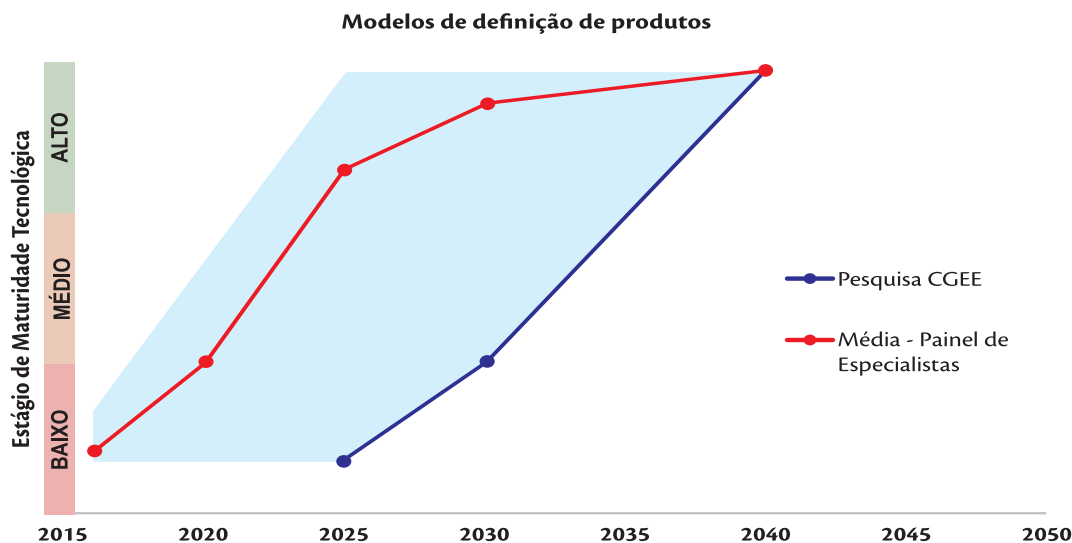
#### Roadmap tecnológico

##### Agrupamento de rotas I

###### Rota 1 - Modelos de definição de produtos

Essa rota avalia a carência tanto do ponto de vista dos consumidores quanto dos geradores de produtos ligados ao setor energético. Do ponto de vista técnico, existe carência de produtos ligados à segurança de abastecimento e precificação da qualidade da energia disponibilizada. Porém, existe uma gama muito extensa associada a produtos financeiros ligados ao setor, como futuros, *swaps* e derivativos. Essa carência traz consequências severas ao bem-estar social devido à impossibilidade de os agentes econômicos fazerem hedge em situação de incerteza.

No Gráfico 13, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de definição de produtos.



**Gráfico 13** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Definição de Produtos

Fonte: Elaboração própria.

No curto prazo, o principal limitante para introdução da rota de definição de produtos é a inexistência de um preço de mercado para energia. Assim, a formação de produtos financeiros fica limitada pela ausência de uma *clearing house*. Logo, todas as transações acontecem em balcão: um demandante comprando diretamente do ofertante. Com isso, o preço da energia contém o risco de crédito das contrapartes, além do “verdadeiro” preço da *commodity* energia. Removido esse limitador - como a teoria financeira para construção de ativos é absolutamente desenvolvida - a evolução da maturidade será rápida.

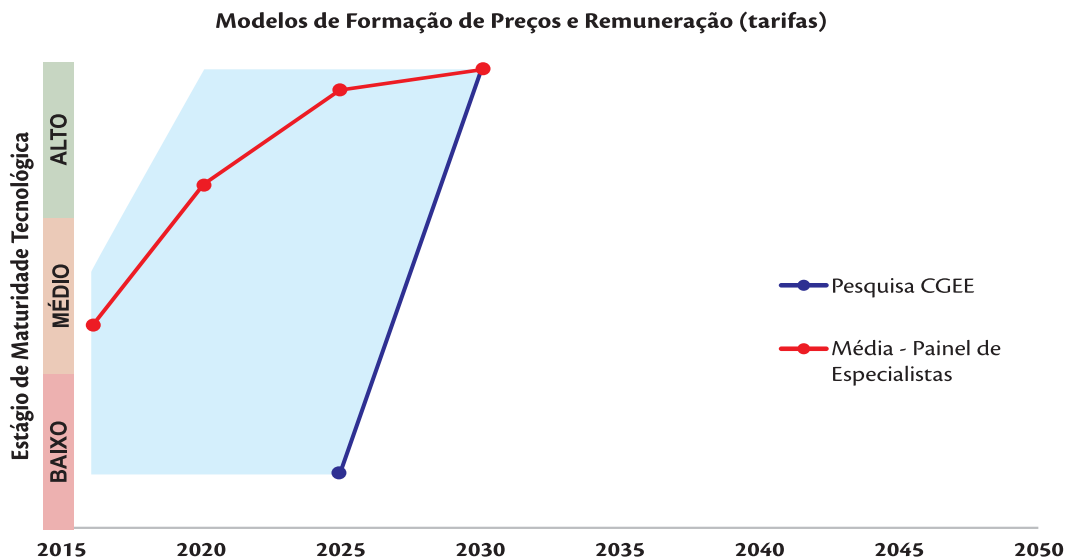
Avaliando o longo prazo, o volume de informação disponível será o principal indutor para os modelos de definição de novos produtos.

### Rota 2 - Modelos de formação de preços e remuneração (tarifas)

Essa rota aborda modelos que avaliam como os produtos ligados ao setor energético são precificados. Os elementos determinantes do preço são analisados, por exemplo, elasticidade da demanda ao preço, elasticidades da oferta e elasticidades intersetoriais.

Adicionalmente, busca-se entender como os ativos, investimentos, são remunerados vis-à-vis os riscos desses projetos e se os incentivos estão adequadamente vinculados à qualidade da operação.

No Gráfico 14, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de Formação de Preços e Remuneração (tarifas).



**Gráfico 14** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Formação de Preços e Remuneração (tarifas)  
Fonte: Elaboração própria.



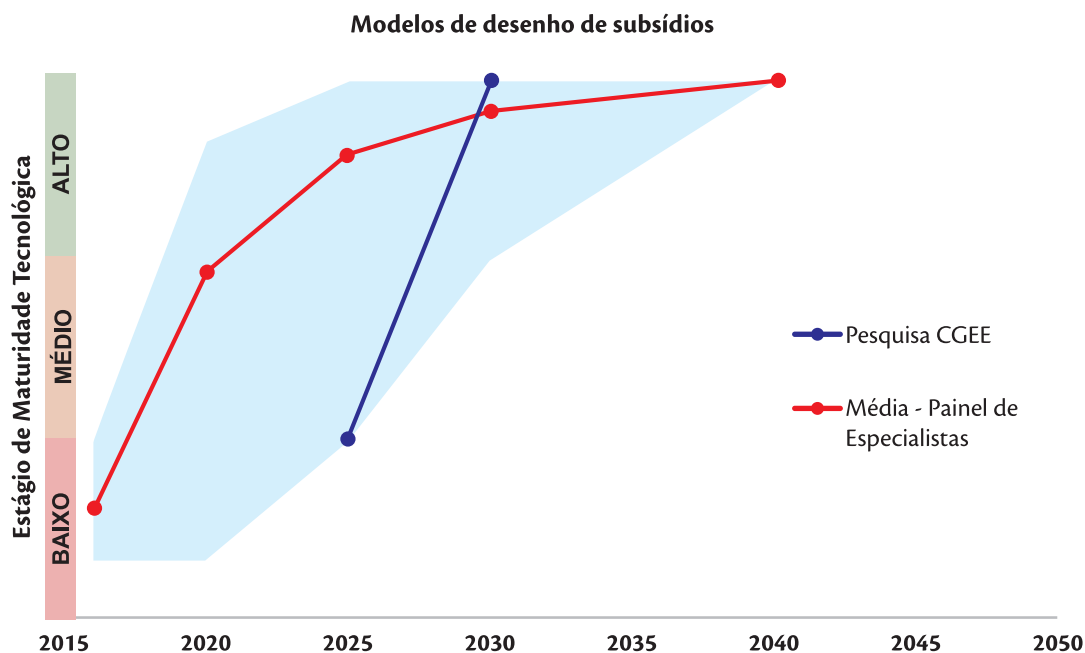


Conforme apresentado na rota anterior, devido ao fato de não termos uma clearing, o mecanismo de preço é pouco sensível aos fundamentos econômicos. Esta é a principal carência de curto prazo. À medida que esse limitador for removido, naturalmente, com uma regulação estável, haverá desenvolvimento de diversos produtos financeiros ligados ao setor, como futuros de energia, *swaps* de energia e outras formas de derivativos financeiros ligados ao setor. O impacto é brutal para o desenvolvimento econômico ao permitir que investidores consigam diversificar o risco. Os especialistas analisaram que hoje o estágio de maturidade da rota é médio e cresce no curto e no médio prazo de forma mais branda, atingindo, assim como a curva Pesquisa CGEE, o estágio máximo de maturidade em 2030.

### Rota 3 - Modelos de desenho de subsídios

A rota trata das questões sobre quais bens se devem estimular, por que e quanto. Um exemplo padrão seria a energia limpa. Em geral, subsídios são o mecanismo utilizado para tal fim. Porém, é fundamental dar transparência abrangente à sociedade de quanto ela paga por esse bem público.

No Gráfico 15, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de desenho de subsídios.



**Gráfico 15** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Desenho de Subsídios

Fonte: Elaboração própria.

Hoje, é muito baixo o nível de transparência do subsídio pago pela sociedade. Este é o ponto inicial para qualquer análise. Adicionalmente, as análises sobre o retorno social dos subsídios ligados ao setor são ainda muito escassas. O aumento da transparência gerará uma série de estudos sobre se e onde devemos investir. A partir de 2025, esse entendimento será uma realidade, o que favorece a evolução rápida de maturidade da rota. Os especialistas fizeram uma análise um pouco mais pessimista, avaliando que, no longo prazo, será necessário desenvolver os modelos, muito por conta da complexidade sistêmica e da avaliação dos subsídios com base nas novas tecnologias em *Big Data* e da avaliação do comportamento da oferta descentralizada.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 10, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 10** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Desenho de Mercado da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Desenho de Mercado	Modelos de definição de produtos	Fatores portadores de futuro	Tecnologia estabelecida para desenho de produtos financeiros ligados a energia. Estabilidade regulatória. Ausência de uma clearing para comercialização de ativos financeiros.		Formação de capital humano em economia da energia. Aumento da participação do mercado livre e de autoprodutores. Complexidade sistêmica.		Aumento significativo de volume de informação. Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO				ALTO	
	Modelos de Formação de Preços e Remuneração (tarifas)	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Instabilidade regulatória. Ausência de uma clearing para comercialização de ativos financeiros.		Surgimento de uma clearing para comercialização de energia. Estabilidade regulatória. Complexidade sistêmica.		Aumento significativo de volume de informação. Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Modelos de desenho de subsídios	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Transparência do custo dos subsídios para a sociedade.		Formação de capital humano. Aumento da transparência sobre a alocação dos recursos da sociedade. Aumento da complexidade.		Aumento significativo de volume de informação (bases de dados para medir mais efetivamente o retorno social). Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

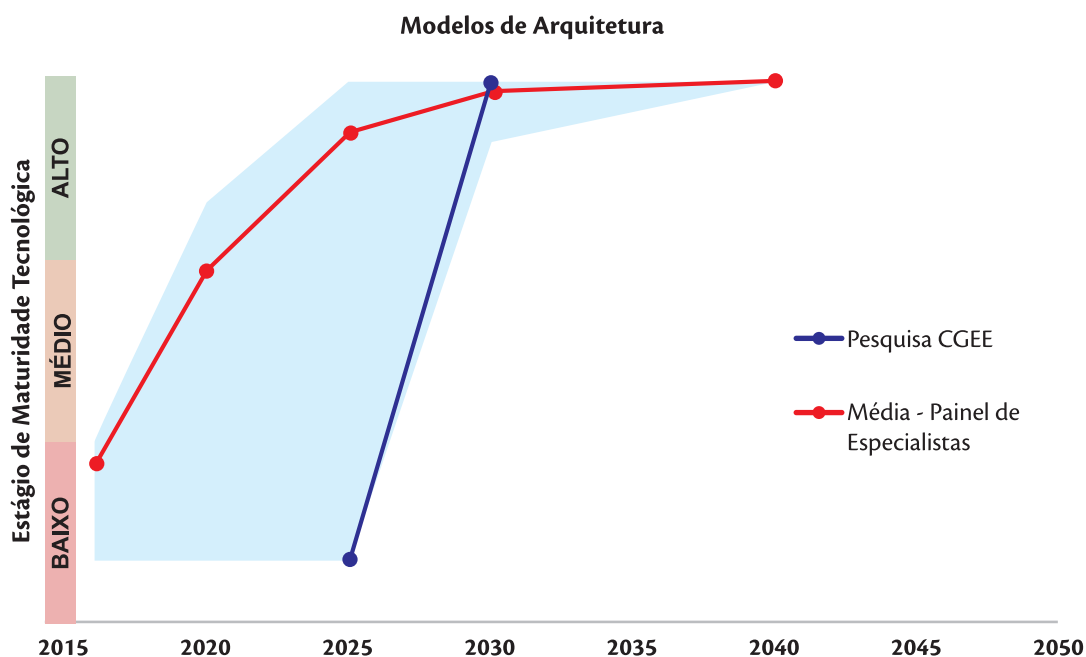


## Agrupamento de rotas II

### Rota 1 - Modelos de arquitetura

Os modelos de arquitetura trazem elementos para construção e análise de diversos tipos de sistemas e suas interconexões, como corporações ou mercados. No caso dessa rota, busca-se avaliar o impacto de diversos desenhos de mercado, incluindo os dos diversos agentes, por exemplo, dos consumidores livres.

No Gráfico 16, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de arquitetura.



**Gráfico 16** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Arquitetura

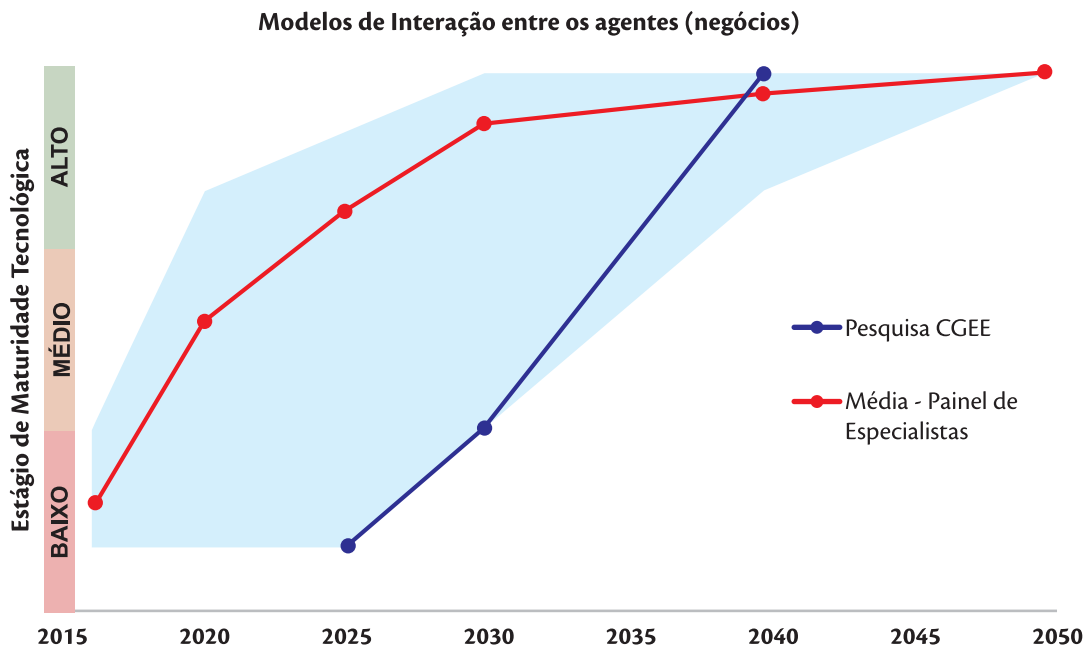
Fonte: Elaboração própria.

Como essa rota busca entender as conexões do ponto de vista tecnológico entre os sistemas, hoje há elevado grau de capital humano nessa área, tanto na academia quanto no setor privado. Os limitadores no curto prazo devem-se à estabilidade regulatória e ao incremento da complexidade sistêmica. A complexidade sistêmica entraria como um dos limitadores no curto e no médio prazo. Os especialistas ainda consideram o fator limitador relativo à avaliação da adequabilidade da tecnologia para modelagem do setor e da necessidade de melhoria da aderência e capacidade explicativa correlacionada à disponibilidade de dados, o que pode retardar a evolução de maturidade da rota e esta atingir o estágio máximo de maturidade em 2040.

**Rota 2 - Modelos de interação entre os agentes (negócios)**

Essa rota apresenta a avaliação sobre o equilíbrio do jogo entre agentes ofertantes. A tecnologia que deve ser adotada e a que preço seria o objeto de análise.

No Gráfico 17, é apresentada a evolução da maturidade da rota modelos de interação entre os agentes (negócios).



**Gráfico 17** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Interação entre os Agentes (negócios)

Fonte: Elaboração própria.

Os limitantes dessa rota no curto prazo são muito similares aos já apresentados. Hoje, há carência de avaliação desse tópico devido às incertezas regulatórias e à carência de uma curva de preço da energia. Pela cenarização, ao se adotar maior participação do mercado livre, naturalmente, haverá evolução significativa dessa rota (médio e longo prazo). A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que o estágio máximo de maturidade será atingido em 2040, ao passo que os especialistas consideraram que seria somente em 2050 dada a necessidade de avaliação regulatória de possíveis estratégias de manipulação automática de mercado.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 11, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que



podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 11** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Desenho de Mercado da Macrotecânica Modelos Econômicos e de Mercado

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Desenho de Mercado	Modelos de Arquitetura	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Estabilidade regulatória.		Formação de capital humano em economia da energia. Volume de informação. Complexidade sistêmica.		Aumento significativo de volume de informação (bases de dados para medir mais efetivamente o retorno social em tempo real). Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Modelos de Interação entre os agentes (negócios)	Fatores portadores de futuro	Estabilidade regulatória. Conhecimento técnico em engenharia. Ausência de uma clearing para comercialização de ativos financeiros.		Formação de capital humano. Surgimento de uma clearing para comercialização de energia. Aumento da complexidade sistêmica.		Aumento significativo de volume de informação. Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

### 3.3.3 Temática: Interação

A última parte da macrotecânica descreve o desenvolvimento dos modelos para avaliação de interações intersetoriais. Essa visão apresenta como novas tecnologias podem ser vistas e reguladas de forma conjunta. Por exemplo, internet e energia e/ou transporte e energia. Adicionalmente, modelos que considerem diretamente a interação entre o setor de energia e políticas urbanas (como cidades inteligentes), ambientais e sociais.

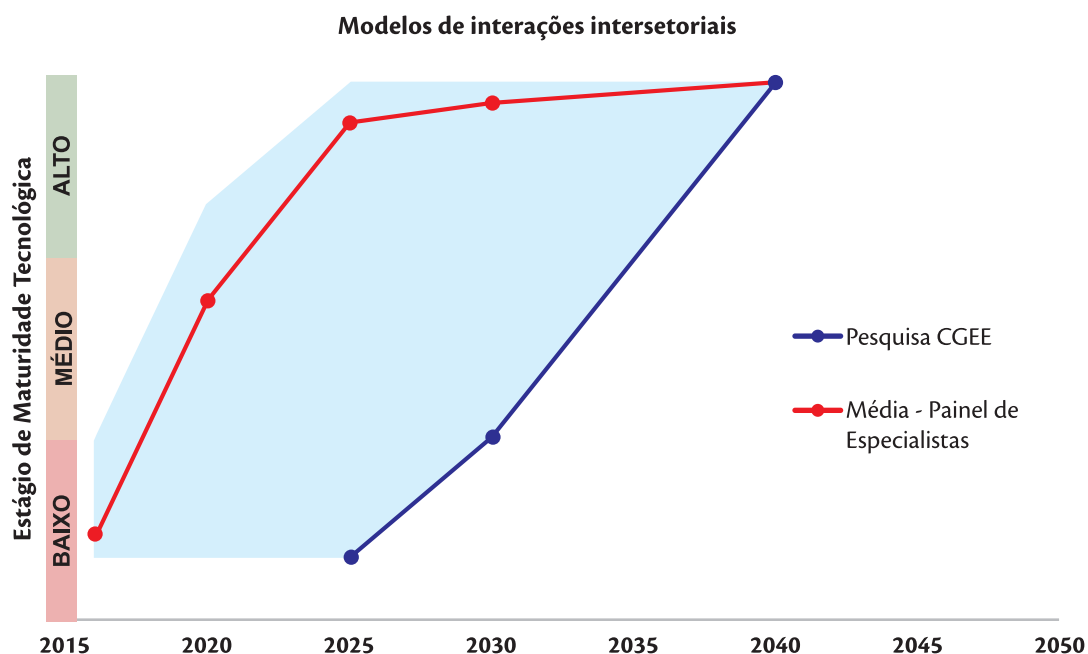
#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Modelos de interações intersetoriais

Essa rota está relacionada a modelos que avaliam as sinergias entre diferentes tecnologias. Sinergia em economia dá-se quando duas tecnologias têm ganho de escopo, ou seja, produzir as duas conjuntamente é mais barato que produzir cada uma separadamente.

Essas interações não se restringem aos aspectos tecnológicos. Em uma abordagem mais ampla, a interação com o setor financeiro também faria parte do escopo com análises sobre a suficiência dos instrumentos financeiros capazes de fazer frente ao risco.

No Gráfico 18, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de interações intersetoriais.



**Gráfico 18** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Interações Intersetoriais

Fonte: Elaboração própria.

Hoje, há poucos trabalhos acadêmicos relacionados a essa temática, mesmo intratecnologias do setor elétrico. Com mais fontes de informação sobre a estrutura de custos das empresas, haverá condições de ter essas análises para ganhos sinérgicos dentro e fora do setor elétrico. Com o desenvolvimento de mais pesquisadores com acesso à informação, a maturidade da rota deve evoluir rapidamente, e houve consenso entre os especialistas e a Pesquisa CGEE quanto à chegada ao estágio máximo de maturidade da rota em 2040.

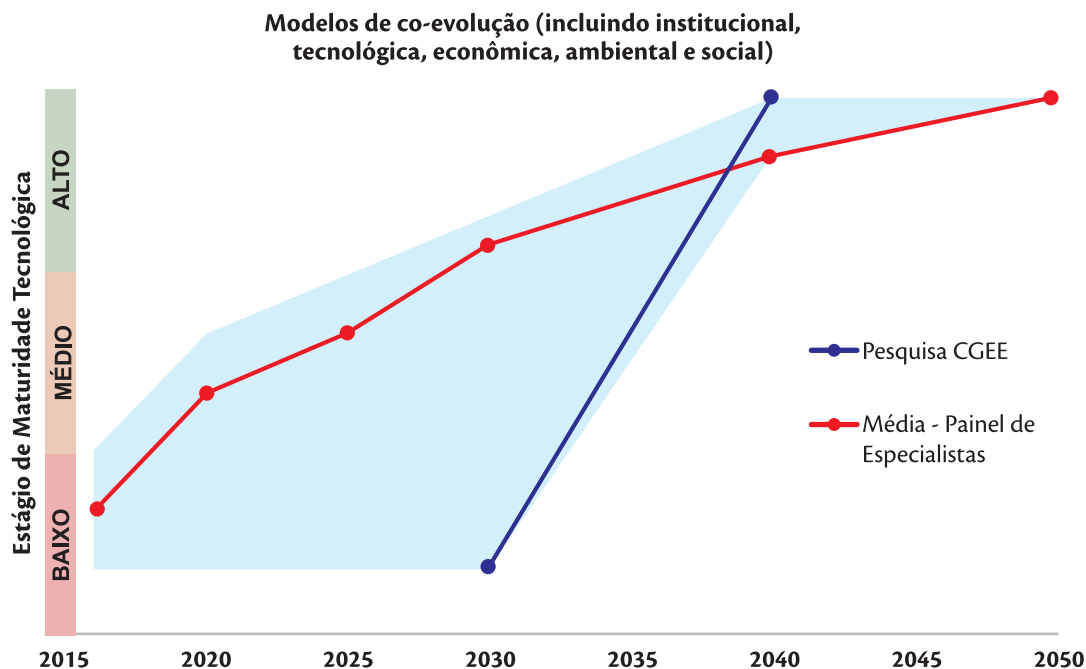
**Rota 2 - Modelos de coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social)**

Essa rota busca explicar, com enfoque em teoria evolucionária, como duas entidades (instituições, tecnologias etc.) evoluem ao longo do tempo. Um dos principais elementos de estudo seria



simulação dos diferentes caminhos institucionais e como estes estão relacionados com a dinâmica tecnológica.

No Gráfico 19, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social).



**Gráfico 19** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social)

Fonte: Elaboração própria.

No curto prazo, o maior limitante da rota é a aplicabilidade dessa tecnologia ao entendimento dos fenômenos do setor elétrico. Tal limitação levará a incertezas no médio e no longo prazo. Os facilitadores serão os mesmos das demais rotas: mais informação e capital humano. A curva Pesquisa CGEE mostra que o desenvolvimento da rota dar-se-á somente no período de longo prazo, ou seja, os fatores limitantes de curto e médio prazo, no tocante à tecnologia pouco difundida em estudos ligados ao setor e à incerteza se essa técnica é aplicável aos problemas do setor, tornarão mais demorado o desenvolvimento dos modelos de coevolução.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 12, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas

supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 12** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas  
Interação da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Interação	Modelos de interações Intersectoriais	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Poucos trabalhos sobre a rota.		Formação de capital humano em economia da energia. Aumento da complexidade sistêmica.		Aumento significativo de volume de informação. Complexidade sistêmica.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	
	Modelos de coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social)	Fatores portadores de futuro	Conhecimento técnico em engenharia. Tecnologia pouco difundida em estudos ligados ao setor.		Conjunto de informações disponíveis. Formação de capital humano em economia da energia. Incerteza se esta técnica é aplicável aos problemas do setor.		Ampla conjunto de informações para modelagem. Incerteza se essa técnica é aplicável aos problemas do setor.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

### 3.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 13.





**Tabela 13** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macroteoria Modelos Econômicos e de Mercado

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Modelos de definição de produtos	Desenho de mercado
2	Modelos de arquitetura	Desenho de mercado
3	Modelos de formação de preços e remuneração (tarifas)	Desenho de mercado
4	Modelos de comportamento	Evolução
5	Modelos de interações Intersetoriais	Interação
6	Modelos de interação entre os agentes (negócios)	Desenho de mercado
7	Modelos de desenho de subsídios	Desenho de mercado
8	Modelos de inovação/aprendizagem tecnológica	Evolução
9	Modelos de transição de desenho do mercado	Evolução
10	Modelos de coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social)	Interação
11	Modelos de evolução do sistema (incluindo recursos e sustentabilidade)	Evolução

Fonte: Elaboração própria.

A rota com maior prioridade definida pelos especialistas no painel foi definição de produtos, devido à carência de produtos financeiros para fazer frente ao risco do setor. O tema é de fundamental importância para introduzir mecanismos que reduzam o risco dos investimentos. A rota definida como prioridade dois foi modelos de arquitetura e está muito relacionada a qual desenho regulatório queremos implantar no futuro próximo e quando serão introduzidas novas tecnologias. A rota modelos de formação de preço e remuneração (tarifas), definida como prioridade três, indica que a ausência de elementos relativos a sinais econômicos claros (preços e remuneração) representa, na prática, aumento do custo de investimento para o investidor.

A rota modelos de comportamento, prioridade quatro, é muito importante para a determinação de políticas públicas e desenho regulatório. A rota interações intersetoriais e a rota modelos de interação entre os agentes (negócios) darão subsídios necessários a novos investimentos e a desenho regulatório que incorporem novas tecnologias e seguirem na ordem de prioridade definida pelos especialistas.

A rota modelos de desenhos de subsídios foi definida como rota sete de prioridade, no que concerne a propiciar o desenvolvimento de subsídios à sociedade para discussão do investimento público em uma política ou em outra, fator importante para o desenvolvimento da macroteoria.

A rota modelos de inovação/aprendizagem tecnológica veio na sequência de definição de prioridades e tem bastante importância em uma realidade em que grande parte da inovação será feita pela iniciativa privada, a qual terá impacto bastante relevante no bem-estar social.

As rotas modelos de transição de desenho do mercado, modelos de coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social) e modelos de evolução do sistema (incluindo recursos e sustentabilidade) foram definidas como últimas posições de prioridade, porém são importantes devido à relevância desses conhecimentos para a construção de um arcabouço regulatório que incorpore as novas tecnologias.



## Capítulo 4

---





## Capítulo 4

# Macrotemática Demanda por Energia Elétrica

O comportamento da demanda por energia elétrica é de grande interesse para o meio acadêmico, para o meio empresarial e para a sociedade, visto que essa variável tem papel central no desenvolvimento econômico e social de um país. O comportamento da demanda de energia elétrica norteia a composição e o crescimento da matriz de energia elétrica de um país. Equívocos no planejamento da matriz, tanto em relação à sua composição quanto em relação à velocidade do seu crescimento, podem gerar problemas, como escassez no fornecimento e/ou aumento abrupto nos preços de energia elétrica, dentre outros. Situações como as duas apontadas causam prejuízos de diversas naturezas para o país, gerando desde pressões inflacionárias até redução do crescimento econômico, da qualidade de vida da população e de indicadores como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Nesse contexto, o desenvolvimento de diretrizes para as linhas de P&DI no tema demanda por energia elétrica é de suma importância para investigar e propor de forma organizada as melhorias necessárias ao setor elétrico.

O objetivo principal deste trabalho é apontar as linhas de P&DI que ainda necessitam de melhorias/ investimento e as expectativas de necessidades futuras do mercado de demanda por energia elétrica. Para encontrar as lacunas do conhecimento, foram levantadas informações de P&D já realizados na base da Aneel, além das publicações sobre o tema nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS). A fim de identificar os principais pontos em desenvolvimento no que diz respeito à demanda por energia elétrica no mundo, foram analisadas, também via *Scopus* e *Web of Science* (WoS), as publicações no tema de países como a Alemanha.

A macrotemática em questão foi subdividida em duas temáticas: i) determinantes e previsão da demanda por energia elétrica; e ii) gerenciamento pelo lado da demanda. Na primeira temática, concentram-se todas as linhas de P&DI que pesquisam as informações relevantes para entender os determinantes da demanda por energia elétrica e as principais metodologias para cálculo da previsão. A segunda temática foca projetos que analisem a demanda de energia elétrica por meio da ótica da própria demanda.

## 4.1 Visão de futuro

### 4.1.1 Cenário setorial

Com base nas premissas descritas no capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), apresenta-se a seguir uma síntese do que se espera de fato para o curto, médio e longo prazo para a demanda por energia elétrica.

Para o curto prazo (2017-2020), identificam-se dois fatores principais que afetam a demanda de forma a projetar crescimento modesto dessa demanda: cenários macroeconômicos e tarifas de energia. O cenário macroeconômico (em particular a evolução do PIB) deverá comandar o crescimento da demanda, considerando as questões fiscal e cambial, que muito provavelmente retomará a taxa média histórica da classe residencial (conforme projeção do crescimento populacional), e crescimento mais modesto para as classes industrial e comercial, pois tudo indica que o crescimento do PIB esperado pela EPE de 2,5% é muito otimista e não deve ocorrer a partir de 2017. Para a classe rural, o mesmo crescimento modesto deve ocorrer em função, principalmente, da escassez de investimentos causada pela crise econômica/recessão. Acrescentam-se a isso os elevados preços de energia praticados para todas as classes de consumo, que atuam como inibidor do crescimento da demanda no curto prazo.

No médio prazo (2020-2030), espera-se retomada do crescimento da economia, o que impactará taxas mais otimistas para o crescimento do PIB e demais variáveis macroeconômicas, como também redução da tarifa de energia decorrente da quitação das cobranças introduzidas pela edição da MP 579, evidentemente, considerando a não ocorrência de hidrologias desfavoráveis que poderiam afetar as tarifas. Com isto, pode-se esperar crescimento mais sólido da demanda em todas as classes de consumo nesse período. Em particular, na baixa tensão, em função do crescimento esperado da micro e minigeração distribuída e das REI e de maior penetração das medidas de eficiência energética, haverá conscientização do uso da energia elétrica pelos consumidores, sem, contudo, afetar o crescimento da demanda. Será necessária maior gestão da demanda (demanda dinâmica).

Por fim, para o longo prazo (2030-2050), admite-se que a economia esteja em estabilidade, o que provocará, em princípio, a manutenção do crescimento do consumo a taxas menores, pois a expectativa é de crescimento populacional a taxas mais modestas no período. Além disso, as ações de eficiência energética alcançarão níveis de maturidade no período, contribuindo para a estabilidade da demanda. Também nesse período, espera-se o início das vendas dos veículos elétricos, o que causa impacto na demanda por energia elétrica.

### 4.1.2 Objetivo geral

Considerando-se o cenário setorial e o horizonte temporal até 2050, o objetivo geral dessa macrotemática é viabilizar o desenvolvimento de ferramentas e modelos que permitam estabelecer



uma visão da evolução futura do mercado de energia elétrica, em horizontes de curto, médio e longo prazo, com ênfase na demanda das diversas classes de consumo, a saber, residencial, comercial, industrial, rural, serviços e poderes públicos e outros.

### 4.1.3 Objetivo específico

Os objetivos específicos dessa macrotemática são descritos a seguir.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Desenvolver modelos para projeção da demanda de potência;
- Desenvolver modelos de segregação das parcelas de perdas e/ou consumo próprio etc.;
- Desenvolver modelos que incorporem os seguintes aspectos:
  - Especificidade de cada classe de consumo, por exemplo, o consumo específico por bem final para o setor residencial, número de empregados por m<sup>2</sup> por subsetor para o setor comercial, produção específica de cada processo no setor industrial;
  - Influência das variáveis macroeconômicas e demográficas sobre cada classe de consumo e região geográfica;
  - Impactos de novas tecnologias sobre a demanda de energia elétrica, incluindo, sem se limitar, *smart grids*, armazenamento de energia, veículos elétricos etc.;
- Realizar pesquisa sobre o impacto da gestão de carga na evolução da demanda;
- Realizar pesquisa sobre a variação da curva de carga em função da entrada de fontes intermitentes e sazonais;
- Promover tratamento de dados mediante o uso de *Big Data* e *statistical learning*.

#### **Médio prazo (2020-2030):**

- Desenvolver modelos que levem em consideração não só a componente temporal, como também a componente espacial na demanda (modelos espaço-temporal);
- Aplicar técnicas que levem em consideração a integração entre a oferta e a demanda de energia;
- Desenvolver modelos de balanço de energia útil a partir das características tecnológicas, econômicas e demográficas de cada classe de consumo;
- Utilizar ferramentas e critérios para a seleção de modelos mais eficientes e que capturem o comportamento da demanda em curto, médio e longo prazo, considerando técnicas de decisão multicritério;
- Desenvolver modelos para gerar perfis de curvas de carga por classes de consumo, ou ainda mais desagregado, isto é: bem final no residencial, subsetor no comercial, processos no industrial etc.;
- Desenvolver modelos do tipo *bottom-up* que estimem a demanda a partir de informações técnico-econômicas para os níveis mais desagregados por classe de consumo.

#### **Longo prazo (2030-2050):**

- Produzir análise dos impactos na demanda da micro ou minigeração, *smart grid*, armazenamento de energia, opções tarifárias, veículos elétricos etc.;
- Desenvolver modelos que considerem a evolução da Internet das Coisas (IoT), *Big Data*, *statistical learning*, entre outros.

Ressalta-se que, para alcançar os objetivos geral e específicos, necessita-se realizar periodicamente pesquisas de posses e hábitos de uso para cada uma das regiões geográficas brasileiras e cada classe de consumo a fim de mapear o comportamento da demanda/consumo de energia de forma efetiva.

#### **4.1.4 Fundamentação**

Os recursos energéticos estão se tornando cada vez mais escassos. Além das questões ambientais que vão gerar mais restrições para a expansão da oferta nos próximos anos, o planejamento tem que se voltar cada vez mais para o lado da demanda, haja vista que ela deixará de ser tratada como fator exógeno. Por essa razão, torna-se imprescindível um investimento pesado no mapeamento profundo e detalhado de todos os setores eletrointensivos, além das classes residencial (com suas peculiaridades regionais) e, “super importante”, comércio, indústrias e serviços. Nesse sentido, pode-se mencionar a lacuna de informações sobre posses e hábitos de uso de clientes atendidos na baixa tensão - o último levantamento feito em nível nacional é datado de 2005 (PROCEL). Isso tem levado à construção de modelos de previsão de demanda de energia elétrica com dados pouco precisos, o que compromete a estimativa da demanda real e do seu crescimento.

Nesse sentido, é necessário adequar a regulação para os novos desenvolvimentos no SEB. Como exemplo, pode-se mencionar a disseminação de micro/minigeração distribuída, *smart grid*, armazenamento de energia, opções tarifárias e uso de veículos elétricos, que alterará significativamente a demanda requerida pelas unidades consumidoras a seus provedores cativos de energia. Além disso, é necessário investir em tecnologias de telecomunicação para possibilitar o desenvolvimento das redes inteligentes, bem como a elaboração de estudos para a extração de informações que permitirão a introdução de novas modalidades de tarifas e, conseqüentemente, alterações na demanda requerida de energia elétrica.

Em maio de 2016, foi sancionada a Lei nº 13.280, que alterou a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, visando disciplinar a aplicação dos recursos designados a programas de eficiência energética. Isso permitirá que haja sustentabilidade financeira no Procel. Assim, pode-se afirmar que a política de eficiência energética no Brasil está seguindo um caminho adequado e que deve continuar a ser estimulada. Como desdobramento dessa alteração, cita-se, por exemplo, a licitação para contratação de uma pesquisa sobre posses e hábitos de consumo (PPH) para clientes baixa tensão (BT) residências pelo PROCEL, que já está em vias de contratação para realização ainda em 2017.





Tal detalhamento de dados é a condição necessária para a construção de modelos do tipo *bottom-up* para previsão de demanda de energia. Esses modelos são utilizados correntemente nos países desenvolvidos para todas as classes de consumo com alto grau de precisão e com a vantagem da possibilidade de análise de cenários de eficiência energética. Como exemplo, tem-se os modelos desenvolvidos pelo Instituto Fraunhofer, da Alemanha, responsável pela elaboração desse tipo de modelo para previsão e simulação da demanda futura de energia de todos os 28 países da União Europeia, mais Noruega, Suíça e Turquia. As referências a seguir comprovam a eficácia desses modelos:

- Braungardt, S.; Elsland, R.; Eichhammer, W.: *The environmental impact of eco-innovations - The case of EU-residential electricity use*, In: *Environmental Economics and Policy Studies (EEPS), Special issue on Green growth, eco innovation and sustainable transitions*, Turin, 2015.
- Elsland, R., Wietschel, M. (2013): *Long-term energy demand modelling - Analyzing the impact of myopic technological knowledge*, Helmholtz Association - Alliance ENERGY-TRANS, *Conference on Energy Systems in Transition: Inter- and Transdisciplinary Contributions*, Karlsruhe.
- Jakob, M.; Catenazzi, G.; Fleiter, T. (2013): *Ex-ante estimation of the EU Ecodesign Directive's impact on the long-term electricity demand of the tertiary sector: eceee summer study 2013*, June 3-8, Presqu'île de Giens.
- Fleiter, T.; Fehrenbach, D.; Worrell, E.; Eichhammer, W. (2012): *Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials*. *Energy*, 40 (1), pp. 84-99.

Os modelos *bottom-up*, em particular, permitem que sejam mapeadas e incluídas na sua estrutura medidas de eficiência, inserção de novas tecnologias (por exemplo, veículos elétricos, micro/minigeração etc.), bem como a evolução das tecnologias por meio de, por exemplo, curvas de difusão tecnológica.

Por fim, é imprescindível mencionar a importância de modelos oriundos de técnicas de inteligência computacional (redes neurais, lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos entre outras) e, mais recentemente, os modelos que utilizam as técnicas de *machine learning*. Porém, destaca-se que, para a sua utilização plena e eficácia apurada, a necessidade de detalhamento de dados é a mesma dos modelos baseados nas técnicas estatísticas/séries temporais. Alguns trabalhos encontrados para previsão da demanda por energia elétrica utilizando tais técnicas podem ser vistos a seguir:

- Anguita, D.; Ghelardoni, L.; Ghio A.: *Long-term energy load forecasting using auto-regressive and approximating support vector regression*. In: *Energy Conference and Exhibition*, 2012.
- Ghods, L.; Kalantar, M.: *Diferent methods of long-term electric load demand forecasting*:

- A comprehensive review. Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering 7, 249-259, 2011.*
- *Bonanno, F.; Capizzi G.; Tina, G.: Long-term energy performance forecasting of integrated generation systems by recurrent neural networks. In: International Conference on Clean Electrical Power, 2009.*
  - *Fu, C.; Nguyen, T.: Models for long-term energy forecasting. In: Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE.*

## 4.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Considerando todo o exposto até este ponto, a partir do capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), foram concebidas métricas/indicadores cuja premissa é nortear e sinalizar a evolução da macrotemática e das temáticas a ela associadas ao longo do horizonte estudado, ou seja, para o período compreendido entre os anos 2017-2050.

Essas métricas/indicadores foram definidas e traçadas, considerando o cenário geral da macrotemática. E seus possíveis impactos e evoluções, considerando cada uma das rotas compreendidas na macrotemática, tendo em mente objetivos de evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado.

A seguir, são efetuadas observações gerais a respeito dos caminhos traçados para cada um dos objetivos listados acima. Em linhas gerais, refletem a evolução de indicadores/métricas que alicercem e respaldem aprimoramento na definição de determinantes, na previsão de demanda por energia elétrica e na captura de impactos do gerenciamento pelo lado da demanda. Não obstante, em ambas as temáticas pertencentes à macrotemática, busca-se a concepção de rotinas e modelos que permitam a construção de cenários de demanda em face das alterações dos seus condicionantes, utilizando, em algumas situações, modelos até então não utilizados no planejamento do SEB, como modelos de previsão estocástica e probabilística.

### **Evolução tecnológica**

Quanto aos objetivos de evolução tecnológica, pode-se observar que as métricas elencadas estão concentradas em seis aspectos específicos:



- Obtenção de dados primários de consumidores e instalações: concepção de uma rotina de obtenção e coleta de dados de consumidores de baixa tensão (dados primários de posse e hábitos, medições por equipamentos, identificação do nível de sucateamento de edifícios) e mapeamento e descrição de procedimentos, metodologias e análises a serem efetuadas a partir dos dados coletados em tais pesquisas, objetivando criar um padrão de campanhas de medidas que possibilite alimentação contínua da base de dados;
- Veículos elétricos: obtenção e análise das informações necessárias para a realização de estudos capazes de traçar cenários de penetração de veículos elétricos na atual frota veicular, bem como a identificação dos impactos dessa nova “classe de consumo” sob a demanda por energia elétrica. Os cenários seriam traçados considerando não somente curvas de sucateamento de veículos, mas também informações sobre deslocamento médio e pela construção de cenários de difusão dos veículos elétricos, observando, para isso, variáveis que mensurem a capacidade de compra da população;
- *Smart grid* e medição eletrônica: definição de cenários e conjecturas para a troca dos atuais medidores por medidores inteligentes em consumidores de todas as faixas de tensão. A troca dos medidores permitiria a obtenção de informações sobre a demanda e a identificação de outra gama de variáveis determinantes da demanda em tempo real;
- Estudos de suporte para cálculo do custo do déficit: estudo para a mensuração da propensão marginal a pagar pela energia elétrica, bem como identificação de caminhos alternativos para a mensuração e consideração do custo do déficit dentro do custo da energia elétrica;
- Perdas não técnicas: elaboração de estudos definidores das variáveis influenciadoras das perdas não técnicas e construção de modelos que capturem a causalidade entre as variáveis, podendo, assim, dar suporte à construção de um arcabouço regulatório e metas factíveis para tratamento da questão;
- Modelos de previsão de demanda estocástica/probabilística: estudos de formas de tratamento e de modelos que permitam a concepção da previsão da demanda de forma estocástica e a consequente adaptação do modelo de despacho para recebimento da demanda tratada da referida maneira.

### Demais objetivos

No que tange ao objetivo de estratégia setorial para dimensão de análise, entende-se que as questões regulatórias de mercado, de custo e seus parâmetros técnicos guardam estreita relação com a dimensão de análise. Por exemplo, a substituição dos medidores atuais por medidores inteligentes precisa ter não somente a anuência do órgão regulador, mas também a definição, por parte do órgão regulador, das informações a serem coletadas, bem como o padrão de coleta e armazenamento dessa informação; a responsabilidade sobre o custo de substituição desses medidores, dentre outras. Também a título de exemplo, regras e diretrizes para campanhas de

medidas são definidas e entendidas por meio de normas disponibilizadas pelo regulador, ou seja, mudanças e adaptações no atual modelo regulatório e nos modelos de despacho (no caso do uso de previsões probabilísticas e/ou estocásticas) precisariam ocorrer de forma a abarcar o desenvolvimento advindo das métricas mencionadas.

Quanto aos incentivos para o desenvolvimento da macrotemática como um todo, entende-se que as questões associadas à demanda e ao gerenciamento pelo lado da demanda, no curto prazo, permaneceriam com níveis de incentivo semelhantes aos do período atual. No entanto, no médio e longo prazo, ambos os aspectos ganhariam mais destaque dentro do setor, especialmente devido à introdução e maior penetração das tecnologias elencadas nas métricas. Na dimensão cultura e outros fatores externos, entende-se que qualquer alteração, seja nos aspectos culturais ou mesmo no contexto rural ou urbano, influenciaria positivamente o desenvolvimento das métricas e temáticas analisadas, pois a previsão da demanda, bem como a influência de medidas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), é fortemente impactada por questões culturais e de recorte geográfico. Tanto o plano decenal quanto o plano nacional de energia influenciam, facilitando o desenvolvimento da macrotemática em questão, dada a forte relação existente entre as duas. Por exemplo, a disseminação e a melhoria na qualidade dos dados advindas da definição de metodologia e critérios de coleta podem promover melhoria dos dados utilizados pela EPE na geração das previsões de demanda de ambos os planos.

Quanto ao objetivo socioambiental, é importante que haja uma análise dos impactos das mudanças climáticas na demanda por energia elétrica, bem como impactos de aspectos ambientais locais e impactos de questões sociais e culturais. Todo esse cenário de desenvolvimento da macrotemática tenderá, no médio e no longo prazo, ao aumento de produção científica em revistas indexadas e congressos nacionais e internacionais e também na geração de projetos. O mesmo pode ser dito sobre a infraestrutura de CT&I no Brasil e sobre a demanda por recursos humanos. Entende-se também que somente no longo prazo os centros de pesquisa e pesquisadores tenderiam a trabalhar em redes colaborativas, permanecendo o trabalho descentralizado, sendo o mais frequente no curto e no médio prazo. Com isso, coautorias tenderiam a aumentar também somente no longo prazo.

### 4.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática demanda por energia elétrica consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 20 ao Gráfico 24. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no



Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

### 4.3.1 Temática: Determinantes e previsão da demanda por energia elétrica

A temática determinantes e previsão da demanda por energia elétrica tem duas rotas: determinantes da demanda e previsão da demanda. Na rota determinantes da demanda, estão relacionados todos os elementos e variáveis que possam, porventura, influenciar ou impactar a demanda por energia elétrica. Ou seja, de certa forma, todas as métricas apresentadas na análise geral têm relação com essa rota. No caso da rota previsão da demanda, concentra-se toda questão associada com modelagem e impacto das diferentes métricas na previsão de demanda de energia elétrica. Tais rotas refletem um conjunto de estudo de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Determinantes da demanda*

As métricas são aqui apresentadas por grupo e objetivos, de forma a facilitar a descrição das suas evoluções no período analisado.

- Obtenção de dados primários de consumidores e instalações: esse agrupamento compreende as métricas de levantamento de dados primários em Baixa Tensão (BT), medição de consumo por uso final, bem como mapeamento e coleta de dados de variáveis das edificações existentes no país (métrica construção de curvas de sucateamento de edifícios para todo o país):
  - Levantamento de dados primários em BT: foi considerado na rota determinantes da demanda que é necessária a obtenção de dados atualizados de posse e uso de equipamentos para a classe residencial até 2025 e para as demais classes até 2025-2030. Esse mapeamento e coleta de informações possibilitará a análise e identificação do grau de influência de cada uma das variáveis coletadas no comportamento da demanda, bem como a estimação de curvas de carga por uso final (2030-2050). Ou seja, possibilitará a identificação de usos finais cuja introdução de rupturas tecnológicas mais propiciaria reduções ou alterações de comportamento da demanda, bem como o nível de margem existente para a modulação da demanda;
  - Medições de consumo por uso final: a execução de medições por uso final, especialmente na baixa tensão, possibilitaria, juntamente com os dados advindos da Pesquisa de Posse e Hábitos (PPH), a geração de curvas de carga. Estas seriam, então, corrigidas via medições até 2025, possivelmente, com medições intrusivas até

2030. Tal fato possibilitaria a execução de ajustes na curva de carga estimada via PPH, permitindo um conhecimento mais preciso das curvas de carga por equipamento sem a necessidade de execução frequente da campanha de medidas;
- Construção de curvas de sucateamento de edifícios para todo o país: essa métrica, para a rota determinantes da demanda, compreende mapeamento e coleta de informações de edifícios em todas as regiões do país (até 2020). Um mapeamento dessa natureza possibilitaria a identificação das variáveis físicas que têm maior relação com a demanda de energia (2020-2025), bem como as relações de causalidade ali existentes para edifícios pertencentes a todas as classes de consumo e subsistemas (2025-2030). A concepção de uma base de dados integrada, contendo informações dessa natureza, permite não só o entendimento dessas relações e das suas importâncias, mas também aprimoramento e aumento da robustez de previsões elaboradas com modelos do tipo *bottom-up*. O sucesso no uso de uma base dessa envergadura passa por sua alimentação e atualização de forma sistemática.
  - Veículos elétricos: compreende as métricas construção de curva de sucateamento de veículos para todo o país e definição da curva de difusão dos veículos elétricos:
    - Construção de curva de sucateamento de veículos para todo o país: a coleta de dados a respeito de idade e características da frota circulante permitiriam a identificação de fatores que mais influenciariam alterações na demanda (2020-2030), bem como as variáveis influenciadoras do aumento da penetração e da demanda por esse meio de transporte. A relação entre a velocidade de substituição da frota e possíveis aumentos da demanda poderia também ser traçada, considerando o tratamento da informação proveniente do Departamento de Trânsito (Detran) e o histórico recente da entrada de veículos elétricos em circulação;
    - Curvas de difusão dos veículos elétricos: início do uso de veículos elétricos a partir de 2030, atingindo, nos anos subsequentes, patamares de aproximadamente 2% da frota circulante. Adota-se um cenário de penetração lento devido aos custos associados à aquisição desse tipo de veículo e à necessidade da construção de toda uma infraestrutura de abastecimento que pode vir a, inicialmente, reduzir a atratividade de aquisição desse veículo. Identifica-se também que, no máximo em 2050, 5% da frota veicular seriam compreendidos por veículos elétricos;
  - *Smart grid* e medição eletrônica: compreende a métrica medidores inteligentes (*smart grid*):
    - Determinação da velocidade de penetração da medição eletrônica e das demais funcionalidades do *smart grid*, iniciando com 20% dos medidores BT em 2020, 40% dos medidores BT em 2025, 60% em 2040 e atingindo todos os medidores BT em 2050;
    - Para as demais faixas de tensão, não foram considerados cenários para a instalação de medidores inteligentes, pois boa parte desses consumidores já tem medidores com memória de massa.

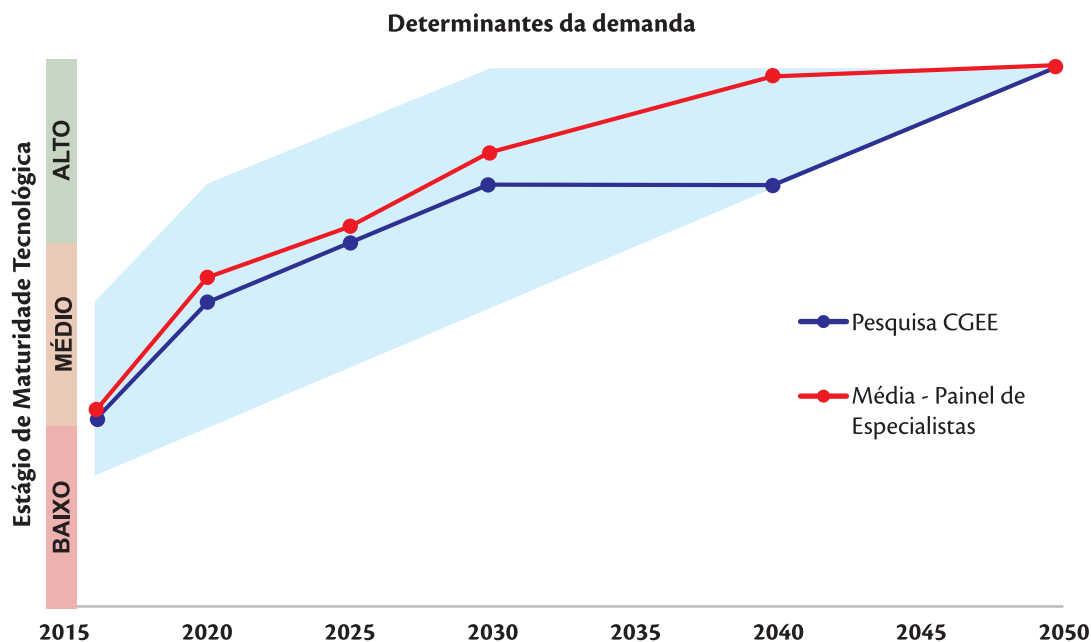


- Estudos de suporte para cálculo do custo do déficit: compreende somente a métrica que intitula o tópico, no entanto tem relação com outras métricas de forma indireta, pois considera informações provenientes dessas outras métricas para seu desenvolvimento:
  - A elaboração de uma pesquisa de custo social do *déficit* devido à sua importância e ao seu alto custo precisa ser inicialmente concebida e aplicada em uma pequena amostra de consumidores, como um piloto até 2020. A partir dessa pesquisa-piloto, ajustes e aprimoramentos são efetuados no questionário e, então, entre 2025-2030, o questionário é aplicado no restante do país, podendo ser aplicado concomitantemente com outras pesquisas, como a PPH. Os dados extraídos da pesquisa estariam todos concentrados em um grande repositório de dados que geraria, com base em metodologia previamente definida, resultados e estimativas de custo do déficit de energia por subsistema (até 2040). Por ser um estudo de grande envergadura, o ideal é que seja efetuado periodicamente e talvez de forma concomitante com outra pesquisa universal, como o Censo Demográfico, por isso a definição de uma metodologia e de um procedimento periódico de atualização é de suma importância (2050).
- Perdas não técnicas: compreende somente a métrica que intitula o tópico:
  - Estudo e identificação de variáveis socioeconômicas e ambientais influenciadoras de oscilações nas perdas não técnicas compreende o passo inicial para o tratamento isonômico das perdas não técnicas (2020). A identificação do rol de modelos e a concepção de um modelo padronizado para captura e identificação da causalidade existente entre as perdas não técnicas e as variáveis influenciadoras das suas variações devem ser obtidos até 2025. O advento da concepção de modelos dessa natureza permite a definição de cenários de demanda, ainda que em caráter preliminar, que considerem os efeitos dos diferentes cenários de perdas não técnicas em suas modelagens. A partir daí, precisa-se atualizar o arcabouço regulatório vigente de forma a considerar tais modelos para a definição de metas de redução de perdas e projeções de perdas não técnicas alinhadas com os objetivos da regulação por incentivos (2030-2050).
- Modelos de previsão de demanda estocástica/probabilística: compreende apenas a métrica que intitula o tópico:
  - Devido à grande inovação e ruptura que está por trás do uso de modelos de previsão de demanda estocástica, o uso de modelos dessa natureza requer um profundo e criterioso estudo de experiências internacionais e de revisão da literatura que trata do tema, bem como a execução de estudos de caso (até 2020). Esse passo inicial alicerçaria a definição do modelo e/ou rol de modelos a serem adotados, no caso brasileiro, para projeção da demanda. Em contrapartida, o modelo de despacho passaria por um processo de adaptação para possibilitar a leitura e o processamento da projeção de demanda com essa nova configuração e para o desenvolvimento de

novos dados de saída (2025). O protótipo do novo modelo de despacho passaria por um processo de teste, após sua concepção, para que fossem analisados os impactos advindos da mudança metodológica (2030), sofrendo os ajustes necessários para a obtenção da sua versão final (2030-2050).

- Curva de difusão para a geração solar distribuída: compreende somente a métrica que intitula o tópico:
  - O primeiro passo para estimar curvas de difusão para a geração solar distribuída compreende a identificação de variáveis correlacionadas com a demanda e também tem relação com o grau de atratividade e penetração da geração solar, informação que deveria estar disponível até 2030. A partir daí, seriam concebidos modelos e cenários de penetração da Geração Distribuída (GD) solar com base nas variáveis determinantes da demanda geral, verificando se a penetração da tecnologia altera as relações entre as variáveis de demanda. Até 2050, ter-se-ia um procedimento concebido para a identificação de impactos de possíveis incentivos a essa modalidade de geração na demanda.

No Gráfico 20, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota determinantes da demanda.



**Gráfico 20** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Determinantes da Demanda

Fonte: Elaboração própria.





A interpretação da evolução da maturidade da rota é um pouco dificultada, visto que essa macrotecnica não se refere exatamente a uma tecnologia, mas à busca por variáveis que impactem e influenciem fortemente a demanda. Não obstante, é possível observar que o desenvolvimento da rota determinantes da demanda está em um estágio de maturidade baixo e alcançará o nível máximo somente em 2050. É possível encontrar inúmeros trabalhos que estudem os determinantes da demanda de energia elétrica no mundo e no Brasil, porém a maturidade atual foi considerada baixa, pois acredita-se que o potencial a ser estudado ainda tem muito o que evoluir. Questões como a escassez de dados e informações mais detalhadas a respeito das características de domicílios, edificações, curvas de carga em tempo real e comportamentos de consumidores em nível nacional e regional ancoram e balizam esse potencial, todavia não explorado. Adicionalmente à recente disseminação e implementação de técnicas de inteligência computacional e *Big Data*, surge como advento a análise de dados de alta e altíssima frequência (dados horários e diários). Com esse pensamento e lembrando que os veículos elétricos, micro e minigeração, geração distribuída etc. ainda não entraram em sua totalidade no mercado e também não exercem todo o seu potencial, espera-se evolução mais intensa dessa rota, de forma a atingir em 2020 um nível de maturidade em patamar de médio para alto, alcançando níveis mais altos em 2025. Isso se daria essencialmente devido à inserção no mercado de novas tecnologias (medição eletrônica bidirecional, criação de infraestrutura de carregamento para veículos elétricos, reduções de custos de investimento em geração solar distribuída, dentre outras), permitindo análise e identificação de novos determinantes da demanda. Por fim, em 2050, espera-se que alcance seu nível máximo de maturidade, estando todos os conceitos e soluções desenvolvidos, as tecnologias consolidadas e em funcionamento.

### **Rota 2 - Previsão de demanda**

Seguindo a mesma lógica adotada na rota anterior, são apresentadas as evoluções das métricas para a rota previsão de demanda.

- Obtenção de dados primários de consumidores e instalações:
  - Levantamento de dados primários em BT: o objetivo central do levantamento de dados, quando considerado na rota previsão de demanda, é o aumento da acurácia nas previsões disponibilizadas pelos órgãos oficiais. Seguindo a lógica da Planilha de Indicadores (ver Anexo), entende-se que, até 2025, o foco estaria na melhoria da acurácia das previsões da classe residencial, e, entre 2025-2030, o foco estaria nas previsões para a baixa tensão. A partir de 2050, haveria, em *modus operandi*, previsões mais robustas para a classe BT como um todo;
  - Medições de consumo por uso final: aqui as medições de consumo por uso final, de caráter inovador para a realidade brasileira, teriam por objetivo central a melhoria de previsão de demanda na ponta do sistema, auxiliando no planejamento de

expansão da geração e transmissão. Por ter caráter inovador, entende-se que estudos e aprimoramentos para sua implementação ocorreriam desde o curto até o longo prazo;

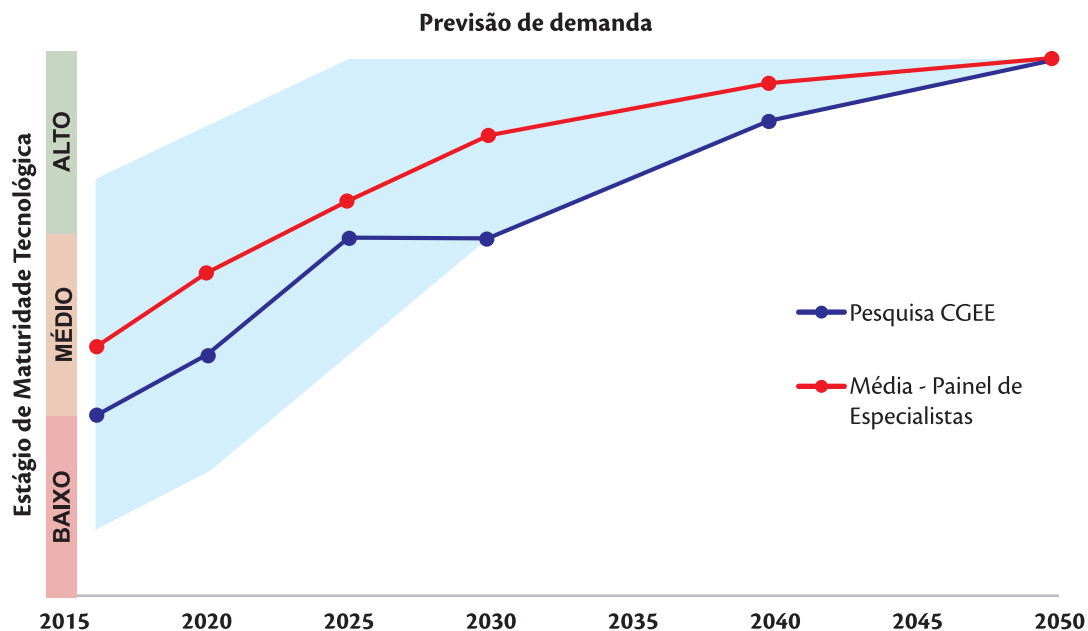
- Construção de curvas de sucateamento de edifícios para todo o país: a coleta de informações a respeito das características dos edifícios existentes no país teria essencialmente, durante todo o período analisado (2020-2050), a função de permitir o uso desses dados e das curvas de sucateamento obtidas a partir dos dados para a alimentação de modelos *bottom-up*, especialmente para a previsão de demanda no setor terciário e residencial;
- Aprimoramento da metodologia da campanha de medidas e de determinação das curvas de carga típicas: os efeitos dessas duas métricas não são aplicados diretamente na rota previsão de demanda, mas de forma indireta permitem, junto com a métrica de medições por uso final e levantamentos de dados primários em BT, conceber previsões de curvas de carga para o sistema, podendo ser inseridas no modelo de despacho para determinação do custo marginal de operação.
- Veículos elétricos:
  - Construção de curva de sucateamento de veículos para todo o país: essa métrica define o percentual de penetração dos veículos elétricos em nova classe de consumo no país. Com isso, tais veículos iniciariam sua inserção a partir do ano de 2030, quando, a partir da consideração da inserção de 2% de veículos na frota, se calcularia a demanda desses veículos, sendo considerada para 2050 a projeção da demanda, com a substituição de 5% da frota circulante. Essas previsões de demanda e curvas de carga seriam incluídas nas previsões de demanda do sistema, de preferência na forma de cenários;
- *Smart grid* e medição eletrônica:
  - A substituição da medição atual pela medição eletrônica possibilitaria o uso dos dados provenientes dos medidores para a transformação de previsões de consumo BT advindas dos modelos *bottom-up* em previsões de demanda BT, com base nos perfis de curva identificados. Inicialmente, esses perfis seriam definidos com base nos dados de 20% dos medidores BT em 2020, 40% dos medidores BT em 2025 e 60% em 2030. Em 2050, o perfil considerado seria o perfil medido da população, observadas as diferenças por estações do ano e dias da semana.
- Estudos de suporte para cálculo do custo do déficit:
  - Essencialmente, essa métrica, na rota analisada, permitiria, no horizonte de 2020-2050, o uso dos dados obtidos nos estudos para a determinação de cenários de demanda em momentos de escassez de recursos, encontrando “preços ótimos” para a energia nessas situações.
- Perdas não técnicas:
  - No contexto da rota estudada, a métrica de perdas não técnicas possibilitaria o



cálculo de diferentes cenários de previsão de demanda, considerando as metas de redução de perdas traçadas com base no exposto para o cenário geral.

- Modelos de previsão de demanda estocástica/probabilística:
  - A construção e concepção de modelos de demanda estocástica/probabilística, para uso no modelo de despacho, passa pelas seguintes etapas na rota analisada:
    - o Até 2020: estudo de experiências internacionais e da literatura para tratamento da demanda de forma estocástica e sua inserção em modelos de despacho;
    - o De 2020-2025: concepção de modelos-piloto de previsão estocástica da demanda, considerando, inicialmente, apenas os subsistemas mais representativos, e finalizando o período com um piloto, considerando todos os subsistemas;
    - o De 2025-2030: execução de testes do uso do modelo no modelo de despacho, identificando diferenças na formação e previsões dos preços e do planejamento comparado com o modelo atual;
    - o De 2030-2050: implantação do novo modelo de previsão de demanda para fins de planejamento do setor.
- Curva de difusão para a geração solar distribuída:
  - Até 2025, seriam estudados modelos e concebidas análises em cenários para a determinação dos impactos da introdução da geração distribuída, principalmente a solar, na previsão de demanda do SEB. Cada um desses cenários de penetração seria continuamente avaliado e capturado o impacto dessas previsões de demanda na previsão do SEB e na determinação de horários de ponta do sistema, considerando questões como o armazenamento de energia nesse contexto (2025-2030). A partir daí, seriam delimitados os incentivos a esse tipo de geração de energia bem como os impactos na previsão de demanda do sistema, nos preços da energia eléctrica e no planejamento do setor.

No Gráfico 21, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota previsão de demanda.



**Gráfico 21** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Previsão de Demanda

Fonte: Elaboração própria.

Na evolução da maturidade da rota previsão de demanda, tal como na rota determinantes da demanda, o estágio de maturidade atual é considerado baixo, pois, por mais que existam diversos estudos cujo objetivo é a execução de previsões de demanda, seguindo as mais diversas metodologias, poucos são os casos em que essa tarefa é efetuada, considerando recortes por setor de consumo energético, e/ou por recorte espacial, e/ou considerando variáveis técnico-econômicas ou variáveis determinantes da evolução da demanda. Ademais, é iminente a disseminação de modelos de inteligência artificial (IA), bem como o tratamento de *Big Data*. Em face do exposto, espera-se que em 2025 essa rota atinja níveis altos de maturidade e continue crescendo linearmente até alcançar seu limite máximo em 2050. O crescimento mais acelerado até 2025 está aliado à rápida evolução dos modelos de IA, em concordância com as pesquisas de determinantes da demanda e a inserção de veículos elétricos, micro e minigeração etc. nos próximos dez anos.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 14, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 14** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Determinantes e Previsão da Demanda por Energia Elétrica da Macrotemática Demanda por Energia Elétrica

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Determinantes e previsão da demanda por energia elétrica	Determinantes da demanda	Fatores portadores de futuro	Já existem estudos no Brasil e no mundo que buscam os determinantes da demanda. No Brasil, existem particularidades que devem ser estudadas de forma individual. As informações sobre novas tecnologias que possam impactar a demanda ainda são limitadas.		Já existem estudos no Brasil e no mundo que buscam os determinantes da demanda. No Brasil, existem particularidades que devem ser estudadas de forma individual. As informações sobre novas tecnologias que possam impactar a demanda ainda são limitadas.		Já existem estudos no Brasil e no mundo que buscam os determinantes da demanda. No Brasil, existem particularidades que devem ser estudadas de forma individual. As informações sobre novas tecnologias que possam impactar a demanda ainda são limitadas.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Previsão de demanda	Fatores portadores de futuro	A formulação de modelos para previsão da demanda já é desenvolvida no Brasil e no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar na demanda futura de eletricidade ainda são limitadas.		A formulação de modelos para previsão da demanda já é desenvolvida no Brasil e no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar na demanda futura de eletricidade ainda são limitadas.		A formulação de modelos para previsão da demanda já é desenvolvida no Brasil e no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar na demanda futura de eletricidade ainda são limitadas.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

### 4.3.2 Temática: Gerenciamento pelo lado da demanda

As rotas consideradas na temática gerenciamento pelo lado da demanda refletem a necessidade de aperfeiçoamento dos modelos que considerem técnicas de resposta à demanda, gerenciamento pelo lado da demanda e inserção da geração distribuída. Cada uma das rotas aqui apresentadas reflete um conjunto de estudo de PD&I que pode ser conduzido de forma concomitante.

## Roadmap tecnológico

### *Rota 1 - Técnicas de resposta à demanda*

Tal como efetuado na temática determinantes e previsão da demanda por energia elétrica, as métricas são analisadas, considerando a mesma organização por grupo e objetivos. Isso permite ter alinhada e organizada a linha de pensamento referente a cada uma das rotas.

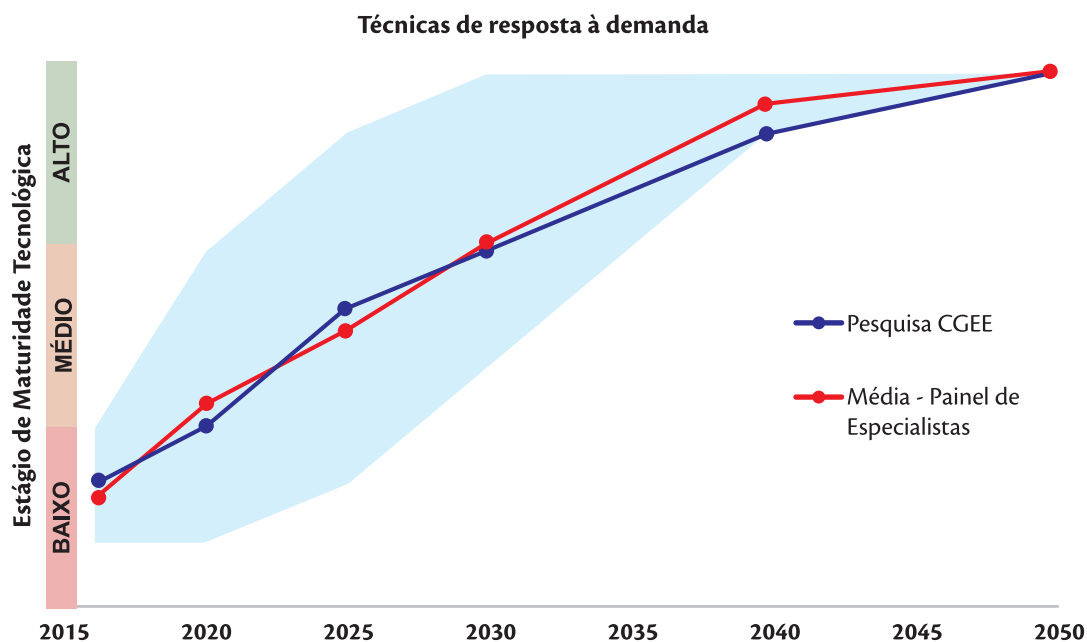
- Obtenção de dados primários de consumidores e instalações:
  - Levantamento de dados primários em BT: permite, entre o período de 2020-2025, a definição de quais técnicas de resposta à demanda introduzir especificamente para os consumidores residenciais, e, entre 2025-2030, essa análise de determinação poderia ser expandida para todas as classes da baixa tensão, com a consequente consolidação de forma concreta da implantação das novas técnicas que necessariamente passariam por uma análise da atual estrutura tarifária e pela definição de incentivos para a redução da demanda em determinados períodos/horas do dia;
  - Medições de consumo por uso final: a medição por uso final não tem relação direta com a técnica de resposta a demanda, mas poderia dar suporte principalmente a concepção de programas de etiquetagem e controle de equipamentos por classe de consumo;
  - Construção de curvas de sucateamento de edifícios para todo o país: a métrica possibilita que, na rota, sejam identificados os potenciais para introdução de medidas para uso eficiente do espaço existente nos edifícios e da energia, especialmente entre o período 2020-2025. Entre o período de 2025-2050, são definidos e testados velocidades para implantação de medidas de eficiência energética e programas de etiquetagem de equipamentos e de estruturas de edifícios no país;
  - Aprimoramento da metodologia da campanha de medidas e de determinação das curvas de carga típicas: as duas métricas não têm relação direta com a rota, no entanto pode-se identificar que os resultados advindos das campanhas de medidas e da definição de curvas de carga típicas servem de base para a concepção e definição de programas de resposta à demanda baseados em incentivos e concepção de estruturas tarifárias (tarifação de tempo real e tarifação de ponta).
- Veículos elétricos:
  - Por ser a introdução de tecnologia nova, considera-se que, entre o período 2020-2050, estudar-se-ia o uso de componentes mais eficientes nos carros, bem como o impacto da adoção de diferentes tipos de tarifação na demanda dos veículos elétricos, a determinação dos períodos em que será incentivado o carregamento dos veículos elétricos e os momentos em que será incentivado o uso da energia armazenada nos veículos para atender a demanda por energia elétrica;
- *Smart grid* e medição eletrônica:
  - A introdução de medição por uso final, de forma gradativa, no período de 2020-



2050, permite indiretamente a identificação de quais usos demandam mais energia elétrica e em que horas do dia, o que permite a concepção de programas e incentivos efetivamente relacionados com o uso final em questão;

- Os dados advindos dos medidores eletrônicos permitem a execução de estudos de *what if analysis*, antevendo o impacto da determinação de dado incentivo ou tarifação sob a demanda. À medida que o percentual de medidores eletrônicos instalados aumenta, maior e melhor a capacidade de antecipação dos impactos de programas e políticas.
- Perdas não técnicas:
  - Na referida rota, a questão do tratamento de perdas não técnicas está associada essencialmente à implantação e à análise de medidas pós-identificação/combate a perdas, de forma a orientar e identificar se tais consumidores passam a usar equipamentos mais eficientes ou de forma mais eficiente (gerando redução na demanda), ou se mantêm o mesmo nível de consumo e se tornam inadimplentes. Outro ponto a ser analisado e alinhado com a rota diz respeito à identificação das mudanças no uso de equipamentos e que equipamentos têm a demanda modulada após a identificação da fraude.

No Gráfico 22, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota técnicas de resposta à demanda.



**Gráfico 22** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Técnicas de Resposta à Demanda

Fonte: Elaboração própria.

A evolução da maturidade da rota está mostrada no Gráfico 22 e verifica-se que seu grau de maturidade atual é considerado baixo, pois os incentivos à implantação de técnicas de resposta à demanda ainda não estão inseridos de forma robusta e consistente no SEB. Por isso, estudos que analisem o impacto desses incentivos (técnicas de resposta) ainda são pouco aplicáveis e, em sua maioria, são estudos de caso específicos. No entanto, diante da expectativa de implantação de uma gama de modalidades tarifárias, advindas da instalação de medidores inteligentes e de tarifas que possibilitem maior controle da demanda em determinados períodos do dia/ano, ocorrência de leilões de energia ou mesmo leilões virtuais, entre outras ações, acredita-se que a maturidade dessa rota tenha crescimento aproximadamente linear, acompanhando a evolução das técnicas computacionais e de tecnologias de transferências de dados, bem como da própria estrutura tarifária e do modelo de aquisição de energia para clientes de baixa e média tensão.

### *Rota 2 - Gerenciamento da demanda*

Seguindo a mesma lógica adotada na rota anterior, são apresentadas as evoluções das métricas para a rota gerenciamento da demanda.

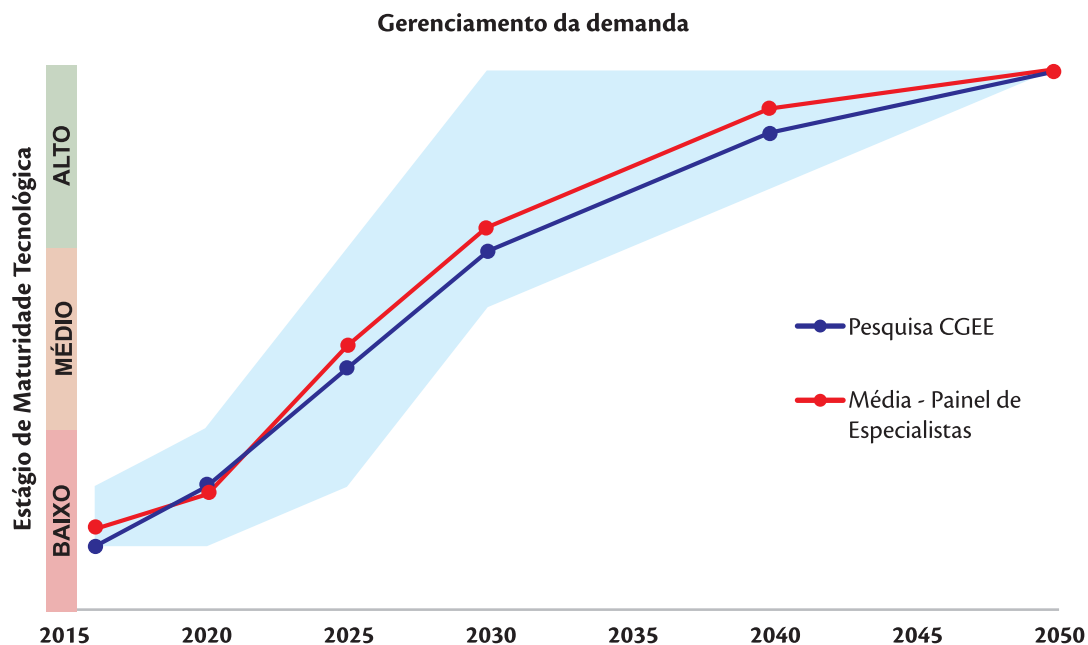
- Obtenção de dados primários de consumidores e instalações:
  - Levantamento de dados primários em BT: os dados de posses e hábitos de consumo possibilitam a concepção de projetos básicos de GLD, inicialmente considerando apenas os clientes residenciais (2020-2030) e, para o período 2030-2050, considerando todas as classes de consumo em baixa tensão;
  - Construção de curvas de sucateamento de edifícios para todo o país: os resultados advindos das pesquisas e identificação das características dos edifícios podem servir, em todo o horizonte estudado, para a concepção e o direcionamento da velocidade e do grau de adoção e de incentivos à adoção de inovações e novas tecnologias;
  - Aprimoramento da metodologia da campanha de medidas e de determinação das curvas de carga típicas: no período de 2020-2025, as duas métricas permitem a identificação dos picos de demanda, bem como seus impactos sob a estrutura tarifária, podendo dar norte e alicerce para a concepção de estruturas horossazonais de uso obrigatório na baixa tensão (2025-2030), com testes-piloto da implantação obrigatória das tarifas horossazonais em BT, bem como seus impactos na curva de carga e demanda (2030-2050), sendo o novo modelo tarifário implantado a partir de 2050. Concomitantemente, entre 2030-2050, as duas rotas permitiriam o uso de dados de campanha de medidas para entender o comportamento do consumidor, de forma regional, e identificar as melhores estratégias e técnicas de gerenciamento pelo lado da demanda a serem implantadas.





- Veículos elétricos:
  - Ao longo do horizonte estudado, analisar-se-iam os impactos da entrada em circulação dos veículos elétricos sob os horários de pico de demanda e o uso da energia elétrica ao longo do dia, podendo identificar cenários/períodos em que o veículo poderia operar como fornecedor de energia e os períodos em que é conveniente incentivar o seu carregamento.
- *Smart grid* e medição eletrônica:
  - Quanto à medição eletrônica e *smart grid*, a identificação de comportamentos e características dos consumidores, por meio do uso de técnicas de inteligência artificial para o agrupamento de tais medidores, permitiria implementar ações de gerenciamento pelo lado da demanda específicas para cada grupo de consumidores em baixa tensão. A cobertura da implementação dessas ações seguiria o percentual de instalação de tais medidores. Com isso, a medição eletrônica iniciaria em 2020, abrangendo somente 20% dos consumidores BT e, em 2050, abarcaria a totalidade dos consumidores BT.
- Estudos de suporte para cálculo do custo do déficit:
  - A partir de 2025, as informações advindas dos estudos de suporte para o cálculo do custo do *déficit* serviriam de base para a definição de um modelo de sinalização de preços que seria testado em caráter piloto entre 2025-2030 (funcionando talvez como alternativa ao atual sistema de bandeiras). Em 2050, o novo sistema de sinalização de preços seria implantado.
- Perdas não técnicas:
  - Ao longo de todo o horizonte estudado, analisar-se-iam os impactos da mitigação das perdas sob um contexto de gerenciamento pelo lado da demanda, identificando as melhorias e em que sentido o gerenciamento pelo lado da demanda pode auxiliar no processo de combate e redução das perdas não técnicas.

No Gráfico 23, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota gerenciamento da demanda.



**Gráfico 23** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Gerenciamento da Demanda

Fonte: Elaboração própria.

A evolução da maturidade dessa rota mostra que seu nível atual de maturidade é bem baixo em consequência da falta de possibilidade do gerenciamento da demanda no momento atual, porém acredita-se que, com a inserção dos medidores eletrônicos (REI), em 2025, já se alcance um nível médio de maturidade. Essa evolução continuará acelerada até 2050, quando alcançará seu nível máximo em consequência da rápida evolução esperada da tecnologia para tornar possível o consumo consciente por parte do consumidor.

### *Rota 3 - Geração distribuída*

Por fim, são apresentadas as relações entre as métricas e a rota Geração Distribuída.

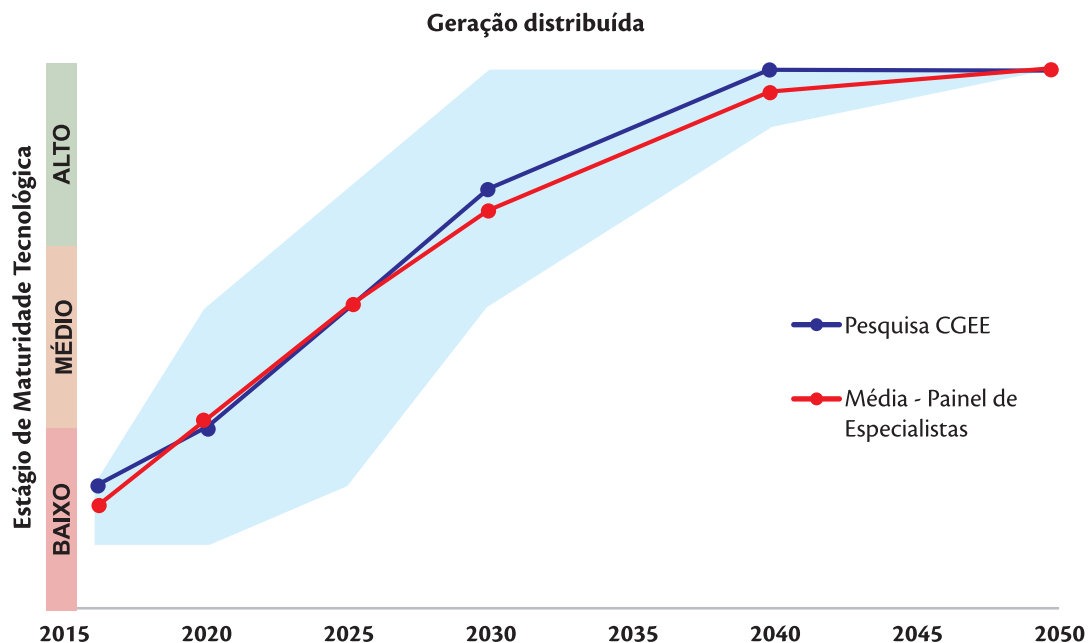
- Obtenção de dados primários de consumidores e instalações:
  - Aprimoramento da metodologia da campanha de medidas e de determinação das curvas de carga típicas: os resultados advindos da determinação de curvas de carga típicas permitiriam a identificação de grupos de consumidores e do mercado potencial para implantação da geração solar distribuída. Esse estudo poderia



ser desenvolvido em 2020-2025 e, para os demais horizontes, seria atualizada e aprimorada a metodologia utilizada.

- *Smart grid* e medição eletrônica:
  - A substituição da medição atual pela medição eletrônica possibilitaria o uso dos dados de curva de carga provenientes de cada um dos medidores para a determinação do nível de potencialidade para a implantação da GD para cada um dos clientes, individualmente. Essa análise abarcaria os consumidores cujos medidores inteligentes já tivessem sido implantados, por isso, em 2020, o estudo seria efetuado somente para 20% dos consumidores BT, atingindo a totalidade dos consumidores em 2050. Concomitantemente, seriam testados contínuos aprimoramentos nas metodologias de forma a considerar informações além das curvas de carga medidas em tempo real.
- Modelos de previsão de demanda estocástica/probabilística:
  - Indiretamente, os cenários de penetração da geração solar distribuída, concebidos com base nos estudos efetuados, considerando dados das campanhas de medidas e da análise, em tempo real, dos medidores eletrônicos, possibilitariam a adaptação das previsões de demanda estocástica de forma a considerar o impacto de tais cenários na demanda projetada.
- Curva de difusão para a geração solar distribuída:
  - Em 2020, seria definida uma metodologia padrão para identificar o potencial de implantação de medidas de incentivo à geração solar distribuída, com foco nos consumidores com maior propensão a utilizar a referida tecnologia. A partir de 2025, conjugar-se-ia a definição do potencial com estudos de projeção da demanda por GD solar, considerando diferentes velocidades de penetração da tecnologia. Nessa fase, também os consumidores com maior propensão ao uso da tecnologia seriam considerados. Independentemente da velocidade de difusão considerada, espera-se que, entre 2030 e 2050, a GD tenha um pico de crescimento, atingindo patamares próximos dos 10% a.a., e, a partir de 2050, o percentual de penetração da tecnologia estabilizaria. A taxa de crescimento considerada é vislumbrada em um cenário de estímulo ao uso da geração distribuída solar.

No Gráfico 24, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota Geração Distribuída.



**Gráfico 24** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Geração Distribuída

Fonte: Elaboração própria.

A evolução de sua maturidade pode ser encontrada no Gráfico 24 e identifica o momento atual como um grau baixo de maturidade em decorrência da não penetração de forma significativa desse tipo de geração, bem como da falta de incentivo dada a ela. No entanto, espera-se crescimento acelerado do uso dessa tecnologia/modalidade de geração de energia, vislumbrando um contexto em que, em 2025, o nível de maturidade de estudos associados à rota atinja níveis médios e, em 2040, alcance altos níveis de maturidade. O alcance desse nível de maturidade é consequência da rápida penetração das fontes renováveis nesse tipo de geração, em especial a solar, bem como na necessidade de avaliação do impacto da penetração geração de energia sob demanda, assim como na oferta de energia. Nesse contexto, enquanto a geração solar distribuída tem capacidade de atingir a mini e a microgeração (em especial no uso dos telhados das residências, shoppings, estádios e prédios etc. para geração de energia), a geração eólica, com biomassa e resíduos, tem a geração distribuída fortemente direcionada para a microgeração. O advento do uso da geração compartilhada é outro fator capaz de viabilizar empreendimentos de geração distribuída, usando geração solar e outras fontes renováveis, em sistemas híbridos ou não. Um ponto que vale a pena destacar diz respeito ao potencial de geração eólica, que está concentrado no Nordeste do país, enquanto a geração a partir de fontes solares, biomassa e resíduos tem potencial a ser explorado no país como um todo. Com isso, o uso de sistemas de geração distribuída combinando geração solar e eólica tem potencial a ser explorado possivelmente na geração compartilhada.



Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 15, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 15** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Gerenciamento pelo Lado da Demanda da Macrotecânica Demanda por Energia Elétrica

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Gerenciamento pelo lado da demanda	Técnicas de resposta à demanda	Fatores portadores de futuro	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Gerenciamento pelo lado da demanda	Gerenciamento da demanda	Fatores portadores de futuro	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.	A formulação de modelos para técnicas de resposta à demanda já existe no mundo. Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade dos modelos. Os modelos de inteligência artificial (IA) e <i>Big Data</i> estão em evolução rápida. No Brasil existe uma falta de dados que atrapalha o desenvolvimento de modelos mais desagregados. Os incentivos à demanda que encorajem uma resposta do consumidor estão em lento progresso no Brasil. As informações sobre novas tecnologias que possam influenciar a resposta à demanda ainda são limitadas.			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Geração distribuída	Fatores portadores de futuro	Os equipamentos de geração distribuída estão começando a ser inseridos no mercado brasileiro. As informações sobre novas tecnologias ainda são limitadas. O preço da tecnologia é elevado.	Os equipamentos de geração distribuída estão começando a ser inseridos no mercado brasileiro. As informações sobre novas tecnologias ainda são limitadas. O preço da tecnologia é elevado.	Os equipamentos de geração distribuída estão começando a ser inseridos no mercado brasileiro. As informações sobre novas tecnologias ainda são limitadas. O preço da tecnologia é elevado.			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

## 4.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Demanda por Energia Elétrica. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e



governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 16.

**Tabela 16** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Demanda por Energia Elétrica

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Determinantes da demanda	Determinantes e previsão da demanda por energia elétrica
2	Previsão de demanda	Determinantes e previsão da demanda por energia elétrica
3	Técnicas de resposta à demanda	Gerenciamento pelo lado da demanda
4	Geração distribuída	Gerenciamento pelo lado da demanda
5	Gerenciamento da demanda	Gerenciamento pelo lado da demanda

Fonte: Elaboração própria.

Para a temática determinantes e previsão da demanda por energia elétrica, o grau de maturidade das rotas determinantes da demanda e previsão de demanda é considerado baixo, pois acredita-se que, por mais que existam inúmeros estudos no tema, estes ainda não exauriram todas as variáveis que podem determinar o curso da demanda de energia nem mesmo exploraram todos os métodos, modelos e metodologias existentes para previsão da demanda. Na temática gerenciamento pelo lado da demanda, todas as rotas têm grau de maturidade baixo, fato comprovado pela quantidade (baixa) de trabalhos existentes que lidam com o assunto e pela evolução recente da rota geração distribuída.

A priorização das rotas foi determinada a partir da necessidade de, primeiro, se definir quem são os "determinantes da demanda" (prioridade um) por meio de pesquisas das informações relevantes; levantamento das curvas de carga em base horária e por região do SIN; fatores socioculturais e comportamentais que influenciam a demanda; e impactos das oportunidades de troca de fontes para atendimento da demanda. Após a definição dos agentes dependentes da demanda, definiu-se que partir-se-ia para a "previsão da demanda" (prioridade dois) propriamente dita a partir do desenvolvimento e adaptação de modelos do tipo *top-down* e *bottom-up* que levem em conta as particularidades do caso brasileiro; pesquisa sobre modelos utilizando ferramentas de *Big Data*; e pesquisas focadas no aprimoramento de modelos de previsão de demanda para todos os horizontes (horário, diário, semanal, mensal e anual). A terceira rota com maior prioridade de desenvolvimento, denominada "técnicas de resposta à demanda", contempla a pesquisa sobre mecanismos de resposta à demanda (incentivo) como impacto do pré-pagamento e tarifa horossazonal; avaliação espaço-temporal do comportamento da demanda; análise dos leilões de eficiência energética como forma da redução da demanda; e desenvolvimento de mecanismos da demanda aplicáveis em diferentes ambientes do setor (SIN, baixa tensão etc.). A rota geração

distribuída recebeu a prioridade quatro e foca a avaliação da geração distribuída para suprimento da demanda; avaliação do potencial de geração distribuída e seu impacto no perfil da curva de carga horária; impactos da geração de energia elétrica por fontes intermitentes (ex. eólica, solar) na oferta e demanda; e análise dos fatores socioeconômicos e comportamentais que influenciam a adoção de sistemas de geração distribuída. A última rota no quesito priorização, gerenciamento da demanda, lida com pesquisas relacionadas ao desenvolvimento das curvas de difusão tecnológica por setor de consumo energético; avaliação do potencial de eficiência energética, levando em conta fatores ambientais, sociais e econômicos; avaliação do impacto da demanda dinâmica, levando em conta smart pricing e Internet das Coisas (IoT); e desenvolvimento de metodologias e ferramentas para avaliar a eficácia do gerenciamento da demanda.





## Capítulo 5

---





## Capítulo 5

# Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação

Essa macrotemática foi dividida em três temáticas relacionadas às principais funções realizadas no processo de planejamento da operação, segundo a formatação adotada na indústria de energia elétrica no Brasil.

As principais etapas do planejamento da operação, segundo os processos conduzidos pelo nos, são:

- Planejamento de médio prazo, com horizonte de estudo de até 60 meses, em base mensal;
- Planejamento de curto prazo, com horizonte de estudo de dois meses, em base semanal no primeiro mês e mensal no segundo;
- Pré-despacho, com horizonte de planejamento de até uma semana, com foco nas primeiras vinte quatro horas (o dia seguinte).

### 5.1 Visão de futuro

#### 5.1.1 Cenário setorial

A partir do capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), pode-se desenhar o cenário sobre a macrotemática modelos de planejamento da operação.

Os principais impactos sobre o sistema elétrico brasileiro são: aumento da participação das fontes renováveis e intermitentes na matriz energética brasileira; mudanças de comportamento dos consumidores com o uso de geração distribuída, veículos elétricos e uso eficiente de energia; valorização do produto “potência” no sistema elétrico; novas restrições ambientais e operacionais sobre as novas usinas hidrelétricas e térmicas; uso múltiplo da água nas bacias hidrográficas; utilização de dispositivos de armazenamento de energia.

Nessas perspectivas, o cenário setorial da macrotemática é que cada etapa da função planejamento da operação represente de forma adequada a evolução da matriz energética (tanto em diversidade de fontes quanto de características operacionais), as tendências de comportamento dos segmentos de consumo, a inserção da dinâmica das redes inteligentes, mantendo a eficiência computacional dos modelos utilizados e garantindo o acesso da sociedade a essas ferramentas.

### 5.1.2 Objetivo geral

Essa macrotemática tem por objetivo identificar as tendências de investimento em PD&I que deverão ser incentivadas, para alinhar as ferramentas para uso no planejamento da operação às mudanças tecnológicas, regulatórias, de modelos de negócios e de aspectos comportamentais de agentes de consumo visualizadas no período de 2020 a 2050. Essas ferramentas deverão evoluir tanto do ponto de vista de técnicas de modelagem (otimização ou simulação, arquiteturas de *hardware* etc.) quanto do ponto de vista da representação dos aspectos energético-econômicos e de qualidade do atendimento à carga do sistema elétrico brasileiro.

### 5.1.3 Objetivo específico

Os objetivos específicos dessa macrotemática são apresentados a seguir, de acordo com o prazo de maturação de resultados.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Desenvolver e aperfeiçoar modelos para uso no planejamento da operação, para ampliar seu desempenho, tanto em termos de tempos de execução (arquiteturas de *hardware*, linguagens de programação etc.) quanto em termos de representação de variáveis de influência. Sob o aspecto de *design de software*, o projeto deverá otimizar o código, com vistas à redução de custos com eliminação de erros, manutenção e atualização;
- Realizar pesquisa em temas relacionados ao funcionamento das redes inteligentes, como já acontece em outros países, identificando os impactos sobre os modelos atuais, como também nos processos em que eles se inserem;
- Realizar pesquisa em temas relacionados às incertezas sobre a disponibilidade das fontes intermitentes e sazonais e seus impactos nas diferentes temáticas (pré-despacho, curto e médio prazos);
- Realizar pesquisa em previsão de carga e vazões em base horária para a temática de pré-despacho;
- Realizar pesquisa em linhas metodológicas alternativas e no desenvolvimento de códigos abertos que permitam representar o sistema hidrelétrico brasileiro detalhadamente em todas as etapas do planejamento da operação.

**Méio prazo (2020-2030):**

- Incentivar o aprofundamento da pesquisa em temas de mudançãs climáticas e suas implicações sobre a matriz energética brasileira, restrições operacionais sobre projetos hidrelétricos ou termelétricos e os modelos em uso no SEB;
- Realizar pesquisas sobre a dinâmica de funcionamento e a inserção (curvas de adesão) de fontes eólicas e solares, veículos elétricos, tecnologias de armazenamento de energia e seus impactos sobre os modelos de planejamento da operação e o desempenho das funções de planejamento da operação e sobre a formação de preços;
- Realizar pesquisa em áreas ligadas ao desenvolvimento de novas fontes de energia, à dinâmica de seu funcionamento e às necessidades de sua representação no planejamento da operação;
- Realizar pesquisas em áreas ligadas ao sistema de transmissão, redes inteligentes (*smart grid*), efeitos de envelhecimento da infraestrutura crítica e dinâmica de sua renovação, ao aumento do número de elos de corrente contínua e seu impacto na operação elétrica;
- Realizar pesquisas em áreas ligadas à operação de usinas térmicas, alterações na sua flexibilidade operacional, taxas de tomada e redução de carga (rampa), na medida em que a expansão com base hidráulica diminua sua participação;
- Promover ajuste nos modelos de planejamento de operação refletindo as inovações ou alterações do modelo de mercado.

**Longo prazo (2030-2050):**

- Realizar pesquisa sobre temas envolvendo a inserção maciça de novas tecnologias de geração de energia, redes inteligentes, gerenciamento da demanda, seus relacionamentos com as funções de planejamento da operação e especialmente a modelagem dessas dinâmicas num modelo de despacho não centralizado.

#### 5.1.4 Fundamentaçaõ

Na medida em que se espera a ocorrência de mudançãs estruturais na expansãõ da oferta de geraçaõ e de alguns comportamentos de consumo, é necessáριο haver a evoluçaõ contínua de alguns temas e a introduçaõ recorrente de temas novos e correlatos com as tendências identificadas no cenário do SEB.

Os aspectos estruturais das mudançãs no parque gerador, a oferta de energia, constam da seçaõ Cenário Setorial, acima, onde é possível constatar que:

- As fontes intermitentes aumentarãõ sua participaçaõ no sistema brasileiro, trazendo desafios à sua representaçaõ de forma mais adequada e aderente ao que ocorre na prática, sob pena de a operaçaõ do sistema apresentar erros sistemáticos, com impactos financeiros sobre a sociedade;

- Os fenômenos climáticos deverão ter maior importância na elaboração dos processos de previsão de precipitação, aflúências, luminosidade, temperatura, de modo a se estimarem tanto as disponibilidades energéticas das diversas fontes de produção quanto para se estimarem os requisitos da rede, já se falando em consumo por nó ou barra relevante da rede elétrica;
- Mudanças nos hábitos de consumo poderão afetar de forma significativa a reação da carga ao longo do dia, indicando a necessidade da presença de fontes de geração com rapidez de resposta;
- As técnicas de solução atuais adotadas nos modelos de planejamento da operação (NEWAVE e DECOMP) já apresentam sinais de necessidade de substituição por técnicas mais atuais, estáveis e eficientes, adotando-se um processo que garanta, a todos os agentes setoriais envolvidos, acessibilidade aos modelos utilizados no setor de energia elétrica.

## 5.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A planilha de indicadores para o cenário geral é apresentada a seguir, com comentários para cada aspecto tratado.

### **Evolução tecnológica**

Ainda que os modelos de planejamento de curto e médio prazos estejam sendo utilizados desde a criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), e passando por atualizações metodológicas e aprimoramentos, deve-se destacar que essas soluções merecem discussão mais ampla.

Assim, a primeira métrica diz respeito à evolução das ferramentas, ou à sua implantação quando ela não existe, e suas perspectivas de evolução ao longo do período. Para os modelos de curto e médio prazo, estima-se a necessidade da representação mais detalhada da operação das fontes renováveis eólica e solar, a integração com a estrutura de oferta/consumo de gás natural, a representação da influência dos fenômenos climáticos nos processos de previsão de vazão e precipitação e ainda as perspectivas de mudança de comportamento em relação à evolução e dinâmica da carga de energia e potência do sistema.



Quanto à interdependência com outras rotas, é importante verificar que novas tecnologias podem afetar diretamente a produção de novos geradores, independentemente de sua fonte de produção. Adicionalmente, a produção de baterias pode apresentar tendência de queda nos custos de produção e ter impacto positivo na combinação com o uso da fonte solar, ou mesmo como um dispositivo de reserva local.

### **Estratégia setorial**

Em um segmento da indústria tão regulado como o setor elétrico, é natural que a estratégia setorial tenha papel determinante na sua evolução. Além da estratégia intrínseca ao setor elétrico, é necessário prever a interligação com os setores de gás natural e águas, que têm influência direta na produção de energia.

Portanto, em termos ambientais e sociais, espera-se grande influência sobre operação e uso dos recursos hidrelétricos e termelétricos, seja por questões locais das comunidades que demandam principalmente uso da água, ou por questões externas por conta da redução da geração térmica não renovável.

A regulação do setor exerce papel fundamental no seu desempenho, e a grande questão, talvez até disruptiva, seja a adoção de uma forma de despacho baseada na troca direta de informações de geração e consumo, ou seja, o despacho por oferta, oposto ao despacho centralizado adotado atualmente.

Em termos de políticas, governança e incentivos, espera-se que algumas fontes sejam expandidas por questões de segurança energética, por exemplo, e essa abordagem é válida desde que a expansão seja paga por aqueles que dela se beneficiam.

Em termos culturais, o ponto a se monitorar são os hábitos de consumo da população, aliados à oferta de possibilidades, por exemplo, medidores inteligentes integrados com sistemas de gestão remoto, aparelhos que tenham controle de consumo por nível (ajuste de temperatura de geladeiras) e veículos elétricos.

### **Socioambiental**

Quanto a esse objetivo, foram definidas as seguintes métricas: i) restrições à operação de usinas térmicas; e ii) restrições de operação sobre usina hidrelétrica (UHE) em função de usos múltiplos da água, com análise de mapeamento da evolução e necessidade de aprimoramentos conforme demanda.

### **Produção de CT&I**

A produção de CT&I está diretamente ligada aos programas de pesquisa, mestrado e doutorado que as linhas poderão alavancar. Mesmo considerando somente a macrotêmica modelos de

planejamento da operação, existem diversos temas que podem direcionar vários programas de pesquisa (ver documento Mapa do Conhecimento, presente no Diagnóstico).

### **Estrutura de CT&I**

A estrutura de CT&I poderá ser beneficiada com os programas que serão desenvolvidos na medida em que se espera formar um contingente significativo de mestres e doutores, além de propiciar a capacitação de profissionais de mercado para a utilização de todas as ferramentas desenvolvidas para o suporte ao planejamento da operação. Prevê-se também a criação de uma rede colaborativa entre polos de desenvolvimento, seja de pesquisa, de desenvolvimento de *software* (fábricas de *software*), de desenvolvimento de aplicativos e interfaces, de modo a se tirar proveito de capacidades específicas.

### **Indústria e mercado**

Não foram definidas métricas para o objetivo indústria e mercado pelo fato de não se aplicarem ao tema da macrotemática modelos de planejamento da operação.

## **5.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas**

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática modelos de planejamento da operação consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 25 ao Gráfico 37. Ressalta-se, conforme explanado no capítulo de metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

### **5.3.1 Temática: Modelo de pré-despacho (dia seguinte)**

A temática 1 consiste no modelo de pré-despacho, com foco na operação do dia seguinte. É importante observar que, atualmente, essa função não dispõe de modelo elétrico e energético para o estabelecimento de metas de geração horária para as usinas do sistema brasileiro.





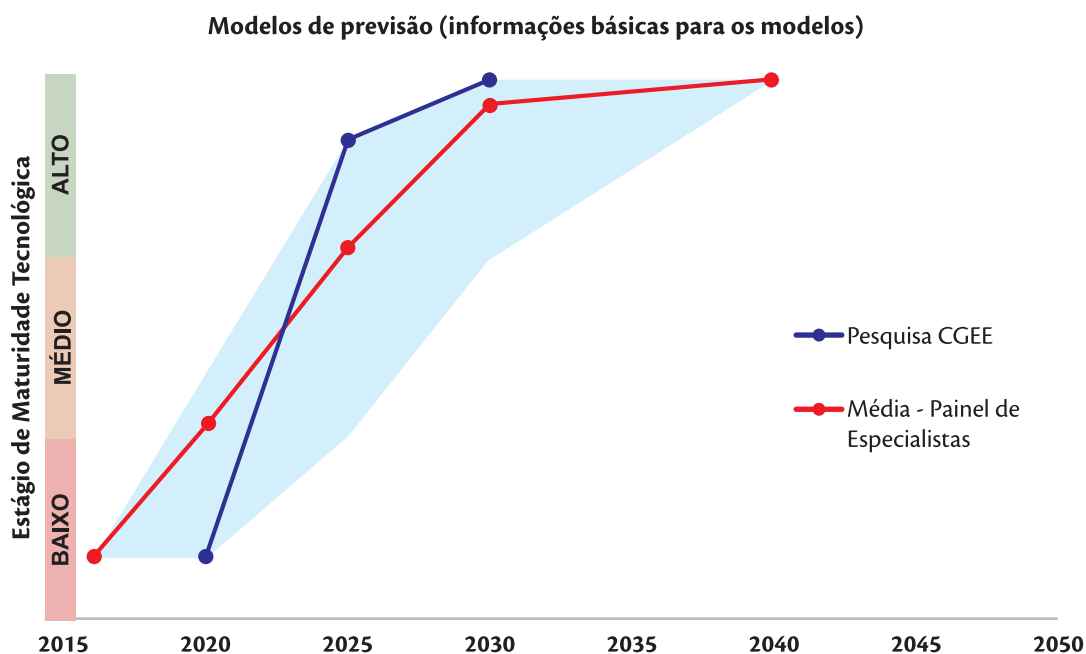
## Roadmap tecnológico

### Agrupamento de rotas I

#### Rota 1 - Modelos de previsão (informações básicas para os modelos)

Essa rota tem por objetivo avaliar a necessidade de desenvolver modelos de previsão de vazões ou chuva/vazão em base horária para representação mais detalhada dos recursos hidráulicos, bem como modelos para a previsão de carga e novas tendências de consumo de energia em função de novos dispositivos (como baterias, veículos elétricos, geração distribuída) que tendem a trazer inúmeras modificações no padrão de consumo de energia. Tais tendências devem ser investigadas e, se possível, modeladas para melhor previsão das informações básicas para a função de despacho.

No Gráfico 25, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de previsão (informações básicas para os modelos).



**Gráfico 25** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Previsão (informações básicas para os modelos)

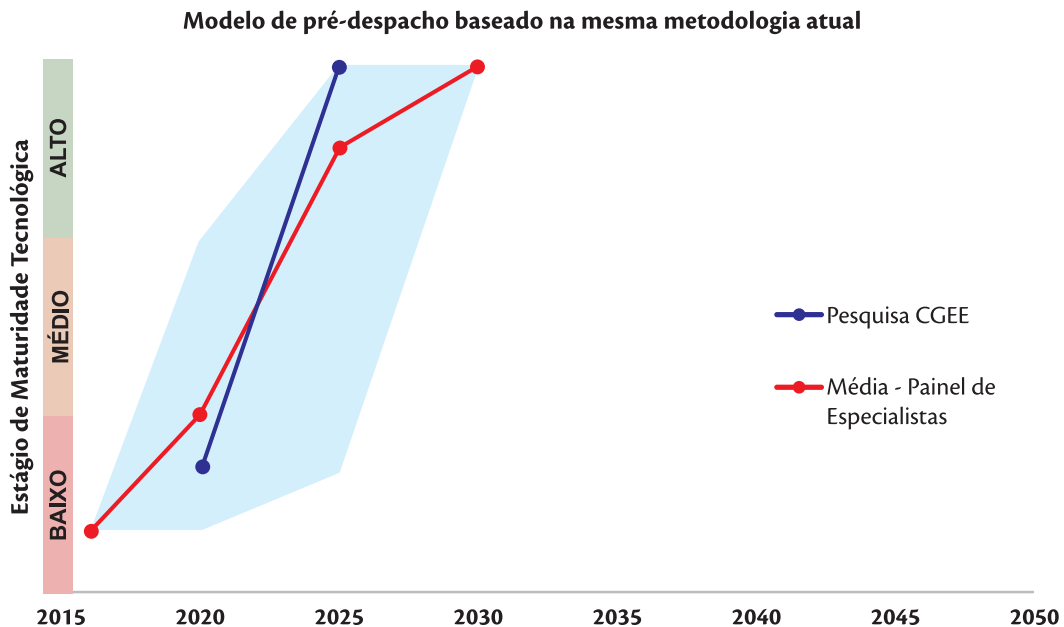
Fonte: Elaboração própria.

A rota modelos de previsão (informações básicas para os modelos) trata de modelos de estudo referentes a previsão de carga, variações climáticas, detalhamento de vazões. Pode-se ver que os modelos estarão em contínuo aprimoramento, sendo que a rota começa a evoluir de forma mais intensa a partir do médio prazo e atinge a maturidade máxima no início do longo prazo.

**Rota 2 - Modelo de pré-despacho baseado na mesma metodologia atual**

Atualmente, não se dispõe de um modelo para realizar essa função, o que indica uma lacuna funcional que deve ser preenchida no curto prazo.

No Gráfico 26, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelo de pré-despacho baseado na mesma metodologia atual.



**Gráfico 26** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelo de Pré-despacho Baseado na Mesma Metodologia Atual

Fonte: Elaboração própria.

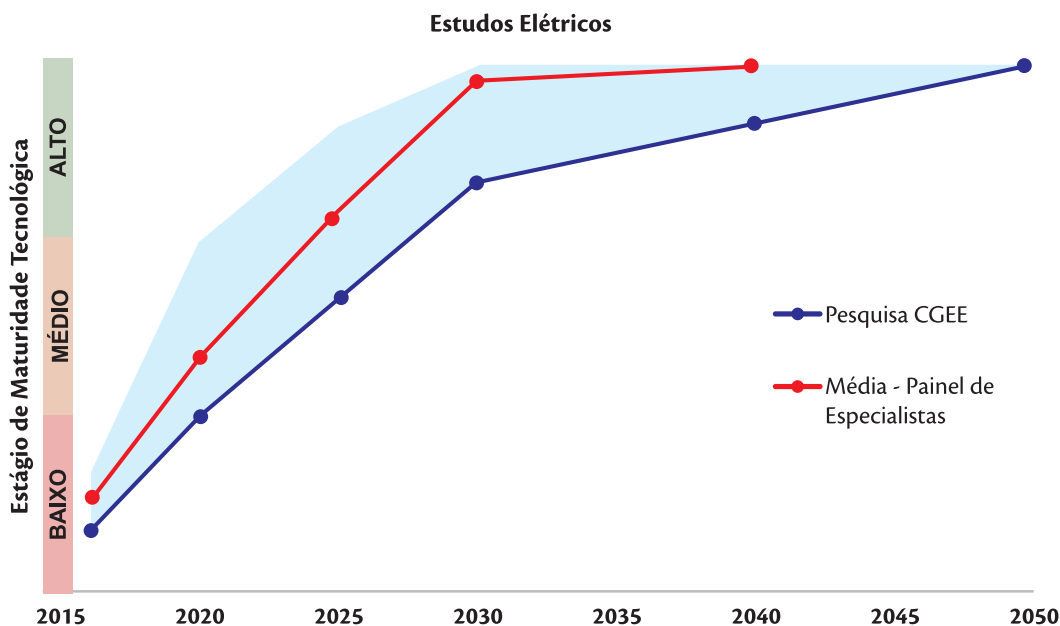
A rota modelo de pré-despacho quase não evolui no curto prazo pelo fato de não haver plataformas de informações completas entre agentes. A partir do médio prazo, a possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema é um facilitador para a evolução da rota, sendo que a curva Pesquisa CGEE e a curva Média - Painel de Especialistas atingem o estágio máximo de maturidade da rota no médio prazo.



### Rota 3 - Estudos elétricos

Diante da inserção das fontes eólica e solar, com forte comportamento intermitente, deverá ser necessário desenvolver novas metodologias para avaliar a segurança e confiabilidade do sistema brasileiro. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 27, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota estudos elétricos.



**Gráfico 27** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Estudos Elétricos

Fonte: Elaboração própria.

Essa rota trata das adaptações que serão necessárias de forma a considerar as mudanças na estrutura da oferta do sistema gerador (novos projetos e sua dinâmica de operação) e as perspectivas de alterações nos padrões de consumo, bem como, eventualmente, a dinâmica de reação de segmentos industriais ou comerciais aos sinais de preço da energia. A evolução da maturidade dessa rota ocorre de forma a acompanhar todas as tendências do sistema elétrico brasileiro.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 17, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 17** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Modelo de Pré-despacho (dia seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelo de Pré-despacho (dia seguinte)	Modelos de previsão (informações básicas para os modelos)	Fatores portadores de futuro	Metodologias atuais de previsão já são consolidadas. Consenso na necessidade de evoluir a representação para novo modelo. Aumento na complexidade para tratamento de informações em base horária.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Disputas legais sobre a propriedade das informações.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Dificuldade na representação de novos recursos e comportamentos ou fenômenos climáticos.	
		Maturidade	BAIXO		ALTO			
	Modelo de pré-despacho baseado na mesma metodologia atual	Fatores portadores de futuro	Conhecimento do contexto e contorno do problema. Domínio de conjunto de metodologias aplicáveis. Dificuldade em integrar as plataformas entre agentes para troca de informações.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Disputas legais sobre a propriedade das informações. Evolução do sistema e base de agentes a ser gerenciada.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Evolução do sistema e base de agentes a ser gerenciada.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Estudos elétricos	Fatores portadores de futuro	Necessidade de integrar novas fontes de energia e seus impactos. Existem abordagens internacionais para esse problema. Complexidade na representação de novos recursos nos modelos atuais.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Novas tendências de consumo e equipamentos podem ser incompatíveis com as metodologias em uso.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Novas tendências de consumo e equipamentos podem ser incompatíveis com as metodologias em uso.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

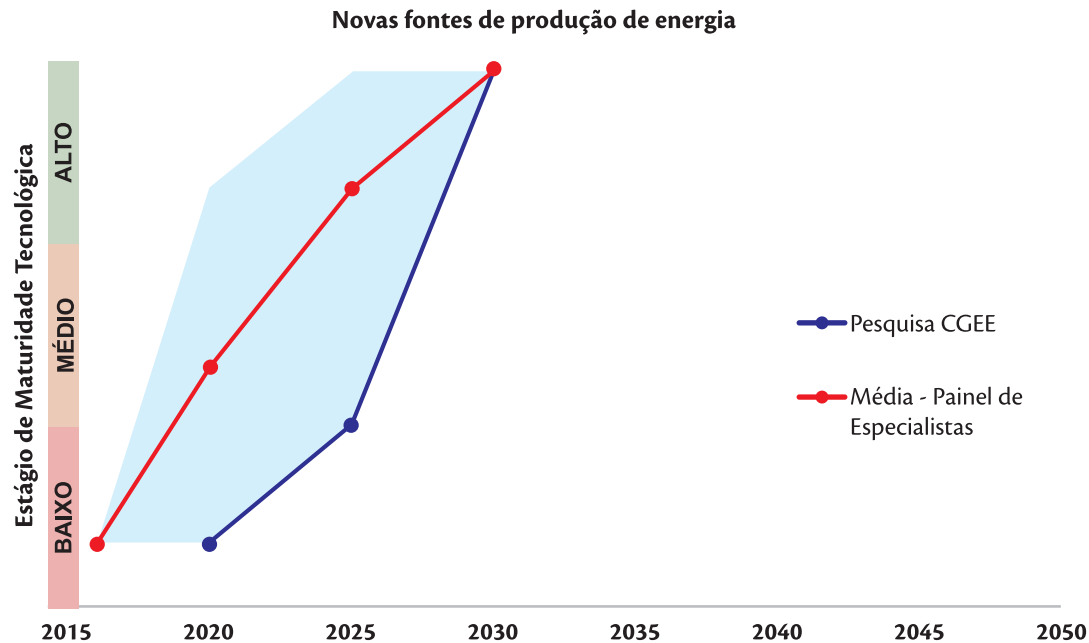
## Agrupamento de rotas II

### Rota 1 - Novas fontes de produção de energia

É necessário conhecer detalhadamente o funcionamento e o comportamento das novas fontes de energia (atualmente em expansão no Brasil) e ainda as novas tendências (usinas reversíveis, dispositivos de armazenamento de energia) para capturar e representar as suas influências nas etapas de planejamento da operação. Essa rota trata desse assunto.



No Gráfico 28, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota novas fontes de produção de energia.



**Gráfico 28** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novas Fontes de Produção de Energia

Fonte: Elaboração própria.

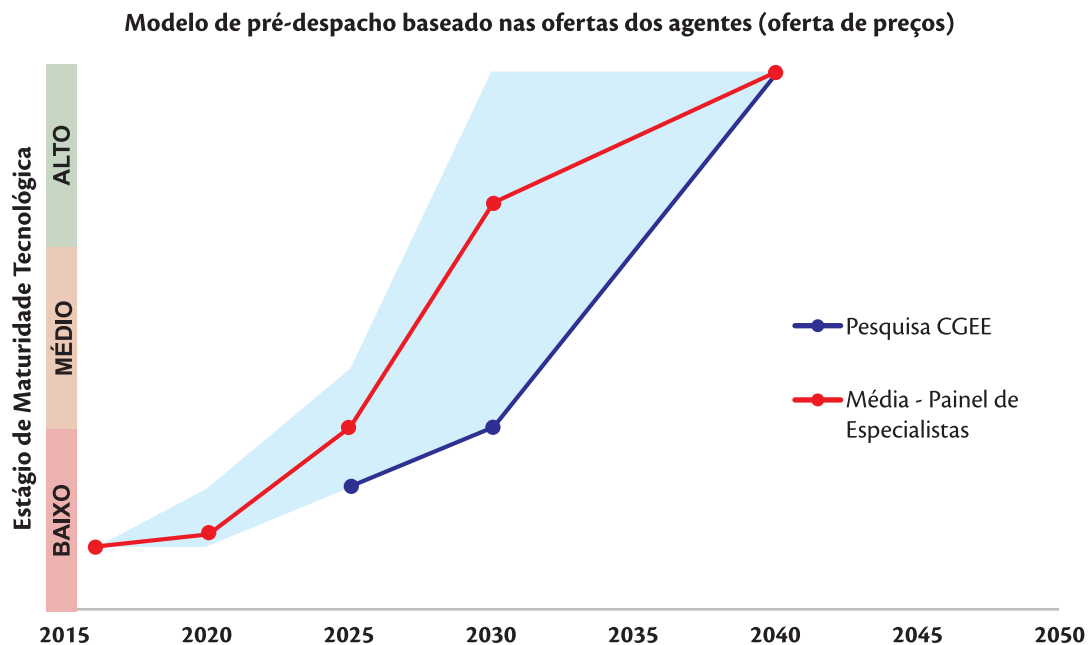
As rotas desse grupo tratam da implementação de um modelo de pré-despacho, da pesquisa de uma metodologia de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes setoriais (geração e consumo), da representação das novas fontes de energia e do desenvolvimento de modelos de fornecimento de informações básicas para a função do pré-despacho (vazões e carga, principalmente).

A evolução dessas rotas é similar, dado que praticamente não existem aplicações no sistema brasileiro para essas soluções. Pela análise da curva Pesquisa CGEE e Média - Painel de Especialistas, vê-se que a rota atinge o estágio máximo de maturidade em 2030.

#### *Rota 2 - Modelo de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes (oferta de preços)*

A potencial e provável mudança de modelo de mercado, em que os agentes setoriais indicarão sua disposição a produzir/consumir, implica a implementação de novo modelo de despacho que não considere a ótica centralizada, como atualmente. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 29, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelo de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes (oferta de preços).



**Gráfico 29** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelo de Pré-despacho Baseado nas Ofertas dos Agentes (oferta de preços)

Fonte: Elaboração própria.

As rotas desse grupo tratam da implementação de um modelo de pré-despacho, da pesquisa de uma metodologia de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes setoriais (geração e consumo), da representação das novas fontes de energia e do desenvolvimento de modelos de fornecimento de informações básicas para a função do pré-despacho (vazões e carga, principalmente).

A evolução dessas rotas é similar, dado que praticamente não existem aplicações no sistema brasileiro para estas soluções. Pela análise da curva Pesquisa CGEE e Média - Painel de Especialistas, vê-se que a rota atinge o estágio máximo de maturidade em 2040.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 18, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 18** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Modelo de Pré-despacho (dia seguinte) da Macrotêmica Modelos de Planejamento da Operação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelo de Pré-despacho (dia seguinte)	Novas fontes de produção de energia	Fatores portadores de futuro	Consenso na necessidade de representar com detalhes novos projetos de geração. Descasamento entre a entrada das novas fontes e a capacidade de sua representação de forma adequada.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Aumento da complexidade para representar novos recursos.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Aumento da complexidade para representar novos recursos.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Modelo de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes (oferta de preços)	Fatores portadores de futuro	A indústria de energia sinaliza a necessidade dessa abordagem. Arranjo setorial já existe em vários mercados no mundo. Dificuldade na implementação das mudanças institucionais necessárias.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Complexidade na gestão das integrações dos sistemas entre agentes. Requisitos de segurança e auditoria.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Complexidade na gestão das integrações dos sistemas entre agentes. Requisitos de segurança e auditoria.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 5.3.2 Temática: Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)

A temática 2 consiste no modelo de planejamento de curto prazo, com foco na operação da semana seguinte. Esse modelo é utilizado atualmente em uma das etapas de elaboração do Programa Mensal de Operação, sob responsabilidade do ONS.

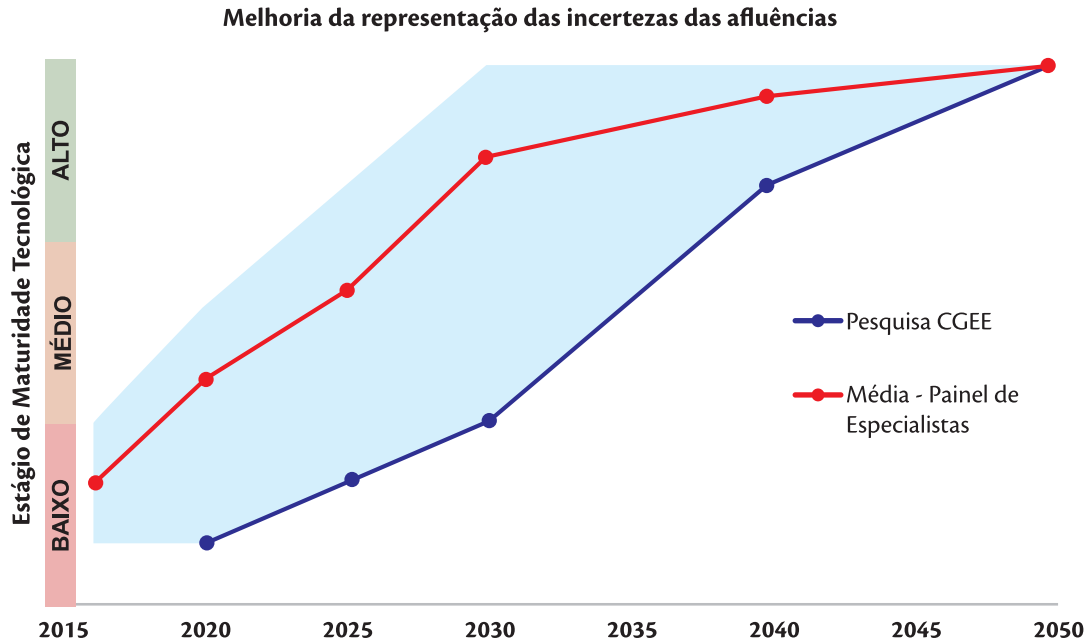
#### Roadmap tecnológico

#### Agrupamento de rotas I

##### Rota 1 - Melhoria da representação das incertezas das afluições

A solução utilizada atualmente para construção de cenários de afluições permite, por questões metodológicas, que se construam amostras com, no máximo, dois meses de horizonte de planejamento. A dependência dos recursos hidráulicos e as consequências das soluções adotadas precisam ser avaliadas num período de tempo mais longo, justificando a sua extensão. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 30, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota melhoria da representação das incertezas das afluências.



**Gráfico 30** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Melhoria da Representação das Incertezas das Afluências

Fonte: Elaboração própria.

Essa rota trata de estudos que visam desenvolver soluções que devem ser avaliadas no médio e no longo prazo. Por esse motivo, a evolução da rota na análise da curva Pesquisa CGEE e da curva Média - Painel de Especialistas é de certa forma linear e o crescimento é gradual ao longo dos períodos de curto, médio e longo prazo.

*Rota 2 - Evolução da metodologia atual na temática modelo de curto prazo (semana seguinte)*

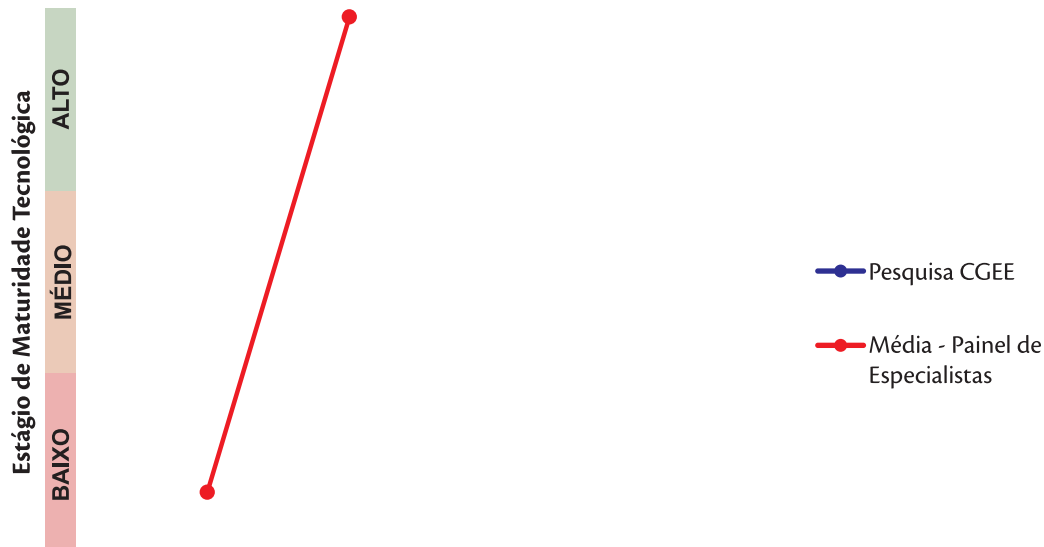
A metodologia atual deve ser aprimorada para se manter adequada diante das modificações pelas quais o sistema brasileiro vem passando. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 31, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota evolução da metodologia atual na temática modelos de planejamento de curto prazo (semana seguinte).





### Evolução da metodologia atual na Temática Modelos de Planejamento de curto prazo (semana seguinte)



**Gráfico 31** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Evolução da Metodologia Atual na Temática Modelo de Curto Prazo (semana seguinte)

Fonte: Elaboração própria.

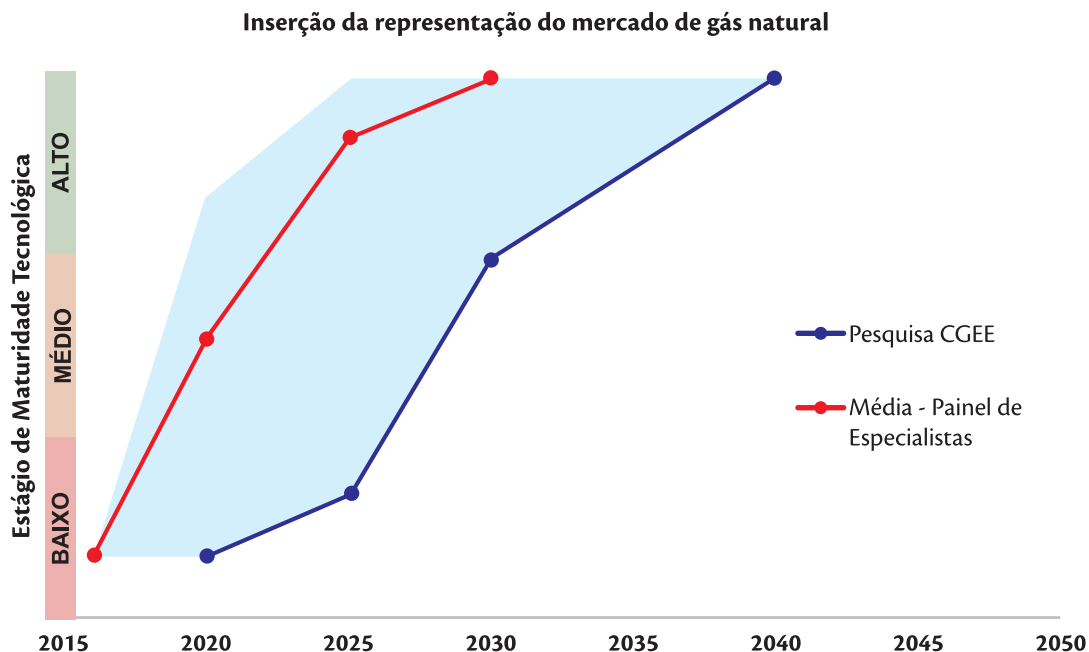
Para essa rota, os especialistas concordaram com a pesquisa do CGEE. Dessa maneira, no gráfico, está sendo apresentada somente a curva referente à Média - Painel de Especialistas.

A rota evolução da metodologia atual trata das adequações em face das mudanças que estão acontecendo no sistema elétrico brasileiro. A evolução da maturidade da rota mostra que a evolução da metodologia atual deve ocorrer de forma rápida, atingindo o nível máximo de maturidade no médio prazo.

#### *Rota 3 - Inserção da representação do mercado de gás natural*

Existe forte integração entre os mercados de gás e energia elétrica em função da operação das usinas a gás natural e a gás natural liquefeito. O grau de complexidade do sistema de produção de energia aumentará, tornando necessário representar essa integração explicitamente. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 32, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota inserção da representação do mercado de gás natural.



**Gráfico 32** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Inserção da Representação de Gás Natural

Fonte: Elaboração própria.

Essa rota trata da integração entre os mercados de gás e energia elétrica em função da operação das usinas a gás natural e a gás natural liquefeito. A evolução da maturidade dessa rota depende do aumento da participação das usinas a gás natural na expansão da oferta diante do cenário favorável de preços desse combustível e evolui de forma mais consistente no médio e no longo prazo. Os especialistas consideraram que a evolução deve ocorrer no curto e no médio prazo, sendo que, em 2030, já estará atingindo o estágio máximo de maturidade, considerando os fatores facilitadores relativos ao fato de que as indústrias já sinalizam a necessidade de representar a integração de energia elétrica e gás natural, que existem abordagens internacionais para esse problema e possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 19, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 19** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Modelo de Planejamento de Curto Prazo (semana seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)	Melhoria da representação das incertezas das afluências	Fatores portadores de futuro	Metodologia atual já é consolidada. Consenso na necessidade de evoluir a representação atual. Problema não evolui desde a implementação da solução atual Falta de prioridade na abordagem de evolução da solução.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Dificuldades na gestão de recursos.			Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Dificuldades na gestão de recursos.
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Evolução da metodologia atual	Fatores portadores de futuro	Metodologia atual já está consolidada. Dificuldade em integrar nova representação das incertezas de afluências.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Dificuldades na gestão de recursos. Grau de complexidade da modelagem diante de mudanças estruturais ou climáticas.			Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Grau de complexidade da modelagem diante de mudanças estruturais ou climáticas.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Inserção da representação do mercado de gás natural	Fatores portadores de futuro	As indústrias já sinalizam a necessidade de representar a integração de energia elétrica e gás natural. Existem abordagens internacionais para esse problema. Gestão de recursos no mapeamento das necessidades de representação. Metodologia atual pode não ser compatível com necessidades da integração.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Grau de complexidade da indústria de gás natural. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.			Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Grau de complexidade da indústria de gás natural. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

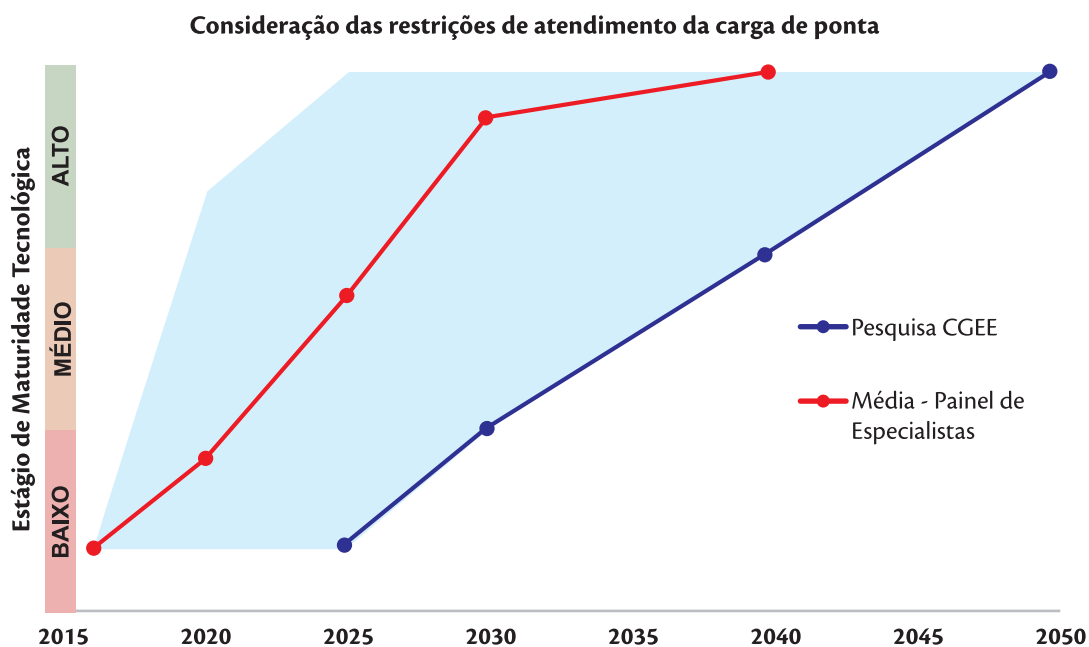
Fonte: Elaboração própria.

## Agrupamento de rotas II

### Rota 1 - Consideração das restrições de atendimento da carga de ponta

O atendimento dos picos de carga é um aspecto determinante da segurança do abastecimento de energia. É fundamental que as ferramentas de planejamento considerem esse aspecto na determinação da política operativa do sistema. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 33, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota consideração das restrições de atendimento da carga de ponta.



**Gráfico 33** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Consideração das Restrições de Atendimento da Carga de Ponta

Fonte: Elaboração própria.

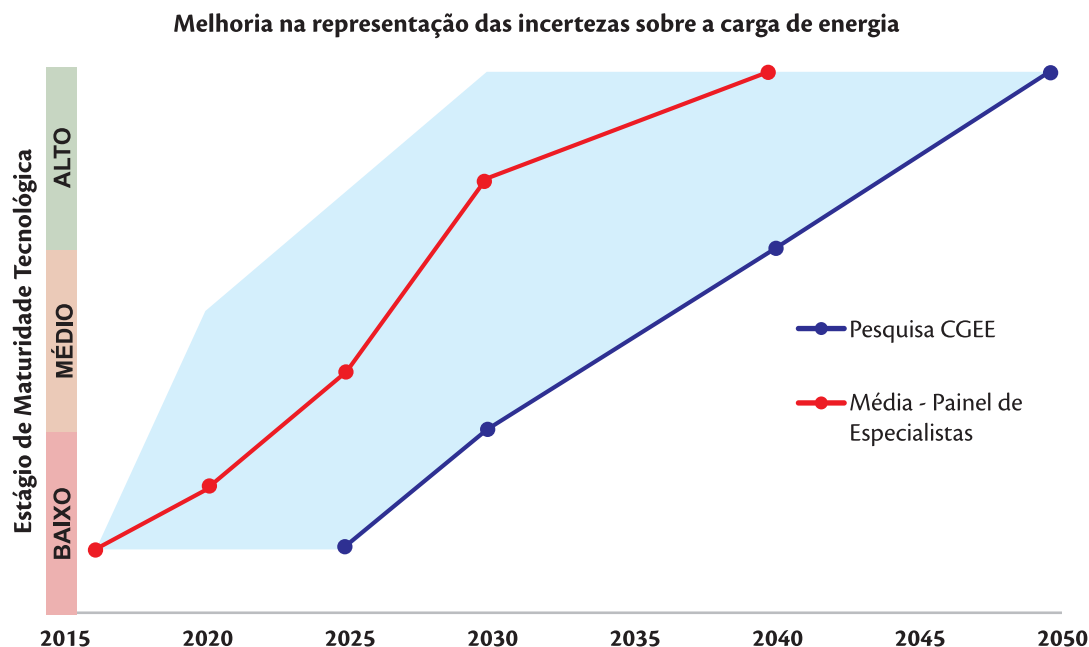
Essa rota trata do atendimento dos picos de carga como aspecto determinante da segurança do abastecimento de energia. A evolução da maturidade dessa rota depende da necessidade sistêmica e de precificação do produto “potência” e da gestão de recursos na priorização das modificações, ficando condicionada a atingir o estágio máximo de maturidade no longo prazo.



## Rota 2 - Melhoria na representação das incertezas sobre a carga de energia

O consumo de energia tende a passar por modificações expressivas nos próximos anos, seja por questões tecnológicas ou mesmo comportamental. É necessário pesquisar tais tendências e buscar formas de representá-las nos modelos de planejamento da operação. Essa rota trata desse assunto.

No Gráfico 34, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota melhoria na



representação das incertezas sobre a carga de energia.

### Gráfico 34 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Melhoria na Representação das Incertezas sobre a Carga de Energia

Fonte: Elaboração própria.

Essa rota trata da necessidade de pesquisas de tendências de mudanças por questões tecnológicas ou comportamentais, de forma a representá-las nos modelos de planejamento da operação. Essa análise não é tão rápida, o que condiciona a rota a atingir o estágio máximo de maturidade no longo prazo.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 20, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas

supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 20** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)	Consideração das restrições de atendimento da carga de ponta	Fatores portadores de futuro	Necessidade sistêmica e de precificação do produto “potência”. Gestão de recursos na priorização das modificações. Metodologia atual pode não ser compatível com necessidades de modelagem.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Melhoria na representação das incertezas sobre a carga de energia	Fatores portadores de futuro	Metodologia atual já está consolidada. Identificação da necessidade de evoluir na representação. Dificuldade em integrar nova representação das incertezas da carga de energia.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia. Grau de complexidade de novos recursos e comportamentos dos consumidores.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Grau de complexidade de novos recursos e comportamentos dos consumidores.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

II da Temática Modelo de Planejamento de Curto Prazo (semana seguinte)  
da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação

Fonte: Elaboração própria.

### 5.3.3 Temática: Modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte)

A temática 3 consiste no modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte), utilizado nos processos de planejamento anual da operação (PEN) e no programa mensal de operação (PMO), de responsabilidade do ONS.

#### Roadmap tecnológico

*Rota 1 - Evolução da metodologia atual na temática modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte)*

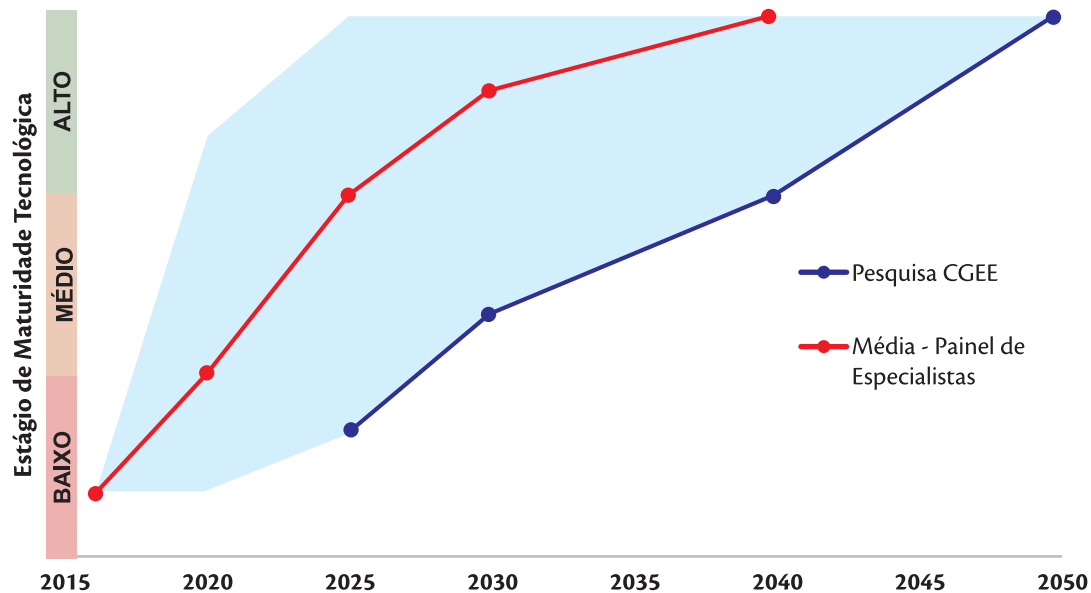
Essa rota busca trazer aprimoramentos de eficiência do código e na representação do sistema. Por exemplo, representar as incertezas associadas às fontes eólica e solar, inserir o critério de risco de déficit explicitamente na formulação do modelo, melhorar a representação das incertezas nas



afluências e o critério de convergência ou o processo de paralelização.

No Gráfico 35, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota evolução da metodologia atual na temática modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte).

**Evolução da metodologia atual na Temática Modelos de planejamento de médio prazo (mês seguinte)**



**Gráfico 35** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Evolução da Metodologia Atual na Temática Modelo de Planejamento de Médio Prazo (mês seguinte)

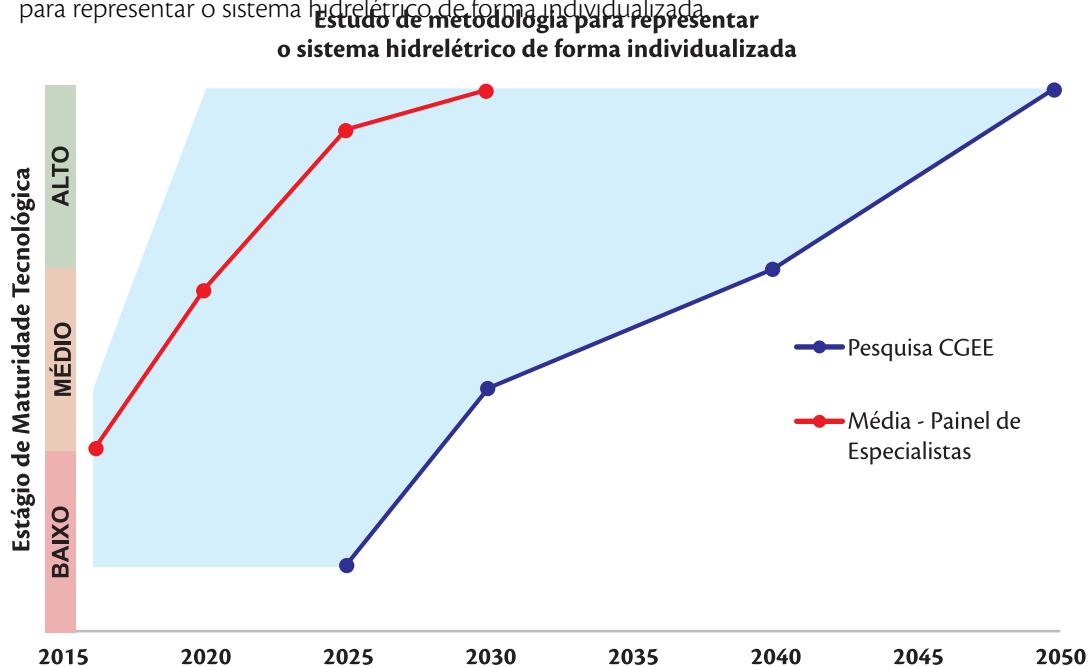
Fonte: Elaboração própria.

Essa rota busca aprimoramentos de eficiência do código e da representação do sistema. A evolução de maturidade da rota é condicionada à dificuldade de os resultados nem sempre serem aderentes ao sistema. Também, as novas necessidades podem ser incompatíveis com a metodologia. A rota atinge o estágio máximo de maturidade no longo prazo.

**Rota 2 - Estudo de metodologia para representar o sistema hidrelétrico de forma individualizada**

Nessa rota, o objetivo é representar o sistema hidrelétrico com todo o seu detalhamento em termos geográficos (diversidade hidrológica), eliminando as simplificações associadas ao modelo a sistemas equivalentes atualmente em uso. As mudanças nas características das usinas hidrelétricas e seus impactos na gestão do sistema precisam ser representados de forma mais próxima à situação real.

No Gráfico 36, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota estudo de metodologia para representar o sistema hidrelétrico de forma individualizada.



**Gráfico 36** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Estudo de Metodologia para Representar o Sistema Hidrelétrico de Forma Individualizada

Fonte: Elaboração própria.

Essa rota trata do objetivo de representar o sistema hidrelétrico com todo o seu detalhamento em termos geográficos (diversidade hidrológica), eliminando as simplificações associadas ao modelo a sistemas equivalentes atualmente em uso. A evolução de maturidade da rota pode ser rápida devido à representação já adotada em outras soluções, porém há fatores limitantes que podem retardar a chegada da rota ao estágio máximo de maturidade apenas no longo prazo, como falta de prioridade na adoção da solução e dificuldade de garantir a convergência e a estabilidade da metodologia.

### *Rota 3 - Representação do atendimento da ponta de carga no modelo de planejamento de médio prazo*

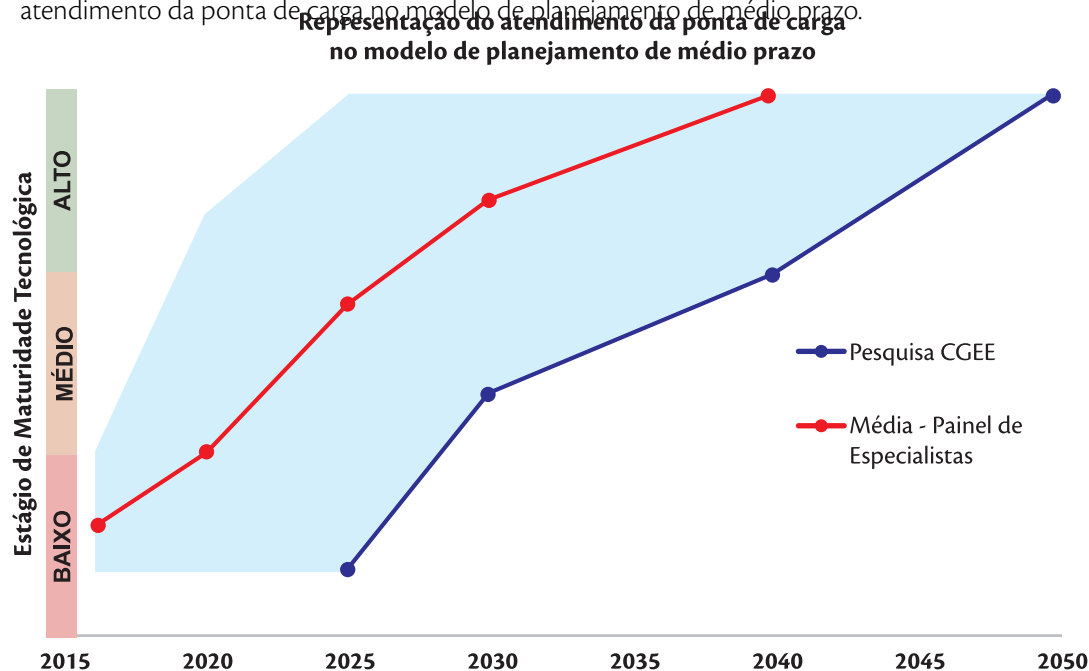
As condições de atendimento à ponta de carga tendem a se tornar mais rigorosas na medida do aumento da participação das fontes renováveis intermitentes. É necessário que o planejamento de médio prazo considere tais restrições na determinação da estratégia de operação. Essa rota trata





desse assunto.

No Gráfico 37, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota representação do atendimento da ponta de carga no modelo de planejamento de médio prazo.



**Gráfico 37** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Representação do Atendimento da Ponta de Carga no Modelo de Planejamento de Médio Prazo

Fonte: Elaboração própria.

Essa rota trata das condições de atendimento à ponta de carga. As condições tendem a se tornar mais rigorosas na medida do aumento da participação das fontes renováveis intermitentes. É necessário que o planejamento de médio prazo considere tais restrições na determinação da estratégia de operação. A evolução rápida da maturidade dessa rota será ditada pela gestão de recursos e pelo aprimoramento da metodologia atual.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 21, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 21** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelo de Planejamento

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte)	Evolução da metodologia atual	Fatores portadores de futuro	Metodologia atual já é consolidada. Resultados nem sempre aderentes ao sistema.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Novas necessidades podem ser incompatíveis com a metodologia.			Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Novas necessidades podem ser incompatíveis com a metodologia.
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Estudo de metodologia para representar o sistema hidrelétrico de forma individualizada	Fatores portadores de futuro	Representação já adotada em outras soluções. Falta de prioridade na adoção da solução.		Poucas necessidades de ajustes. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.			Poucas necessidades de ajustes. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Representação do atendimento da ponta de carga no modelo de planejamento de médio prazo	Fatores portadores de futuro	Necessidade sistêmica e de precificação do produto "potência". Gestão de recursos na priorização das modificações Metodologia atual pode não ser compatível com necessidades de modelagem.		Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.			Possibilidade de estudo de novas abordagens para a solução do problema. Garantir a convergência e estabilidade da metodologia.
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

de Médio Prazo (mês seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação



Fonte: Elaboração própria.

## 5.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotecânica Modelos de Planejamento da Operação. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotecânica, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 22.

**Tabela 22** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotecânica Modelos de Planejamento da Operação

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Modelos de previsão (informações básicas para os modelos)	Modelo de pré-despacho (dia seguinte)
2	Estudos elétricos	Modelo de pré-despacho (dia seguinte)
3	Melhoria na representação das incertezas sobre a carga de energia	Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)
4	Novas fontes de produção de energia	Modelo de pré-despacho (dia seguinte)
5	Melhoria da representação das incertezas das afluências	Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)
6	Estudo de metodologia para representar o sistema hidrelétrico de forma individualizada	Modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte)
7	Consideração das restrições de atendimento da carga de ponta	Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)
8	Modelo de pré-despacho	Modelo de pré-despacho (dia seguinte)
9	Evolução da metodologia atual	Modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte)
10	Representação do atendimento da ponta de carga no modelo de planejamento de médio prazo	Modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte)
11	Evolução da metodologia atual	Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)
12	Inserção da representação do mercado de gás natural	Modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte)
13	Modelo de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes	Modelo de pré-despacho (dia seguinte) (oferta de preços)

Fonte: Elaboração própria.

A rota modelos de previsão (informações básicas para os modelos) é a mais prioritária pelo fato de que o desenvolvimento desta visa melhorar a qualidade das informações básicas para o planejamento. A rota estudos elétricos vem na sequência pelo fato de ter como objetivo adequar os procedimentos atuais às novas condições do sistema elétrico.

A rota melhoria na representação das incertezas sobre a carga de energia foi indicada pelos especialistas como terceira rota com maior prioridade pelo fato de agregar aspectos da carga para melhoria das decisões de planejamento. Na sequência, foi indicada a prioridade para a rota novas fontes de produção de energia pela importância de representar as novas fontes de energia que estão assumindo participação relevante na operação do sistema. Na sequência, foi indicada a prioridade para a rota melhoria da representação das incertezas das afluências pelo fato de que hoje é necessário estender o horizonte de planejamento dessa função.

A rota estudo de metodologia para representar o sistema hidrelétrico de forma individualizada foi indicada como sexta prioridade pelo fato de ser necessário representar mais adequadamente o sistema hidrelétrico diante das mudanças na topologia do sistema. Na sequência, foi indicada a prioridade para a rota consideração das restrições de atendimento da carga de ponta pelo fato de estar ocorrendo aumento da importância das restrições de potência na operação do sistema elétrico. Na sequência, foi indicada a prioridade para a rota modelo de pré-despacho baseado na mesma metodologia atual pelo fato de preencher lacuna nas ferramentas de gestão do sistema.

A rota evolução da metodologia atual na temática modelo de planejamento de médio prazo (mês seguinte) foi indicada como nona prioridade pelo fato de hoje ser necessário que haja melhorias no processo de planejamento. Na sequência, foi indicada a prioridade para a rota representação do atendimento da ponta de carga no modelo de planejamento de médio prazo. Na sequência, foi indicada a prioridade para a rota evolução da metodologia atual na temática modelo de planejamento de curto prazo (semana seguinte) pelo fato de serem necessárias melhorias no processo de planejamento.

A rota inserção da representação do mercado de gás natural foi indicada como prioridade doze pelo fato de ser necessário agora uma representação de indústria correlata e integrada do sistema elétrico. Como prioridade treze, foi indicada a rota modelo de pré-despacho baseado nas ofertas dos agentes (oferta de preços), não que não seja importante, mas, de acordo com a visão de futuro da macrotemática, foi indicada como a de menor prioridade pelos especialistas.



## Capítulo 6

---





## Capítulo 6

# Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão

O planejamento energético requer ampla variedade de estudos que contemplem aspectos sociais, econômicos, tecnológicos e ambientais. Nesse sentido, é necessário o desenvolvimento de ferramentas que sejam capazes de captar todas essas questões de forma a permitir que se atenda a demanda de energia da sociedade da forma mais eficiente possível. Assim sendo, essa macrotemática apresenta o estado atual do desenvolvimento dos modelos de planejamento da expansão e identifica os aperfeiçoamentos necessários para que tais ferramentas cumpram seu papel no planejamento setorial de maneira adequada, considerando o processo de evolução do setor de energia.

As rotas tecnológicas da macrotemática foram separadas em duas temáticas: modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos) e modelos de longo prazo (acima de 20 anos).

### 6.1 Visão de futuro

#### 6.1.1 Cenário setorial

O aperfeiçoamento dos modelos de expansão no Brasil apresenta oportunidades de desenvolvimento de PD&I no país. A complexidade do sistema hidrotérmico brasileiro, os prazos de maturação dos projetos e os estudos que antecedem sua concepção exigem que o planejamento da expansão da geração de energia elétrica seja desenvolvido em três horizontes de tempo, a saber:

- Estudos de longo prazo - com horizonte de 20 a 30 anos, em que se procura analisar as estratégias de desenvolvimento do sistema elétrico, a composição futura do parque gerador e os principais troncos e sistemas de transmissão. Sua periodicidade deve ser de 5 a 6 anos e constitui a base para a elaboração dos planos nacionais de energia elétrica;

- Estudos de médio prazo - com horizonte de 10 a 15 anos, estabelecem-se os programas de geração e de transmissão de referência e estimam-se as necessidades de recursos financeiros para investimentos e a demanda de serviços de construção de usinas, de sistemas elétricos (linhas de transmissão e subestações) e de equipamentos. Esse instrumento permite a avaliação de hipóteses formuladas nos horizontes de curto e longo prazo. Sua periodicidade deve ser de 2 a 3 anos;
- Estudos de curto prazo - tem horizonte de 5 a 10 anos. Devem ser apresentadas as decisões relativas à expansão da geração e da transmissão, definindo os empreendimentos e sua alocação temporal, sendo realizadas as análises das condições de suprimento ao mercado e calculados os custos marginais de expansão. Sua periodicidade deve ser anual e resulta no plano decenal de expansão do setor elétrico.

### 6.1.2 Objetivo geral

O foco principal dos investimentos em PD&I deverá ser a instrumentalização do planejamento da expansão da geração e transmissão por meio de conceitos, métodos e modelos, critérios e procedimentos que incorporem inovações técnicas e alterações do ambiente regulatório e institucional do setor elétrico, em harmonia com os processos de operação e de comercialização de energia. Nesse sentido, dever-se-á investir no desenvolvimento de modelos que permitam a representação adequada de fontes renováveis intermitentes e sazonais, como a eólica e a solar, bem como nas diversas formas de armazenamento de energia, em forma elétrica ou não, além de outras variáveis técnicas e socioambientais que possam influenciar o processo de planejamento no setor. É importante também adequar os modelos para representar melhor a geração distribuída, REI (*smart grids*), veículos elétricos e outras inovações em nível de distribuição. Deverão ser tratados ainda os aspectos comportamentais dos atuais consumidores, tanto no papel de agentes de consumo quanto no de agentes de produção (prossumidores).

### 6.1.3 Objetivo específico

Como medida de curto prazo, cita-se o desenvolvimento ou aprimoramento de modelos de planejamento, com uso de novas técnicas de modelagem e simulação já disponíveis em âmbito nacional e mundial. É importante adotar medidas que viabilizem a aplicação e validação dos modelos em casos reais do SIN para maior eficácia e transparência no processo de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro. Os modelos de curto, médio e longo prazo deverão ser aperfeiçoados para incorporar novas tecnologias, como fontes intermitentes e sazonais, diversas formas de armazenamento de energia, geração distribuída, entre outras. Tais medidas exigirão esforço significativo no desenvolvimento de novos recursos de *software* e arquiteturas de *hardware*.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Desenvolver e/ou aperfeiçoar metodologias e modelos para uso no planejamento da expansão do sistema com fontes intermitentes;





- Aplicar metodologias de cálculo do custo do déficit e de outros parâmetros críticos para o planejamento da expansão;
- Desenvolver modelos para o planejamento integrado dos segmentos de geração, transmissão, gás natural (malha de gasodutos) etc.

#### **Méio prazo (2020-2030):**

- Incorporar nos modelos de planejamento sistemas de indicadores e métricas adequados ao impacto de variáveis socioambientais;
- Incorporar modelos da resposta da demanda, considerando diversos produtos e serviços oferecidos aos consumidores, incluindo contratos de fornecimento com distintos níveis de confiabilidade e qualidade;
- Aprimorar a representação, nos modelos de planejamento da expansão, de fontes sazonais e intermitentes, da geração distribuída, do armazenamento de energia e outras inovações no setor.

#### **Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver modelos de suporte à formulação de políticas públicas na área de energia, incluindo indicadores e métricas da viabilidade técnica, econômica e socioambiental de planos de expansão e políticas públicas.
- Dar continuidade ao processo de aperfeiçoamento e desenvolvimento de modelos para os estudos de planejamento da expansão do sistema.

### 6.1.4 Fundamentação

Os modelos que simulam a expansão de longo prazo normalmente simplificam o subproblema da operação para ser computacionalmente tratável. Há também tendência de integração com outras cadeias energéticas e com modelos macroeconômicos (ex. MELP-Gás, Modelo Matriz e Modelo de Equilíbrio Geral Computável). Os modelos de expansão de curto e médio prazo representam melhor o subproblema da operação, mas necessitam de algoritmos específicos para tratar um problema de programação inteira-mista (ex. *Branch and Bound* e Algoritmo Genético). Nos dois casos, é importante considerar a expansão das fontes intermitentes, a evolução das tecnologias de armazenamento de energia e da geração distribuída. Ademais, há incertezas importantes sobre a evolução da demanda, o ambiente para atração de investimentos e as questões regulatórias que merecem tratamento adequado.

Atualmente, os modelos não são flexíveis o suficiente para considerar a possibilidade de uma decisão mais descentralizada, em que distribuidoras e consumidores (resposta da demanda) tenham maior participação. Esses modelos podem permitir que se analisem diferentes tipos de contratos entre distribuidoras e consumidores finais.

De qualquer forma, os planos de expansão, sejam eles de curto, médio ou longo prazo, precisam ser feitos com modelos transparentes o suficiente para que se entenda como os resultados são obtidos. Nesse sentido, precisam incorporar elementos para que se capte a viabilidade técnica, econômica e socioambiental dos planos de expansão, propriamente dito, e das políticas públicas.

No caso específico da viabilidade econômica, é necessário considerar que vários componentes das usinas geradoras de energia elétrica são importados e algumas fontes primárias de energia (como o gás natural) ou são importadas, ou seu preço é cotado no mercado internacional. Assim, a variação da taxa de câmbio se apresenta como fonte adicional de risco e afeta diretamente a taxa de retorno do investimento do projeto. Portanto, nos estudos de expansão de curto, médio e longo prazo, tais análises precisam estar presentes e se refletir nos modelos.

Outras oportunidades para o país de PD&I, de variáveis importantes a serem consideradas nos modelos de expansão de curto, médio e longo prazos, seriam, por exemplo, o custo do déficit de energia e o custo marginal de expansão.

O custo de déficit, que é o parâmetro que coordena o atendimento simultâneo de dois objetivos, ou critérios, influencia a determinação da expansão do sistema: economicidade e segurança do sistema. Isso porque um custo maior de déficit no modelo de expansão implica aumento do custo de operação, induzindo (viabilizando) a expansão da oferta que, como consequência, reduz o risco de déficit; enquanto um custo menor de déficit reduz a viabilidade econômica da expansão da oferta, visto que a operação com sistema existente é mais barata, mas essa situação eleva o risco de déficit.

O custo de déficit também controla a aversão ao risco de déficit, afetando a operação do sistema (configuração predefinida): custo maior de déficit eleva o custo marginal de operação e implica despacho maior da geração termelétrica e consequente redução da geração hidrelétrica (poupando o estoque de água).

Ao controlar a aversão ao risco no despacho da geração, o custo de déficit termina afetando também a “garantia física” dos empreendimentos de geração, que é o lastro físico para os contratos de venda de energia elétrica, que altera de forma decisiva a viabilidade comercial e a competitividade dos empreendimentos de geração.

Assim, o custo de déficit é o parâmetro fundamental e crítico tanto no planejamento da expansão quanto no da operação e, finalmente, na comercialização da energia elétrica, ressaltando a importância da revisão das metodologias do seu cálculo.

Loureiro (2009) propôs uma metodologia alternativa para o cálculo do que ele denomina de custo marginal de déficit. A função obtida no cálculo mostra uma relação inversa entre essa variável e o risco de déficit. O custo do déficit é modelado a partir da métrica VaR (*value at risk*), que permite



sua quantificação associada ao risco de déficit. A derivada da função obtida no cálculo mostra a relação inversa entre o custo (marginal) do déficit e o risco de déficit.

Para os estudos de expansão do parque de geração de energia elétrica, atualmente, está se utilizando o mesmo valor de custo de déficit do planejamento da operação. Alguns estudos mostram que o mais adequado seria adotar o custo implícito do déficit. Tal abordagem, entretanto, tem custo computacional alto, pois se baseia em um método de “tentativa e erro”. A alternativa pode ser o custo marginal de déficit, que tem o mesmo comportamento quanto ao risco e é uma metodologia fácil de se reproduzir e de se atualizar.

De qualquer maneira, para que os estudos sejam mais consistentes, é necessário desenvolver uma base de dados atualizada que permita a adoção de qualquer metodologia.

O Custo Marginal de Expansão (CME) também é de suma importância para o planejamento, pois sinaliza corretamente a necessidade de expansão do sistema. O CME é o principal parâmetro para o cálculo da garantia física das usinas geradoras de energia elétrica. Essa garantia é um certificado que atesta a capacidade de geração de uma planta e é utilizada na comercialização de energia.

Nos estudos elaborados pela EPE, adota-se a igualdade entre os custos marginais de operação (CMO) e de expansão (CME) como critério econômico na elaboração das alternativas de ampliação da capacidade de geração para cada ano do período estudado. Tal critério econômico é utilizado tradicionalmente nos planos de expansão do SIN (ver FORTUNATO et al., 1990) e deriva do princípio da igualdade entre o CMO e CME defendido por economistas no início da segunda metade do século passado. Tal princípio, entretanto, passou a ser questionado por conta das indivisibilidades de projetos de expansão de oferta (como as usinas de geração de energia elétrica) que dificultam a obtenção de um custo marginal.

Alguns autores tratam a questão da determinação do CME, considerando uma metodologia de *peak-load pricing*, que se baseia na formulação de Williamson (1966) e de Turvey (1968). O problema nessa abordagem está na necessidade de ajustes para atingir o equilíbrio de longo prazo. Conforme ressaltam Andersson e Bohman (1985), o método mais adequado para determinar custos marginais de longo prazo é aquele que deriva de uma otimização, ou seja, dos modelos de planejamento da expansão. Assim, em tais modelos, é necessário dar tratamento adequado para se determinar corretamente o CME.

## 6.2 Caracterização das métricas da macrotelescútica para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotelescútica, considerando os aspectos:

evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

As informações na planilha de indicadores refletem a necessidade de construção de uma base de dados meteorológicos para a representação adequada da geração eólica e solar. A implementação dessa funcionalidade do modelo vai requerer o desenvolvimento de algoritmos adequados para permitir a simulação da expansão com as referidas fontes renováveis. Tudo isso tem custo computacional importante e, portanto, vai demandar aumento da capacidade de processamento dos computadores. Ademais, será necessária uma pesquisa aprofundada de geração distribuída, REI, baterias, entre outras novas tecnologias que farão parte da realidade do setor de energia elétrica no médio (2020-230) e no longo prazo (2030-2050). As métricas definidas para o aspecto de evolução tecnológica foram: construção de base de dados, desenvolvimento de algoritmos, aumento da capacidade de processamento dos computadores, expansão da geração distribuída, desenvolvimento das baterias e REI.

Cabe ressaltar que os aspectos de estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado, na maioria dos casos das temáticas modelos de curto e médio prazo e modelos de longo prazo, não se aplicam por não se tratar de desenvolvimento de *software*.

De qualquer forma, no que diz respeito à estratégia setorial, a inserção de variáveis ambientais e sociais requer desenvolvimento de modelos de análise específicos que serão tratados na macrotemática. O modelo regulatório, por outro lado, pode determinar a função objetivo que será usada nos modelos (ex. minimizar custos ou maximizar lucros). Por fim, a adoção de modelos de expansão nos planos decenais e de longo prazo dão mais transparência ao planejamento energético.

Quanto ao objetivo socioambiental, foram definidas as seguintes métricas: i) medidas de baixo carbono; ii) medidas de baixo impacto ambiental; iii) geração de empregos; e iv) empregos em laboratórios.

Nas outras áreas, o desenvolvimento de modelos de planejamento energético, de um modo geral, sempre apresenta altos impactos em termos de geração de emprego de alta qualificação por conta das características desse conhecimento. Por isso, há também a necessidade de criação de laboratórios e de uma rede colaborativa para difusão e compartilhamento do conhecimento. Por consequência, há sempre alta produção de CT&I em âmbito nacional e internacional, tanto no que diz respeito à produção científica quanto na geração de patentes (*softwares*).

Para o aspecto indústria e mercado, as métricas definidas como demanda nacional e demanda global no que diz respeito à percepção sobre a demanda nacional e global continuarão altas nos períodos de curto (2017-2020), médio (2020-2030) e longo (2030-2050) prazo. Para a cadeia produtiva, a capacitação nacional estará em crescente evolução.



## 6.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotecânica modelos de planejamento da expansão consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 38 ao Gráfico 43. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

### 6.3.1 Temática: Modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos)

As rotas consideradas na temática modelos de curto e médio prazo refletem a necessidade de aperfeiçoamento dos modelos de planejamento da expansão. Cada uma delas reflete um conjunto de estudo de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Desenvolvimento de modelos integrados na temática modelos de curto e médio prazo*

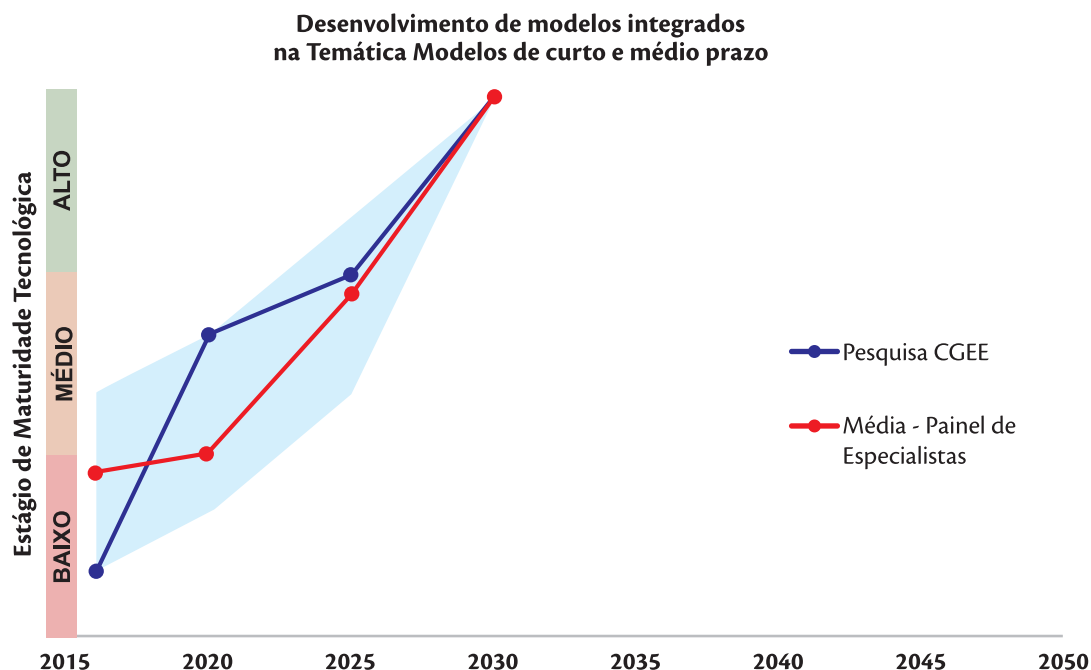
Para a métrica construção de base de dados, foi considerado que, na rota desenvolvimento de modelos integrados, é necessário o mapeamento completo de todos os recursos energéticos disponíveis no país até 2020. Em seguida, é necessário mapear os potenciais exportadores de recursos energéticos não produzidos no país. Essa base de dados deve ser atualizada continuamente para que os modelos de planejamento integrado de recursos energéticos produzam resultados confiáveis.

Para a métrica desenvolvimento de algoritmos, na rota desenvolvimento de modelos integrados, os modelos de planejamento da expansão são problemas de programação inteira-mista e, assim sendo, exigem o desenvolvimento de algoritmos que minimizem o custo computacional. Não é muito difícil modelar todas as cadeias energéticas, mas requer um tempo grande de processamento computacional, haja vista o nível de detalhamento exigido no planejamento de curto e médio prazo. Considerando que já há esforços nesse sentido, é possível ter essa modelagem disponível em 2020. Em seguida, é necessário iniciar os testes para que a ferramenta esteja disponível para uso em 2025.

Para a métrica aumento da capacidade de processamento computacional, na rota desenvolvimento de modelos integrados, com o desenvolvimento de algoritmos que minimizem o custo

computacional, o aumento da capacidade de processamento é uma linha de pesquisa que não pode ser descontinuada, pois sempre haverá demanda por maior capacidade de processamento em todas as rotas e em todas as áreas do conhecimento.

No Gráfico 38, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota desenvolvimento de modelos integrados na temática modelos de curto e médio prazo.



**Gráfico 38** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos Integrados na Temática Modelos de Curto e Médio Prazo

Fonte: Elaboração própria.

A formulação dos modelos de planejamento da expansão já é bem definida, tanto que há vários modelos desenvolvidos no Brasil e no mundo. Dentre eles, podem-se citar: Matriz, desenvolvido pelo Cepel; Plexos *Integrated Energy Model*, desenvolvido pela Energy Exemplar; e OSeMOSYS (*The Open Source Energy Modeling System*), desenvolvido pelo Departamento de Tecnologia da Energia da KTH. Os modelos mais comuns são os de longo prazo. Os de curto prazo costumam integrar somente geração e transmissão, além de algumas cadeias energéticas, como a do gás natural.



De qualquer forma, a EPE, que é responsável pela construção de cenários para o planejamento, não tem utilizado nenhum modelo de expansão de curto prazo. Assim, as aplicações de modelos de expansão ficam restritas a análises de empresas e acadêmicas.

A interpretação da evolução da maturidade da rota é um pouco dificultada, visto que essa macrotecânica não se refere exatamente a uma tecnologia, mas ao desenvolvimento de *softwares*. De qualquer forma, é possível notar que o desenvolvimento da rota para o médio prazo já estará em estágio de maturidade médio, porque já há modelos que aplicam tal metodologia. Entretanto, na medida em que novas tecnologias passam a ser mais amplamente utilizadas na matriz energética, novos desenvolvimentos são necessários. Na análise, considerou-se que tais desenvolvimentos permitirão que os modelos estejam em estágio alto de maturidade já em 2030, com crescimento exponencial durante o período de médio prazo.

### ***Rota 2 - Representação apurada da operação nos modelos de expansão na temática modelos de curto e médio prazo***

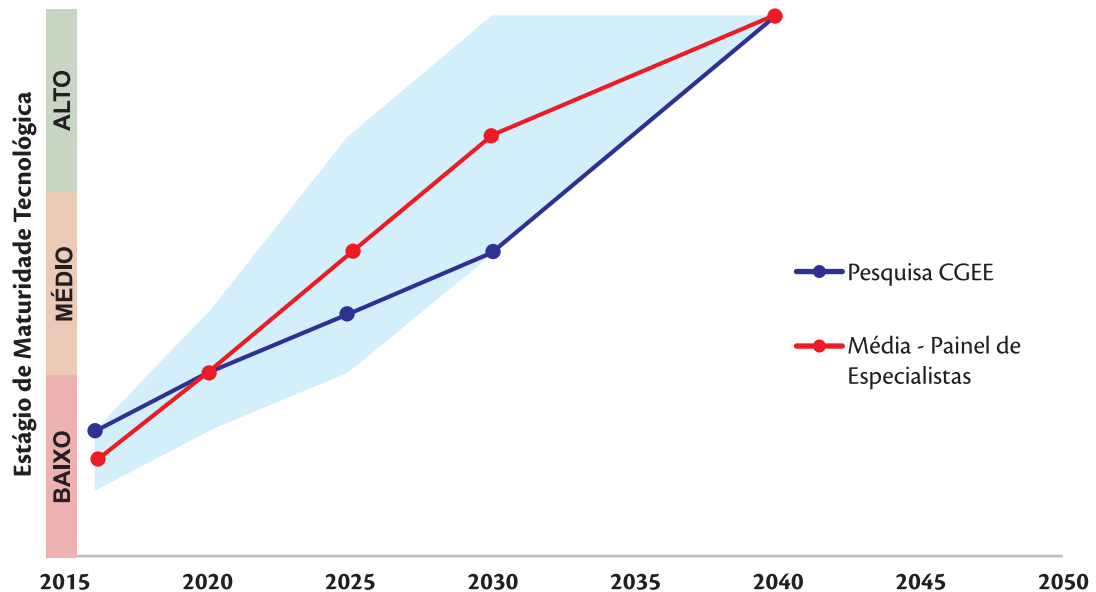
Para a métrica construção de base de dados, foi considerado que, na rota representação apurada da operação nos modelos de expansão, são fundamentais os dados meteorológicos. Como as fontes intermitentes ainda são incipientes no SIN, a montagem dos dados pode ser feita até 2025 para vento e até 2030 para a energia solar. Da mesma forma que na rota anterior, é necessário manter atualização contínua da base de dados.

Para a métrica desenvolvimento de algoritmos, na rota representação apurada da operação nos modelos de expansão, a modelagem das fontes intermitentes exige grande esforço computacional. Pode-se pensar em alternativas como a integração de modelos que representem o detalhamento da geração horária com os modelos de planejamento da expansão. Esta é uma pesquisa que deve ser continuada para que os modelos estejam disponíveis até 2030.

Para a métrica aumento da capacidade de processamento computacional, na rota representação apurada da operação nos modelos de expansão, com o desenvolvimento de algoritmos que minimizem o custo computacional, o aumento da capacidade de processamento é uma linha de pesquisa que não pode ser descontinuada, pois sempre haverá demanda por maior capacidade de processamento em todas as rotas e em todas as áreas do conhecimento.

No Gráfico 39, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota representação apurada da operação nos modelos de expansão na temática modelos de curto e médio prazo.

**Representação apurada da operação nos modelos de expansão na Temática Modelos de curto e médio prazo**



**Gráfico 39** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Representação Apurada da Operação nos Modelos de Expansão na Temática Modelos de Curto e Médio Prazo

Fonte: Elaboração própria.

A formulação dos modelos de planejamento da expansão já é bem definida, tanto que há vários modelos desenvolvidos no Brasil e no mundo, mas ainda são necessários estudos para melhor representação da operação nos modelos de expansão. É bem verdade que os modelos citados no item anterior apresentam módulos de operação, mas normalmente a representação é simplificada. E com a penetração cada vez maior das fontes intermitentes e sazonais no SIN, os referidos módulos precisam ser aperfeiçoados.

De qualquer forma, a EPE, que é responsável pela construção de cenários para o planejamento, não tem utilizado nenhum modelo de expansão de curto prazo. Assim, as aplicações de modelos de expansão ficam restritas a análises de empresas e acadêmicas.

A interpretação da evolução da maturidade da rota é um pouco dificultada, visto que essa macrotemática não se refere exatamente a uma tecnologia, mas ao desenvolvimento de *softwares*. No caso da modelagem das fontes intermitentes, ainda é necessária muita pesquisa para que se ganhe maturidade tecnológica. Há também grande dependência de uma base de dados robusta, que só vai acontecer na medida em que as fontes intermitentes ganhem maior participação na matriz energética.





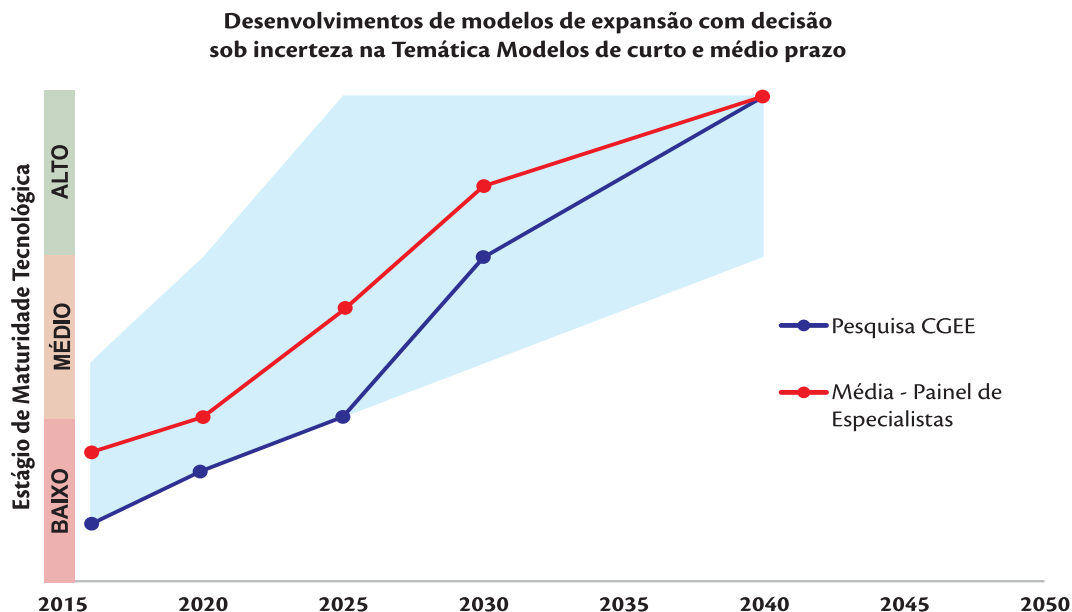
### *Rota 3 - Desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza na temática modelos de curto e médio prazo*

Para a métrica construção de base de dados, foi considerado que, na rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza, é necessário primeiramente fazer um levantamento das fontes de incerteza no planejamento da expansão, como demanda, custo do capital, hidrologia, regime de ventos, incidência solar, desenvolvimento tecnológico etc. Esta é uma necessidade imediata, ou seja, para o horizonte de 2020. Em seguida, é importante mapear o estado da arte das tecnologias que podem ser utilizadas no SIN e, obviamente, da incerteza realizada ao respectivo desenvolvimento. A partir de 2030, essa base de dados também deve ser atualizada continuamente.

Para a métrica desenvolvimento de algoritmos, na rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza, além dos problemas computacionais, há também a dependência do desenvolvimento das outras rotas. Assim, a adoção desse tipo de modelo só deve ocorrer entre 2030 e 2050.

Para a métrica aumento da capacidade de processamento computacional, na rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza, com o desenvolvimento de algoritmos que minimizem o custo computacional, o aumento da capacidade de processamento é uma linha de pesquisa que não pode ser descontinuada, pois sempre haverá demanda por maior capacidade de processamento em todas as rotas e em todas as áreas do conhecimento.

No Gráfico 40, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza na temática modelos de curto e médio prazo.



**Gráfico 40** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos de Expansão com Decisão sob Incerteza na Temática Modelos de Curto e Médio Prazo

Fonte: Elaboração própria.

A formulação dos modelos de planejamento da expansão já é bem definida e algumas fontes de incerteza já são representadas nos modelos desenvolvidos no Brasil e no mundo. Dentre eles, podem-se citar: MODPIN (Modelo de Expansão sob Incerteza), desenvolvido pelo Cepel; OptGen (modelo de planejamento da expansão da geração e interligações regionais), desenvolvido pela PSR; além dos modelos internacionais *Plexos Integrated Energy Model*, desenvolvido pela Energy Exemplar, e *OSeMOSYS (The Open Source Energy Modeling System)*, desenvolvido pelo Departamento de Tecnologia da Energia da KTH.

A interpretação da evolução da maturidade da rota é um pouco dificultada, visto que essa macrotemática não se refere exatamente a uma tecnologia, mas ao desenvolvimento de *softwares*. De qualquer forma, na medida em que novas tecnologias passam a ser mais amplamente utilizadas na matriz energética, novos desenvolvimentos são necessários. Neste trabalho, considerou-se que tais desenvolvimentos permitirão que os modelos estejam em estágio alto de maturidade já a partir de 2030.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 23, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 23** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos de Curto e Médio Prazo (5 a 15 anos) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos)	Desenvolvimento de modelos integrados na Temática Modelos de curto e médio prazo	Fatores portadores de futuro	A formulação dos modelos já é bem definida e requer base de dados de todos os recursos energéticos.	Há várias instituições internacionais que desenvolvem modelos integrados. A EPE não adota modelos de curto e médio prazos no planejamento da expansão. No Brasil, só o Cepel desenvolve modelos integrados.	Há várias instituições internacionais que desenvolvem modelos integrados. A EPE não adota modelos de curto e médio prazos no planejamento da expansão. No Brasil, só o Cepel desenvolve modelos integrados.	Atualização contínua da base de dados e aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores	Atualização contínua da base de dados e aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores	Atualização contínua da base de dados e aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Representação apurada da operação nos modelos de expansão na Temática Modelos de curto e médio prazo	Fatores portadores de futuro	A formulação da operação nos modelos de expansão já é bem definida. Necessidade de geração de séries sintéticas de vento e de radiação solar.	Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade da modelagem das fontes intermitentes. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre	Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade da modelagem das fontes intermitentes. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre.	Adoção no planejamento de modelos que incorporem geração intermitente, o armazenamento de energia e a geração distribuída. Construção de séries sintéticas de energia solar.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos que lidem com a complexidade destes modelos. Atualização contínua da base de dados e aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos que lidem com a complexidade destes modelos. Atualização contínua da base de dados e aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Desenvolvimento de modelos de expansão com decisão sob incerteza na Temática Modelos de curto e médio prazo	Fatores portadores de futuro	A modelagem da incerteza nos modelos de planejamento da expansão já é bem definida. O custo computacional da incorporação das fontes de incerteza é alto.	Nos modelos existentes, várias fontes de incerteza já são modeladas. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre.	Nos modelos existentes, várias fontes de incerteza já são modeladas. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre. Mapeamento do estado da arte das tecnologias de energia.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos e de se investir em capacidade computacional. Desenvolvimento de modelos que incorporem incertezas. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos e de se investir em capacidade computacional. Desenvolvimento de modelos que incorporem incertezas. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos e de se investir em capacidade computacional. Adoção no planejamento de modelos que incorporem incertezas. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 6.3.2 Temática: Modelos de longo prazo (acima de 20 anos)

As rotas consideradas na temática modelos de longo prazo refletem a necessidade de aperfeiçoamento dos modelos de planejamento da expansão. Cada uma delas reflete um conjunto de estudo de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### **Roadmap tecnológico**

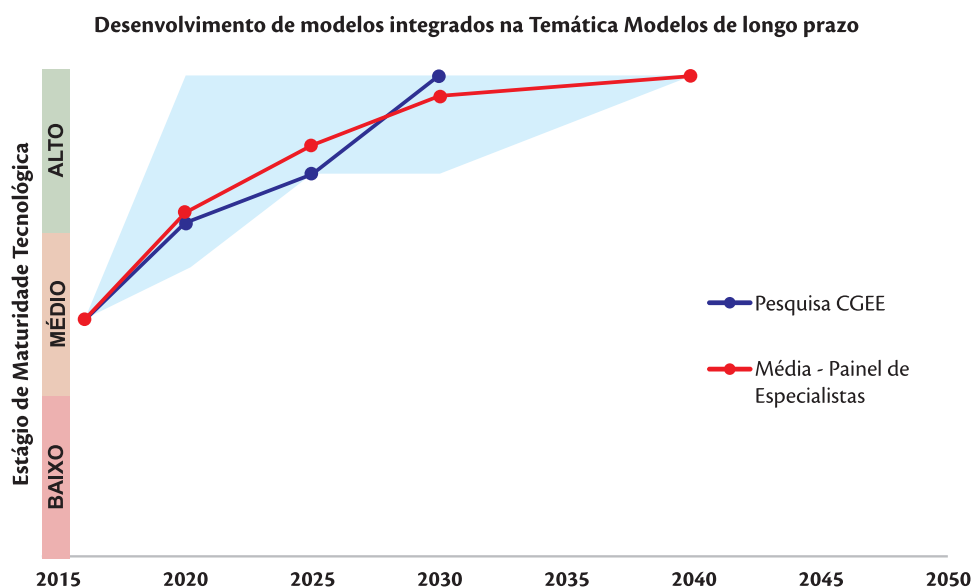
##### *Rota 1 - Desenvolvimento de modelos integrados na temática modelos de longo prazo*

A exemplo dos modelos de curto e médio prazo, na métrica construção de base de dados, também foi considerado que, na rota desenvolvimento de modelos integrados, é necessário o mapeamento completo de todos os recursos energéticos disponíveis no país até 2020. Em seguida, é necessário mapear os potenciais exportadores de recursos energéticos não produzidos no país. Essa base de dados deve ser atualizada continuamente para que os modelos de planejamento integrado de recursos energéticos produzam resultados confiáveis.

Conforme mencionado, para a métrica desenvolvimento de algoritmos o nível de detalhamento exigido para os modelos de longo prazo é menor. Assim, é possível ter essa modelagem disponível em 2020. Em seguida, é necessário iniciar os testes para que a ferramenta esteja disponível para uso em 2025.

Da mesma forma que nos modelos de curto e médio prazo, para a métrica aumento da capacidade de processamento computacional, com o desenvolvimento de algoritmos que minimizem o custo computacional, o aumento da capacidade de processamento é uma linha de pesquisa que não pode ser descontinuada, pois sempre haverá demanda por maior capacidade de processamento em todas as rotas e em todas as áreas do conhecimento.

No Gráfico 41, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota desenvolvimento de modelos integrados na temática modelos de longo prazo.



**Gráfico 41** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos Integrados na Temática Modelos de Longo Prazo

Fonte: Elaboração própria.

A formulação dos modelos de planejamento da expansão de longo prazo também é bem definida. Dentre eles, podem-se citar: Matriz (Modelos de Projeção da Matriz Energética), desenvolvido pelo Cepel; MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético), desenvolvido pela Coppe/UFRJ; além dos modelos internacionais MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact*), desenvolvido pelo IIASA; e MARKAL (MARKet ALlocation), desenvolvido pelo ETSAP.

No caso específico de planejamento integrado, os modelos de longo prazo são mais comumente usados no Brasil. A EPE, no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, utilizou o MELP (Modelo de Expansão de Longo Prazo), desenvolvido pelo Cepel. Há a intenção de utilizar o Matriz, mas, após o PNE 2030, nenhum outro plano de longo prazo foi publicado.

Na interpretação da evolução da maturidade da rota, é possível notar que o desenvolvimento da rota já está em estágio de maturidade médio, porque já há modelos que aplicam tal metodologia e já em 2025 pode atingir alto estágio de maturidade. Entretanto, na medida em que novas tecnologias passam a ser mais amplamente utilizadas na matriz energética, novos desenvolvimentos serão necessários.

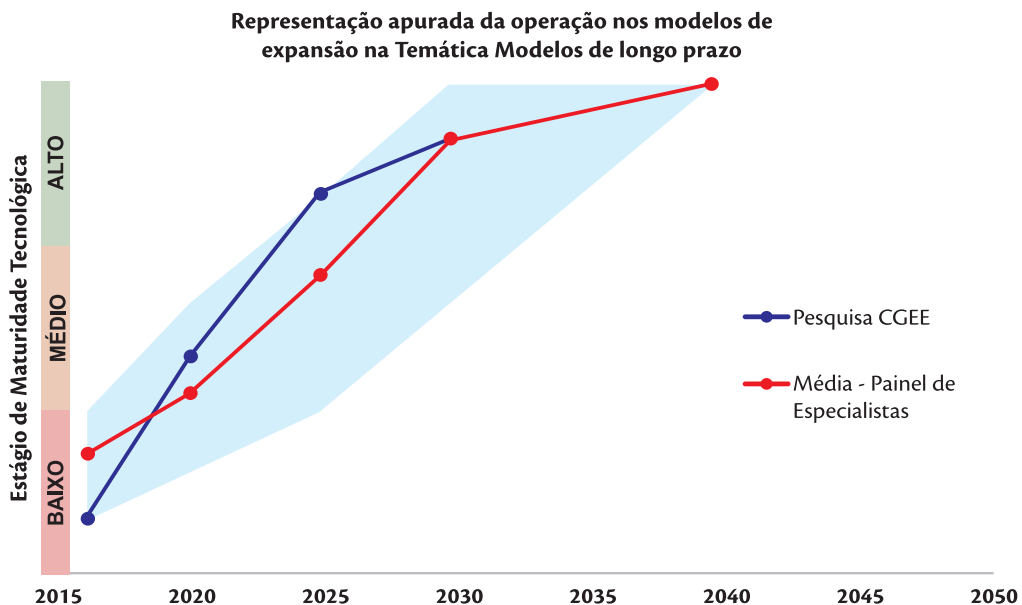
**Rota 2 - Representação apurada da operação nos modelos de expansão na temática modelos de longo prazo**

Para a métrica construção de base de dados, foi considerado que, na rota representação apurada da operação nos modelos de expansão, é necessário o levantamento de uma série de tempo de dados meteorológicos mais longa, compatível com o horizonte de tempo do modelo. Nesse caso, a montagem dos dados pode ser feita até 2030 para vento e até 2050 para energia solar.

Para a métrica desenvolvimento de algoritmos, na rota representação apurada da operação nos modelos de expansão, foi considerado que, na modelagem das fontes intermitentes, o esforço computacional é bem significativo. Considerando o horizonte de tempo, torna-se ainda mais importante utilizar alternativas como a integração de modelos que representem o detalhamento da geração horária com os modelos de planejamento da expansão. Esta é uma pesquisa que deve ser continuada para que os modelos estejam disponíveis até 2030.

Para a métrica aumento da capacidade de processamento computacional, na rota representação apurada da operação nos modelos de expansão, da mesma forma que nos modelos de curto e médio prazo, é necessário desenvolver algoritmos que minimizem o custo computacional, e o aumento da capacidade de processamento é uma linha de pesquisa que não pode ser descontinuada, pois sempre haverá demanda por maior capacidade de processamento em todas as rotas e em todas as áreas do conhecimento.

No Gráfico 42, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota representação apurada da operação nos modelos de expansão na temática modelos de longo prazo.



**Gráfico 42** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Representação Apurada da Operação nos Modelos de Expansão na Temática Modelos de Longo Prazo

Fonte: Elaboração própria.



A formulação dos modelos de planejamento da expansão de longo prazo também é bem definida. Dentre eles, podem-se citar: Matriz (Modelos de Projeção da Matriz Energética), desenvolvido pelo Cepel; MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético), desenvolvido pela Coppe/UFRJ; além dos modelos internacionais MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact*), desenvolvido pelo IIASA, e MARKAL (MARKet ALlocation), desenvolvido pelo ETSAP.

A evolução da maturidade da rota mostra que, no caso da modelagem das fontes intermitentes, da mesma forma que nos modelos de curto e médio prazo, ainda é necessária muita pesquisa para que se ganhe maturidade tecnológica. Há também grande dependência de uma base de dados robusta, que só vai acontecer na medida em que as fontes intermitentes ganhem maior participação na matriz energética.

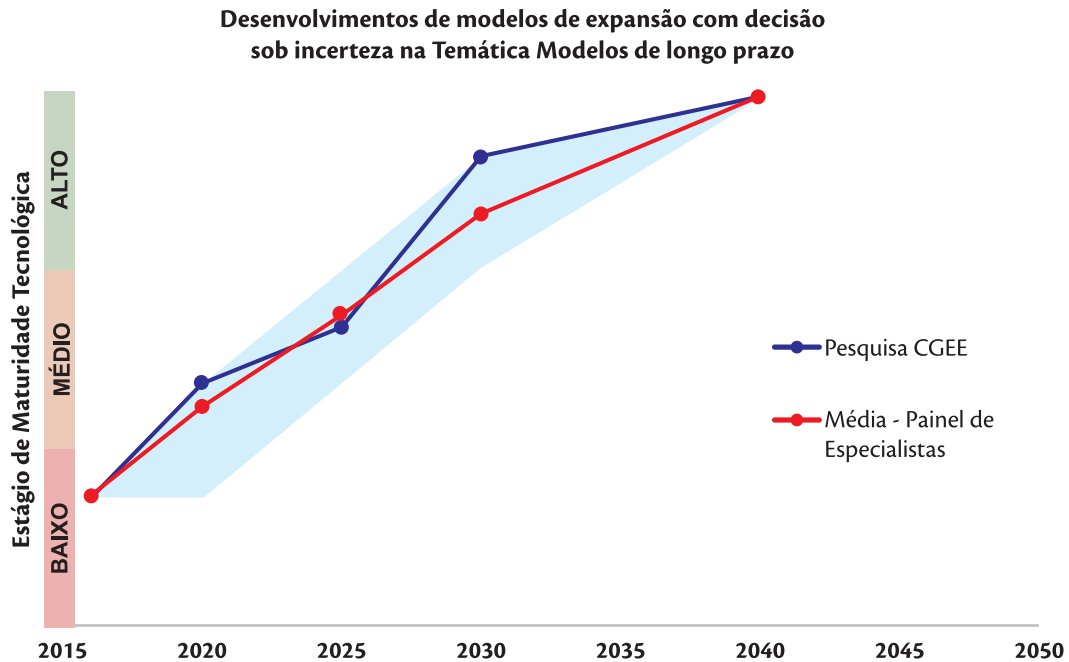
### ***Rota 3 - Desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza na temática modelos de longo prazo***

Para a métrica construção de base de dados, na rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza, o nível de incerteza é muito grande, de forma que o nível de detalhamento deve ser reduzido. De qualquer forma, é necessário também fazer um levantamento das fontes de incerteza no planejamento da expansão, como demanda, custo do capital, hidrologia, regime de ventos, incidência solar, desenvolvimento tecnológico etc. Esta é uma necessidade imediata, ou seja, horizonte 2020. A partir de 2030, essa base de dados também deve ser atualizada continuamente.

Para a métrica desenvolvimento de algoritmos, na rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza, no caso dos modelos de decisão sob incerteza, além dos problemas computacionais, há a dependência do desenvolvimento das outras rotas. Assim, a adoção desse tipo de modelo só deve ocorrer entre 2030 e 2050.

Para a métrica aumento da capacidade de processamento computacional, na rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza, da mesma forma que nos modelos de curto e médio prazo, como no desenvolvimento de algoritmos que minimizem o custo computacional, o aumento da capacidade de processamento é uma linha de pesquisa que não pode ser descontinuada, pois sempre haverá demanda por maior capacidade de processamento em todas as rotas e em todas as áreas do conhecimento.

No Gráfico 43, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza na temática modelos de longo prazo.



**Gráfico 43** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos de Expansão com Decisão sob Incerteza na Temática Modelos de Longo Prazo

Fonte: Elaboração própria.

A formulação dos modelos de planejamento da expansão de longo prazo também é bem definida. Dentre eles, podem-se citar: Matriz (Modelos de Projeção da Matriz Energética), desenvolvido pelo Cepel; MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético), desenvolvido pela Coppe/UFRJ; além dos modelos internacionais MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact*), desenvolvido pelo IIASA, e MARKAL (Market Allocation), desenvolvido pelo ETSAP.

Na evolução da maturidade da rota, os modelos de decisão sob incerteza devem ser considerados e, nesse caso, serão desenvolvidos mais rapidamente, pois a exigência de detalhamento é menor.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 24, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.





**Tabela 24** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos de Longo Prazo (acima de 20 anos) da Macromatemática Modelos de Planejamento da Expansão

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos de longo prazo (Acima de 20 anos)	Desenvolvimento de modelos Integrados na Temática Modelos de longo prazo (acima de 20 anos)	Fatores portadores de futuro	A formulação dos modelos de planejamento da expansão já é bem definida. As instituições que desenvolvem estes modelos estão, normalmente, no meio acadêmico.	Há várias instituições no Brasil e no Mundo que desenvolvem estes modelos. Mapeamento completo dos recursos energéticos nacionais. Adoção no planejamento de modelos que representem todas as cadeias energéticas. Necessidade de estudos para a melhoria da capacidade de processamento dos computadores.	Há várias instituições no Brasil e no Mundo que desenvolvem estes modelos. Mapeamentos dos potenciais exportadores de recursos energéticos. Aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores.	A EPE adota modelos de longo prazo nos PNE. Atualização contínua da base de dados. Aperfeiçoamento contínuo dos modelos e dos processadores.	A EPE adota modelos de longo prazo nos PNE. Atualização contínua da base de dados. Aperfeiçoamento contínuo dos modelos e dos processadores.	A EPE adota modelos de longo prazo nos PNE. Atualização contínua da base de dados. Aperfeiçoamento contínuo dos modelos e dos processadores.
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos de longo prazo (Acima de 20 anos)	Representação apurada da operação nos modelos de expansão na Temática Modelos de longo prazo	Fatores portadores de futuro	A formulação da operação nos modelos de expansão já é bem definida. Necessidade de geração de séries sintéticas de vento e de radiação solar.	Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade da modelagem das fontes intermitentes. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre. Necessidade de estudos para a melhoria da capacidade de processamento dos computadores.	Há capacitação técnica no Brasil para lidar com a complexidade da modelagem das fontes intermitentes. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre. Aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos que lidem com a complexidade desses modelos. Construção de séries sintéticas de vento. Adoção no planejamento de modelos que incorporem geração intermitente, o armazenamento de energia e a geração distribuída. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos que lidem com a complexidade desses modelos. Construção de séries sintéticas de vento. Adoção no planejamento de modelos que incorporem geração intermitente, o armazenamento de energia e a geração distribuída. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos que lidem com a complexidade destes modelos. Construção de séries sintéticas de energia solar. Aperfeiçoamento contínuo dos modelos e processadores.
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO		ALTO

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos de longo prazo (Acima de 20 anos)	Desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza na Temática Modelos de longo prazo	Fatores portadores de futuro	A modelagem da incerteza nos modelos de planejamento da expansão já é bem definida. O custo computacional da incorporação das fontes de incerteza é alto.	Nos modelos existentes, várias fontes de incerteza já são modeladas. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre. Necessidade de estudos para a melhoria da capacidade de processamento dos computadores.	Nos modelos existentes, várias fontes de incerteza já são modeladas. A base de dados de novas tecnologias e das novas fontes intermitentes ainda é pobre. Mapeamento das fontes de incerteza no planejamento da expansão. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos e de se investir em capacidade computacional. Mapeamento do estado da arte das tecnologias de energia. Desenvolvimento de modelos que incorporem incertezas. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos e de se investir em capacidade computacional. Mapeamento do estado da arte das tecnologias de energia. Desenvolvimento de modelos que incorporem incertezas. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.	Necessidade de desenvolvimento de algoritmos e de se investir em capacidade computacional. Adoção no planejamento de modelos que incorporem incertezas. Aperfeiçoamento contínuo dos processadores.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

## 6.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 25.



**Tabela 25** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotecânica Modelos de Planejamento da Expansão

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Representação apurada da operação nos modelos de expansão	Modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos)
2	Desenvolvimento de modelos Integrados	Modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos)
3	Desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza	Modelos de curto e médio prazo (5 a 15 anos)
4	Representação apurada da operação nos modelos de expansão	Modelos de longo prazo (acima de 20 anos)
5	Desenvolvimento de modelos Integrados	Modelos de longo prazo (acima de 20 anos)
6	Desenvolvimento de modelos Integrados	Modelos de longo prazo (acima de 20 anos)

Fonte: Elaboração própria.

A rota representação apurada da operação nos modelos de expansão na temática modelos de curto e médio prazo foi apontada pelos especialistas como a rota prioritária, pois envolve questões de penetração de fontes intermitentes, REI e outras novas tecnologias que requerem que os modelos estejam preparados para lidar com essa complexidade o mais rápido possível.

A rota desenvolvimento de modelos integrados foi apontada como prioritária, após a rota anterior, não por ser mais importante que as outras, mas pela formulação ser bem definida, sendo, dessa maneira, uma questão de decisão política de implementá-las.

A rota desenvolvimentos de modelos de expansão com decisão sob incerteza é igualmente importante, sendo necessário investir no seu desenvolvimento, haja vista a velocidade da transição energética que requer mais fontes intermitentes e isso aumentará as incertezas no planejamento da expansão de curto e médio prazo.

A sequência da priorização das outras rotas é idêntica às acima apontadas. A única diferença está no fato de que as rotas da temática de curto e médio prazo são mais urgentes, pois os planos decenais (de curto prazo) são publicados anualmente, enquanto os planos nacionais de energia (de longo prazo) são publicados em intervalos de tempo bem maiores.





## Capítulo 7

---





## Capítulo 7

### Macrotemática Modelos Institucionais

A arquitetura institucional do sistema energético brasileiro foi reorganizada para permitir a operação segmentada de sua cadeia produtiva em quatro etapas (geração, transmissão, distribuição e comercialização). Diversas inovações tecnológicas e socioambientais estão provocando disfunções setoriais que comprometem a confiabilidade e a competitividade do sistema elétrico. A arquitetura atual necessita ser reestruturada para que o sistema elétrico possa recuperar a sua trajetória de expansão virtuosa do passado. A macrotemática procura oferecer rotas de pesquisa que possam alcançar esse objetivo. Nela são identificadas quatro temáticas (coordenação, confiabilidade, concorrência e competitividade) para as quais devem ser alocados projetos de pesquisa, dentro de rotas de pesquisa que contemplam as atividades de operação, planejamento e regulação.

A arquitetura institucional do sistema energético brasileiro passou por transformação radical no final do século passado. A cadeia produtiva elétrica foi segmentada em quatro etapas (geração, transmissão, distribuição e comercialização) que operam de forma individualizada. No entanto, essas etapas necessitam atuar de forma cooperativa para que seja garantida a confiabilidade do suprimento de energia. Nessa nova arquitetura, as duas etapas de transporte de energia (transmissão e distribuição) e as concessionárias operam em regime monopolista. As duas pontas da cadeia produtiva (geração e comercialização) operam em regime concorrencial. A concorrência nessas duas pontas é dimensão central para a preservação da competitividade do suprimento elétrico da economia brasileira.

A arquitetura institucional atual garante à União o comando da gestão do sistema elétrico. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) coordena o despacho das centrais e o fluxo da energia nas redes de transmissão; a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) cuida do planejamento da expansão do sistema; a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) atua como regulador das atividades das concessionárias e permissionárias de energia. A valorização do potencial hidrelétrico é elemento central da gestão setorial.

Essa arquitetura está sendo contestada tanto por inovações tecnológicas (geração descentralizada, geração intermitente, tecnologias da informação) quanto pela dinâmica sociopolítica (empoderamento dos consumidores, mudanças climáticas, descentralização político-administrativa). As pressões decorrentes desses fatores exigem mudanças na arquitetura institucional existente que necessitam ser introduzidas para que a confiabilidade e a competitividade do suprimento elétrico sejam preservadas. Dentre essas mudanças, merece destaque a abertura de espaço para a atuação de outras instâncias na governança setorial, tanto de agências do governo federal quanto de governos estaduais.

Os instrumentos e os mecanismos adotados para as tarefas de gestão da operação, de planejamento da expansão e de regulação das atividades dos agentes necessitam ser modificados para acomodar a atuação dessas novas instâncias na governança setorial. Particularmente relevante é a articulação entre as instâncias institucionais da área do setor elétrico com a do gás natural que podem dar origem a “condomínios” energéticos. Nessa nova arquitetura, muito mais complexa, as relações de subordinação entre as instâncias setoriais deverão abrir espaços para mecanismos cooperativos dos agentes (governamentais, não governamentais, econômicos) capazes de acomodar características operacionais e interesses bastante distintos. As concessionárias de distribuição deverão desempenhar papel importante nesse processo.

A macrotemática modelos institucionais pretende oferecer rotas de pesquisa que permitam explorar arquiteturas alternativas capazes de criar incentivos para: i) expansão do sistema; ii) justa compensação financeira dos agentes pelos serviços prestados ao sistema; iii) promoção de inovações tecnológicas; iv) proteção ambiental; v) confiabilidade do suprimento de energia; vi) adequação das tarifas aos ambientes socioeconômicos regionais. O principal desafio é a identificação de mecanismos e instrumentos necessários para a atuação coordenada e cooperativa das instâncias de governança setorial com o objetivo de garantir a confiabilidade do suprimento de energia para a economia brasileira em condições competitivas.

A progressiva ampliação e diversificação das instâncias institucionais envolvidas na gestão do sistema elétrico tornará crescente a sua complexidade institucional. Para responder ao desafio de garantir a funcionalidade técnica e econômica da máquina elétrica, propõe-se que as linhas de pesquisa dessa macrotemática sejam estruturadas em torno de quatro temáticas: coordenação, confiabilidade, concorrência e competitividade. É importante notar que há forte conexão tanto entre as duas primeiras quanto entre as duas últimas temáticas.

## 7.1 Visão de futuro

### 7.1.1 Cenário setorial

São diversos os sinais de esgotamento da atual arquitetura institucional do sistema elétrico. Apesar





de contar com volumosa capacidade para acumular água em seus reservatórios, o sistema opera sob permanente risco de racionamento de energia. Além disso, os fluxos financeiros setoriais têm sido objeto de conflitos diversos que mobilizam instâncias judiciais. Essa situação compromete tanto a confiabilidade quanto a competitividade do suprimento elétrico no país.

O Ministério de Minas e Energia (MME) vem declarando publicamente que pretende realizar profunda revisão da atual situação setorial com o objetivo de superar esses problemas. Por outro lado, os agentes do sistema elétrico também sinalizam a necessidade de revisão da arquitetura institucional do sistema para acomodar as rupturas provocadas na gestão setorial da geração intermitente, da geração distribuída e da crescente participação da geração térmica alimentada com gás natural no parque gerador. É consensual a urgência da realização de um conjunto amplo de estudos necessários para se identificarem novos mecanismos e instrumentos que permitam o compartilhamento da gestão do sistema elétrico. A gestão compartilhada das instâncias de governança do sistema elétrico com outras instâncias de governança é dimensão central dessa macrotecânica.

### 7.1.2 Objetivo geral

Essa macrotecânica tem por objetivo geral identificar opções de arquitetura institucional que contemplem as diferentes instâncias de governança federal, estaduais e não governamentais (sem fins lucrativos).

### 7.1.3 Objetivo específico

Essa macrotecânica deverá avaliar instrumentos e mecanismos necessários para garantir a atuação cooperativa dos agentes com os seguintes objetivos específicos.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

Pesquisar alternativas de governança compartilhada e/ou novos arranjos para a gestão da água, com vistas ao seu uso múltiplo eficiente. Em particular, deverá ser investigada a articulação institucional entre instâncias de governança do meio ambiente em âmbitos federal, estaduais e municipais com o objetivo de avaliar e mitigar e/ou compensar os impactos socioambientais dos projetos elétricos, ajustando-os à política nacional de energia e meio ambiente.

- Promover a articulação entre agências governamentais e não governamentais que venham a se constituir no âmbito da geração distribuída, sazonal ou intermitente e em sistemas de transmissão regionais, com o objetivo de avaliar, mitigar e gerir os riscos dessas atividades;
- Instituir a coordenação da gestão das redes de transmissão e malhas de gasodutos,

- visando explorar as sinergias da operação e expansão dos respectivos mercados;
- Instituir a coordenação entre agências governamentais na formulação de políticas de inovação para o sistema elétrico, com foco na promoção do conteúdo local competitivo dos projetos elétricos;
- Promover a articulação das agências de governança setorial com o Ministério das Relações Exteriores, no que se refere à integração com os sistemas energéticos de países vizinhos.

**Médio prazo (2020-2030):**

- Estudar opções de governança setorial e aprimorar e/ou revisar o papel das instituições.

**Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver instrumentos de inteligência artificial que viabilizem a minimização das interfaces entre as diversas instâncias de governança setorial.

#### 7.1.4 Fundamentação

Depois de mais de meio século operando com empresas reguladas com base no regime econômico custo do serviço, os sistemas elétricos passaram por profunda reorganização de sua arquitetura institucional no final do século passado. Essas reorganizações tiveram por objetivo viabilizar a operação dos sistemas elétricos no regime econômico custo marginal.

Nesse novo regime, a gestão econômica do sistema elétrico deixa de ser operada com base em custos passados para ser determinada por expectativas quanto a custos futuros. A tradicional arquitetura verticalizada em que os consumidores tinham papel passivo na gestão setorial foi reconfigurada para permitir os consumidores definirem suas estratégias energéticas com base na oferta concorrencial de energia por geradores independentes das tradicionais concessionárias de energia elétrica.

Por outro lado, a preocupação crescente com os efeitos ambientais do consumo de combustíveis fósseis (que culminou na adoção do acordo global para mudanças climáticas), ao induzir radical mudança na composição de fontes primárias do sistema elétrico, criou espaço para a participação ativa de novas instâncias na governança setorial. Desde então, o sistema elétrico tem sofrido profundas transformações em sua arquitetura institucional para acomodar as diversas mudanças no ambiente do mercado elétrico.

É muito extensa a literatura que analisa as mudanças na arquitetura institucional do sistema elétrico no Brasil (DE OLIVEIRA, 2007; D'ARAUJO, 2009; HERMES DE ARAUJO, 2006) e no resto do mundo (VICTOR; HELLER, 2009; NEWBERRY, 1999; SURREY, 1996; SIOSHANSI; PFAFFENBERGER, 2006). Merece particular atenção da macrotemática a análise de estruturas institucionais distintas



adotadas em mercados elétricos com características diversas onde são apresentados instrumentos e mecanismos de gestão com seus aspectos positivos e limitações (HUNT; SHUTTLEWORTH, 1996).

No Brasil, a reconfiguração institucional do sistema elétrico foi articulada em torno da gestão dos reservatórios hidrelétricos. Os instrumentos de gestão adotados no regime custo do serviço foram adaptados para operar com base em expectativas futuras e em um conjunto de modelos computacionais que passaram a ser utilizados na definição do preço da energia. Essa solução peculiar difere radicalmente de soluções adotadas em sistemas elétricos que operam com base no custo marginal. Nestes, o preço da energia é determinado por ofertas (quantidades e preços) de geradores, consumidores e comercializadores de energia.

A crescente presença de fontes intermitentes no parque gerador e a perspectiva de forte ampliação da geração distribuída tornam muito mais difícil e complexa a formulação de expectativas para o uso dos recursos energéticos disponíveis que - é importante notar - devem estar subordinadas a limites ambientais não determinados por instâncias do sistema elétrico. Nesse ambiente, a arquitetura institucional do sistema elétrico está fadada a sofrer mudanças profundas que exigem diversos estudos que objetivem identificar mecanismos e instrumentos de coordenação da cadeia produtiva elétrica capazes de garantir a confiabilidade e a competitividade do suprimento elétrico.

## 7.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Com base no cenário geral descrito acima, identificamos as métricas que devem ser adotadas para atender a visão de futuro explicitada na seção anterior. O passo seguinte consistiu na construção da Planilha de Indicadores apresentada, com a qual procurou-se sinalizar a evolução temporal desejável para que sejam alcançados os objetivos perseguidos pela macrotemática modelos institucionais.

A progressiva ampliação e a diversificação das instâncias institucionais envolvidas na gestão do sistema elétrico tendem a aumentar sua complexidade institucional. Esse ambiente tornará mais desafiador o alcance dos dois objetivos centrais da governança setorial: a confiabilidade e a competitividade do suprimento de eletricidade.

O primeiro foco das métricas deve ser o desenvolvimento de metodologias e modelos computacionais com capacidade para processar volumes expressivos de dados. Esses instrumentos

devem ter como diretiva oferecer base sólida de dados e informações para a tomada de decisão dos responsáveis pela gestão do sistema elétrico.

A necessária articulação entre a arquitetura institucional e o arcabouço regulatório adotado para o funcionamento da cadeia produtiva elétrica deve receber especial atenção, assim como os impactos ambientais do sistema elétrico, principalmente no que se refere às mudanças climáticas. Outro item que deve merecer destaque são as oportunidades abertas para mudanças institucionais decorrentes de inovações tecnológicas.

As métricas definidas para o objetivo evolução tecnológica foram: governança compartilhada com a Agência Nacional de Águas (ANA), coordenação com as instâncias de governança do gás natural, integração com sistemas elétricos de países vizinhos e política econômica.

As métricas definidas para o objetivo estratégia setorial foram: ampliação da liberdade de escolha para os consumidores, políticas de incentivos e de subsídios, desigualdades regionais e parcerias público-privadas.

As métricas definidas para o objetivo socioambiental foram: adequação à política de mudanças climáticas, adequação às áreas de proteção ambiental, grupos indígenas.

Para os objetivos produção de CT&I e estrutura de CT&I, não foram definidas métricas.

Para o objetivo indústria e mercado, foram definidas as seguintes métricas: conteúdo local competitivo e inovações tecnológicas.

### **7.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas**

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática Modelos Institucionais consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 44 ao Gráfico 52. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.



### 7.3.1 Temática: Coordenação

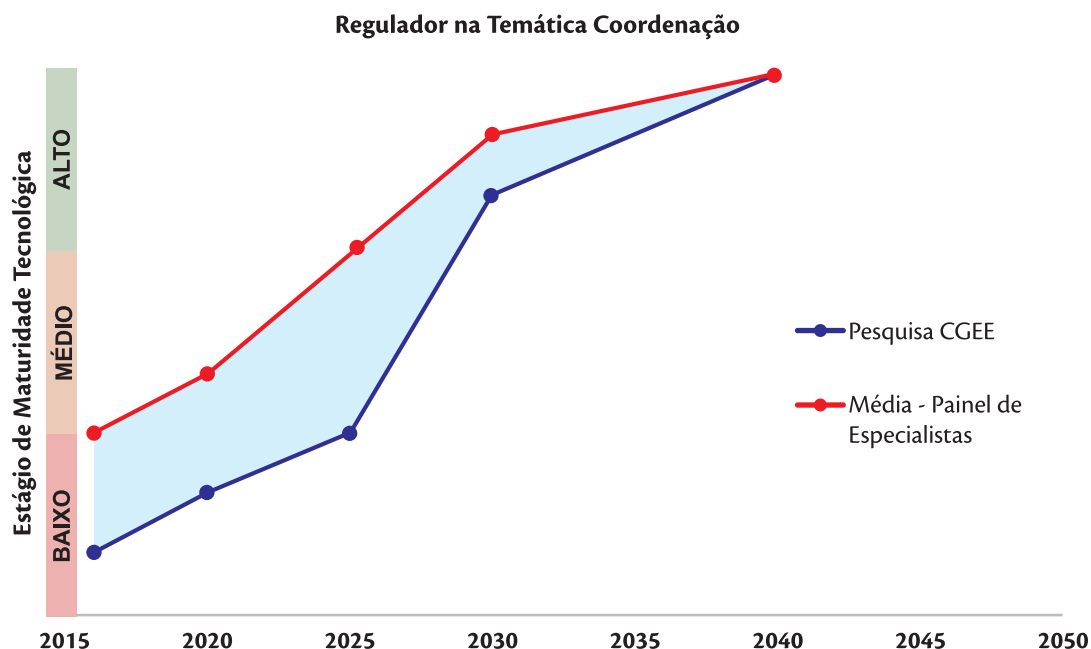
A temática coordenação tem por objetivo desenvolver metodologias e instrumentos operativos que viabilizem a tomada de decisão cooperativa de instâncias decisórias distintas que estejam envolvidas nos processos decisórios setoriais. Está estruturada em torno de três rotas de pesquisa.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Regulador

A rota regulador busca coordenar atividades desenvolvidas pelas instâncias de regulação existentes e as que venham a ser criadas no futuro em níveis regionais. Dentre estas, merecem destaque as decorrentes da difusão progressiva de tecnologias viabilizadoras da operação inteligente (*smart grids*) de redes regionais de transmissão e distribuição.

No Gráfico 44, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota regulador.



**Gráfico 44** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Regulador na Temática Coordenação

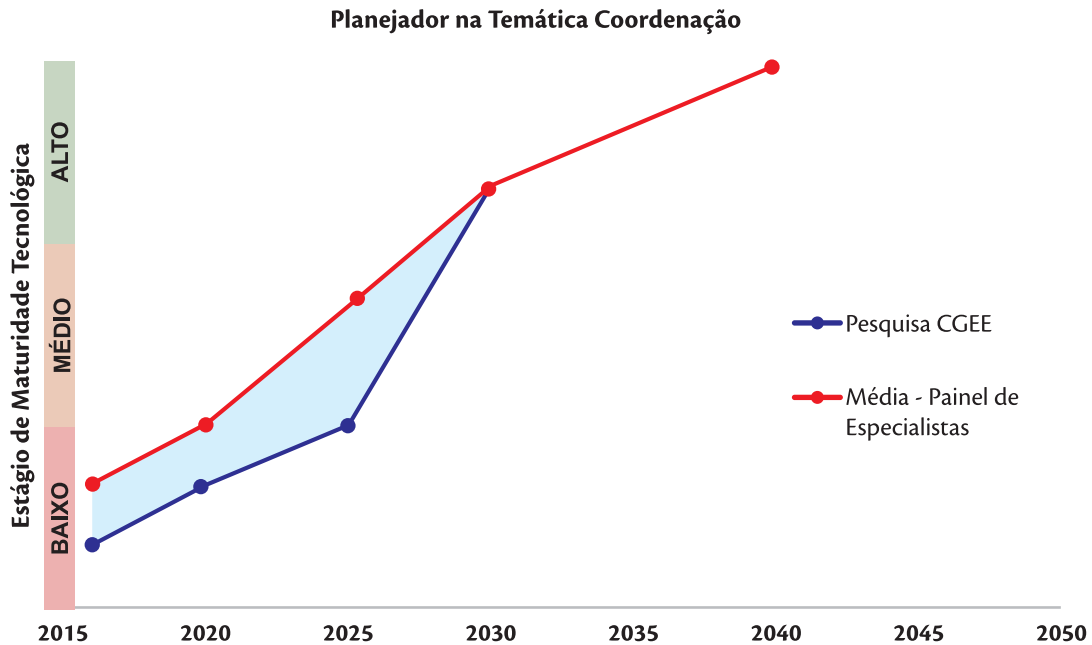
Fonte: Elaboração própria.

A curva Pesquisa CGEE e curva Média - Painel de Especialistas indicaram que o crescimento do estágio de maturidade tecnológica da rota segue padrão linear, atingindo o nível máximo em 2040, muito por conta da necessidade de estudos analíticos dos resultados dos modelos e da necessidade da revisão das normas.

### Rota 2 - Planejador

A segunda rota procura coordenar as atividades de instâncias direta ou indiretamente vinculadas às atividades de planejamento da expansão do sistema elétrico. A coordenação das instâncias de planejamento do sistema elétrico com as instâncias do gás natural e de proteção ambiental merecem especial atenção.

No Gráfico 45, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota planejador.



**Gráfico 45** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Coordenação

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pela curva Pesquisa CGEE e pela curva Média - Painel de Especialistas, que, no curto e no médio prazo, o crescimento do estágio de maturidade da rota tem comportamento exponencial. A partir de 2030, tanto a Pesquisa CGEE quanto os especialistas indicaram que a rota já estava em

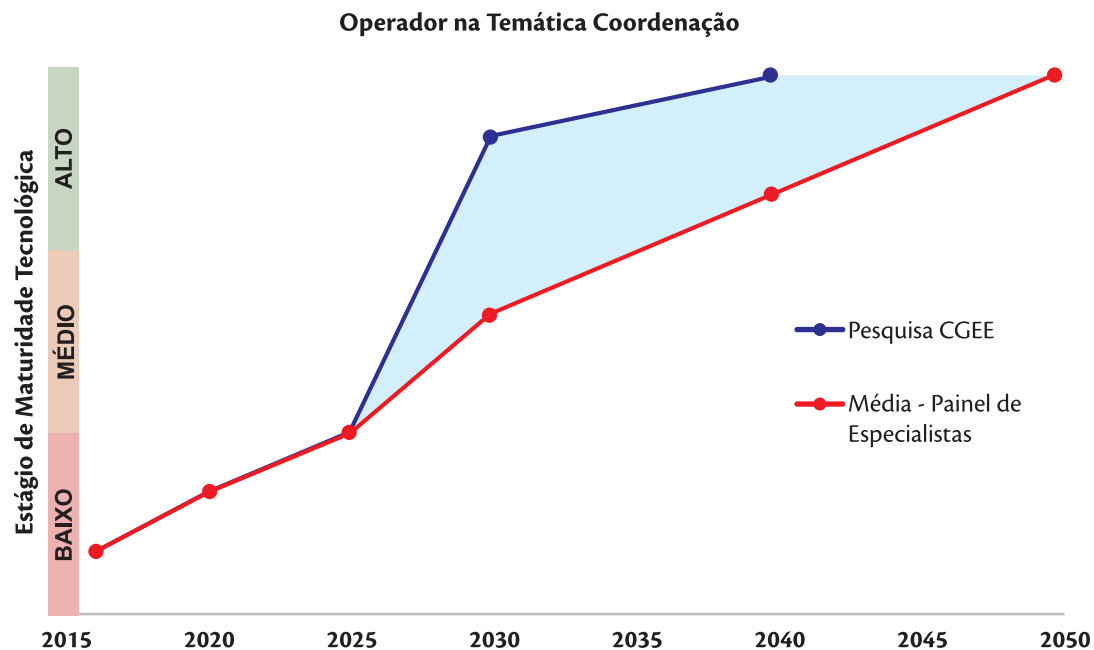


estágio alto de maturidade, mas o estágio máximo é atingido em 2040, por conta da necessidade de estudos analíticos dos resultados dos modelos e das alternativas para revisão dos modelos.

### Rota 3 - Operador

A terceira rota pretende coordenar as atividades da operação da máquina elétrica, oferecendo incentivos e indicando penalidades com o objetivo de limitar os efeitos danosos de eventuais movimentos de agentes atuantes no sistema elétrico.

No Gráfico 46, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota Operador.



**Gráfico 46** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Operador na Temática Coordenação

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pela curva Pesquisa CGEE e pela curva Média - Painel de Especialistas que, até 2025, ambas apresentam a mesma evolução de estágio de maturidade da rota. Após 2025, a curva Pesquisa CGEE apresenta crescimento do estágio de maturidade mais rápido do que o considerado na curva Média - Painel de Especialistas, pois questões como diversidade de instâncias podem influenciar o crescimento mais rápido ou mais devagar da maturidade.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 26, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 26** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas  
 Coordenação da Macrotemática Modelos Institucionais

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Coordenação	Regulador	Fatores portadores de futuro	Convergência com gás natural. Usos consuntivos da água.		Geração distribuída. Desenvolvimento das REI.		Sistemas regionais de energia. Mudanças climáticas.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Planejador	Fatores portadores de futuro	Judicialização. Ampliação do mercado livre.		Estudos de inventários. Licenciamento ambiental.		Política energética. Mudanças climáticas.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Operador	Fatores portadores de futuro	Serviços ancilares. Custos afundados.		Determinação de penalidades e incentivos. Desenvolvimento das REI.		Inteligência artificial. Diversidade de instâncias.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 7.3.2 Temática: Concorrência

Essa temática tem por meta induzir a concorrência entre os agentes atuantes no sistema elétrico. Está organizada em torno de duas rotas de pesquisa.

#### Roadmap tecnológico

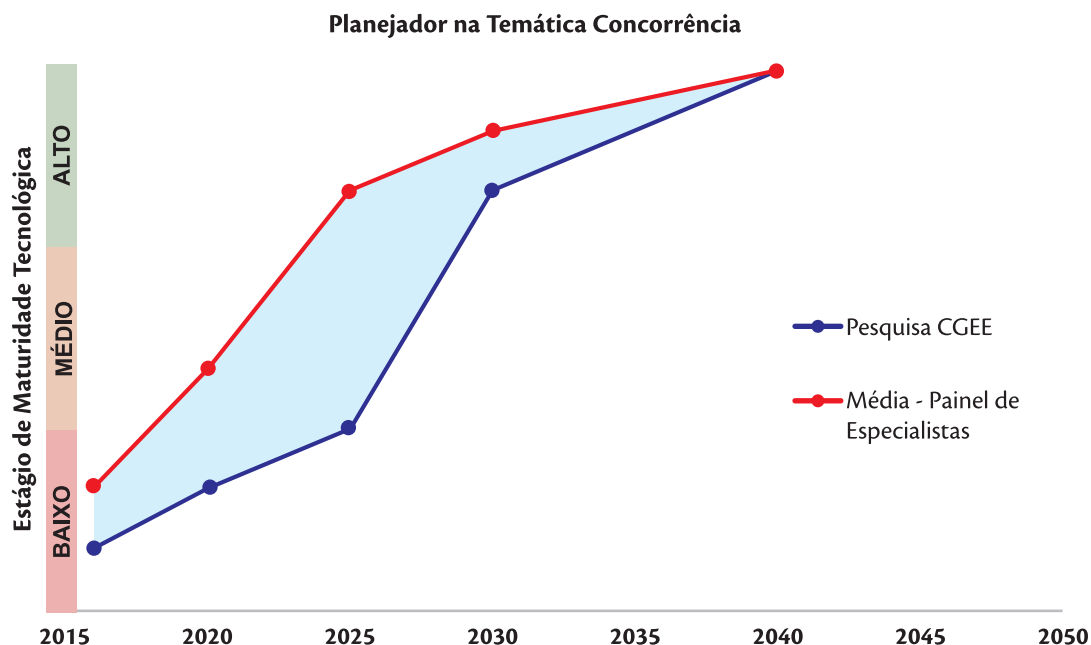
##### Rota 1 - Planejador

A primeira rota busca explorar o papel das instâncias de planejamento na indução da atuação concorrencial dos agentes setoriais. Metodologias e instrumentos que podem ser adotados na fixação de preços devem receber especial atenção nessa rota de pesquisa.





No Gráfico 47, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota planejador.



**Gráfico 47** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Concorrência

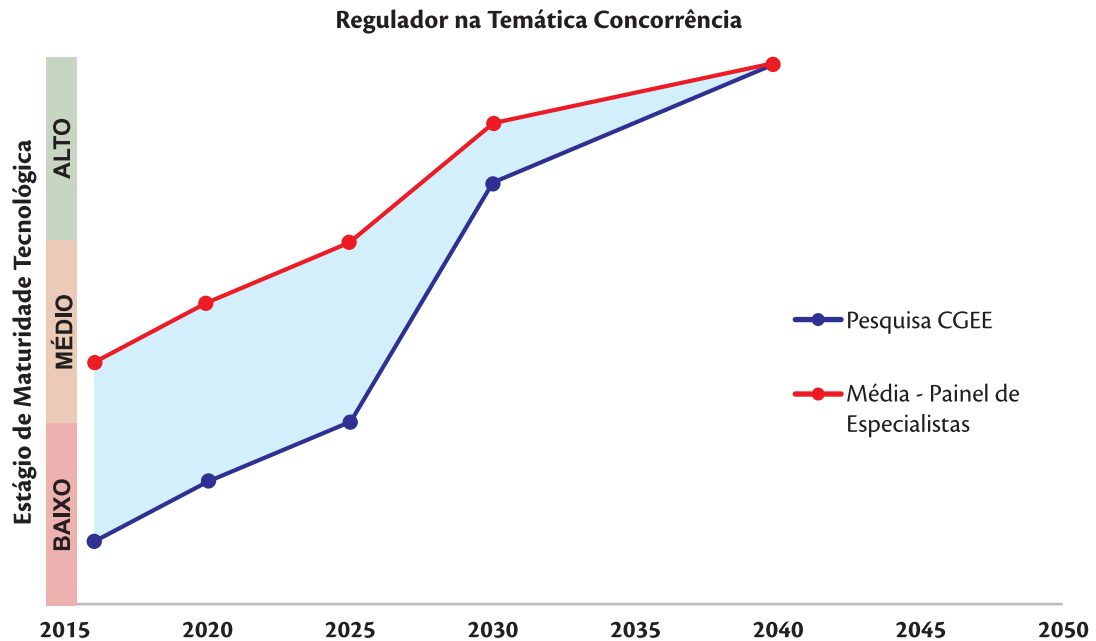
Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pela curva Pesquisa CGEE, que o crescimento no estágio de maturidade se dá de forma mais linear, chegando ao estágio máximo em 2040. A curva Média - Painel de Especialistas indica crescimento mais exponencial, começando em um estágio mais alto e atingindo o estágio máximo também em 2040, por conta da necessidade no longo prazo do desenvolvimento para tornar viável a expansão hidrelétrica.

### *Rota 2 - Regulador*

A segunda rota procura induzir as instâncias de regulação a se dedicarem ao ambiente concorrencial criado por suas normas e regulamentos. A liberdade de acesso às redes de transporte de energia deve ser um dos focos de atenção dessa rota.

No Gráfico 48, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota regulador.



**Gráfico 48** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Regulador na Temática Concorrência  
 Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pelas curvas Pesquisa CGEE e Média - Painel de Especialistas, que o estágio de maturidade cresce de forma linear, sendo que o maior crescimento ocorre no período de médio prazo. No longo prazo, o estágio de maturidade já está alto e o estágio máximo é atingido em 2040, por conta da necessidade de desenvolvimento no longo prazo de precificação da água, gás e de mercados regionais e vizinhos.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 27, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 27** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Concorrência da Macrotemática Modelos Institucionais

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Concorrência	Planejador	Fatores portadores de futuro	Gestão de reservatórios. Geração intermitente.		Sistemas regionais de transmissão. Geração distribuída.		Gestão de riscos. Tratamento de incertezas.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Regulador	Fatores portadores de futuro	Ampliação do mercado livre. Fontes intermitentes.		Geração distribuída. Desenvolvimento das REI.		Renovação das concessões. Incentivos para investimentos.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 7.3.3 Temática: Confiabilidade

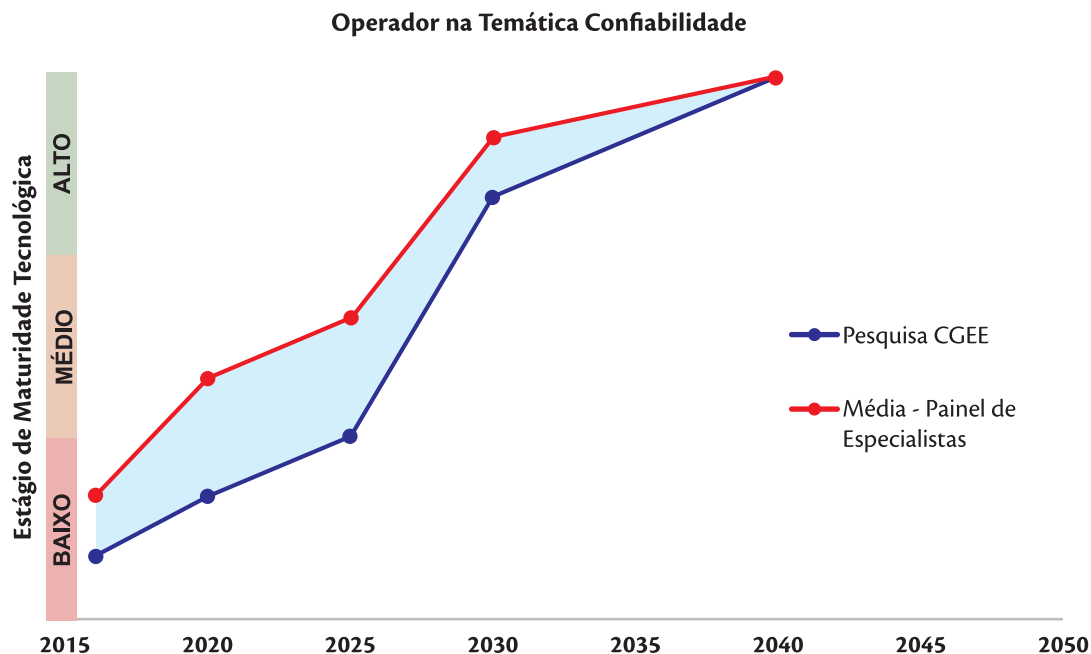
Essa temática tem por objetivo central desenvolver metodologias e instrumentos operativos que garantam a confiabilidade do suprimento elétrico, tendo como perspectiva a relativa autonomia das diversas instâncias que atuam na governança setorial. Ela está estruturada em torno de duas rotas de pesquisa.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Operador

A primeira rota tem seu foco nas instâncias que determinam a operação da máquina elétrica. Seu nexa central é a gestão de diversas formas de estocagem de energia como mecanismo de minimização de riscos sistêmicos.

No Gráfico 49, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota operador.



**Gráfico 49** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Operador na Temática Confiabilidade

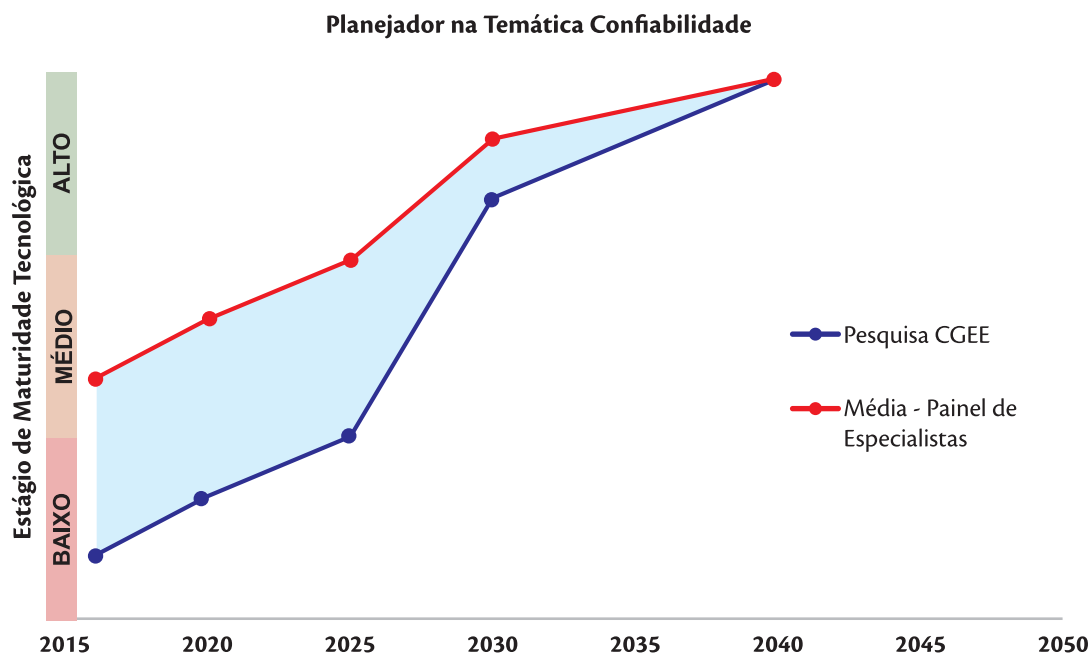
Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise das duas curvas, que o crescimento do estágio de maturidade é mais acentuado a partir do médio prazo. Em cada período (curto, médio e longo prazo), o crescimento é dado linearmente com inclinação diferenciada. O nível máximo de maturidade é atingido em 2040 e há necessidade de desenvolvimento no longo prazo de modelos de gestão de reservatórios e readequação de serviços ancilares.

#### *Rota 2 - Planejador*

A segunda rota procura induzir as instâncias de planejamento a dedicar atenção aos efeitos de suas decisões de expansão de atividades sobre a confiabilidade do sistema elétrico.

No Gráfico 50, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota planejador.



**Gráfico 50** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Confiabilidade

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise das duas curvas, que o crescimento do estágio de maturidade é mais acentuado a partir do médio prazo. Em cada período (curto, médio e longo prazo), o crescimento é dado linearmente com inclinação diferenciada. O nível máximo de maturidade é atingido em 2040 e há necessidade de desenvolvimento no longo prazo de expansão da reserva e expansão das reservas de gás natural.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 28, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 28** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas  
Confiabilidade da Macrotemática Modelos Institucionais

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Confiabilidade	Operador	Fatores portadores de futuro	Convergência eletricidade-gás. Acesso aos reservatórios de gás natural.		Sistemas regionais de transmissão. Mitigação de riscos sistêmicos.		Difusão de veículos elétricos. Desenvolvimento das REI.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Planejador	Fatores portadores de futuro	Geração térmica. Usos consuntivos da água.		Inventário de recursos energéticos. Desigualdades regionais.		Redes de distribuição subterrâneas. Possibilidades de financiamentos.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 7.3.4 Temática: Competitividade

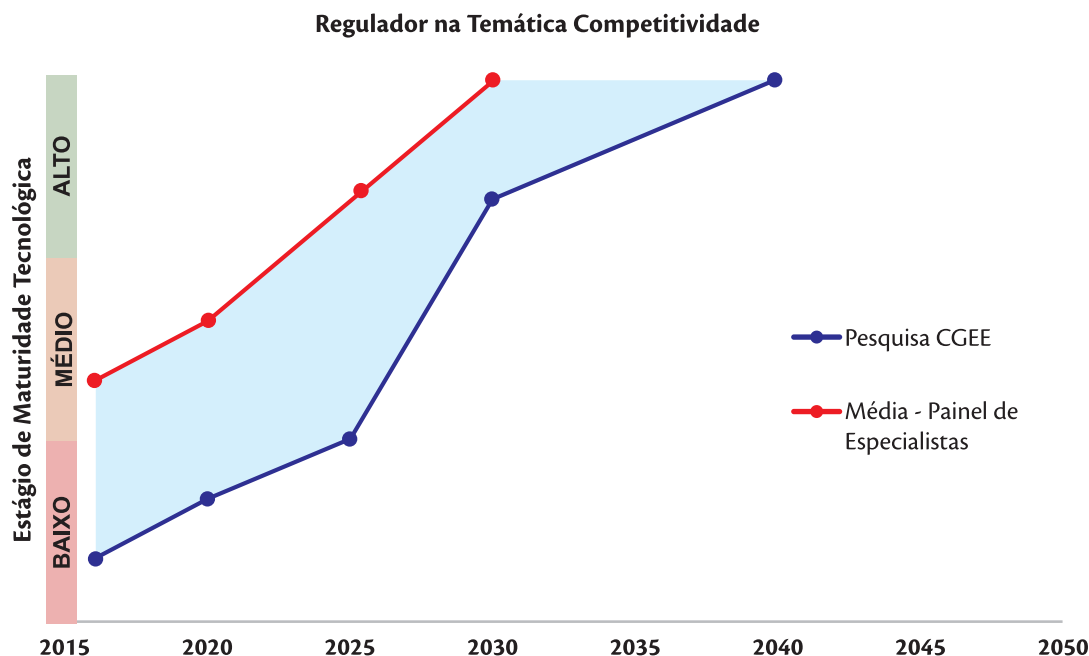
Essa temática tem por meta induzir a competitividade do suprimento de energia para os usuários do sistema elétrico. Também está organizada em torno de duas rotas de pesquisa.

#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Regulador*

A primeira rota tem seu foco nas instâncias que regulam a operação da máquina elétrica. Seu nexos central é a precificação da energia, tendo como perspectiva seus efeitos sociais e regionais.

No Gráfico 51, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota regulador.



**Gráfico 51** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Regulador na Temática Competitividade

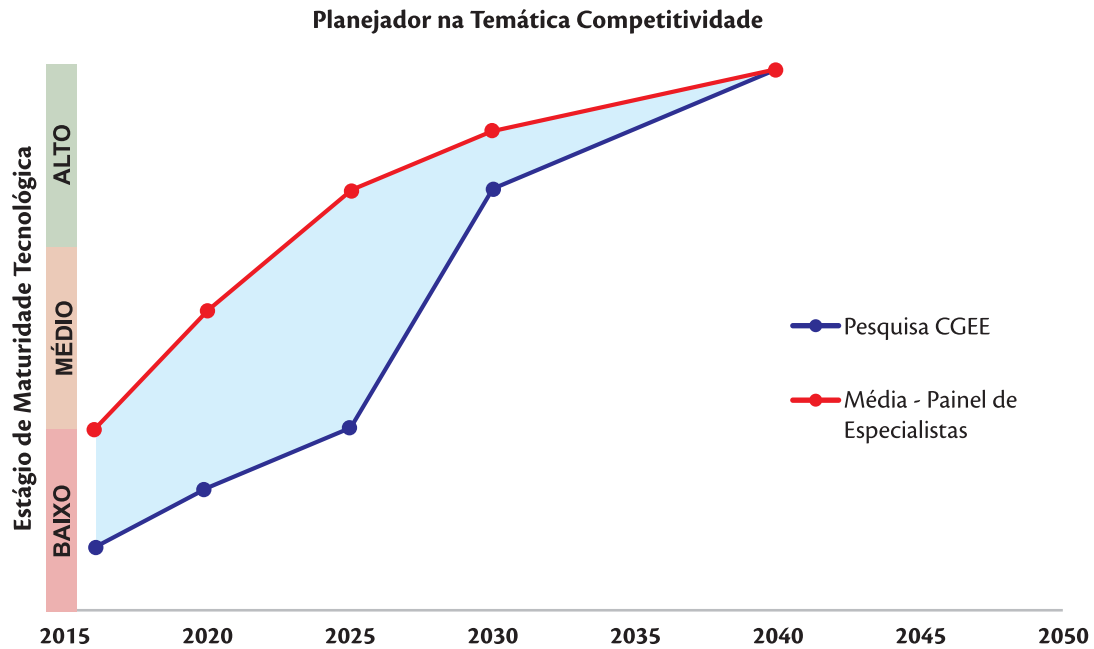
Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise da curva Pesquisa CGEE, que o crescimento do estágio de maturidade é linear, sendo que a curva tem inclinações diferentes em cada período (curto, médio e longo prazo) e o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040. A curva Média - Painel de Especialistas tem praticamente apenas uma inclinação para o período de curto e médio prazo e atinge o estágio máximo de maturidade em 2030, indicando que os especialistas consideraram que os objetivos da rota serão atingidos no médio prazo. Fatores importantes para evolução da rota são o preço *spot*, os sinais locacionais da rede e a necessidade de expansão de mercados regionais.

### *Rota 2 - Planejador*

A segunda rota procura induzir as instâncias de planejamento a dedicar atenção à articulação entre suas decisões e as políticas de conteúdo local e de eficiência energética. A análise das arquiteturas institucionais de nossos países vizinhos deve ser parte relevante das linhas de pesquisa dessa rota.

No Gráfico 52, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota planejador.



**Gráfico 52** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Competitividade

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise da curva Pesquisa CGEE, que o crescimento do estágio de maturidade é linear com diferentes inclinações para os períodos (curto e parte de médio prazo, médio e longo prazo) e o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040. Pela curva Média - Painel de Especialistas, o crescimento do estágio de maturidade tem comportamento exponencial até atingir o estágio máximo de maturidade em 2040. Fatores importantes para evolução são os usos consuntivos da água, os usos alternativos do gás, o comércio norte e os modelos analíticos de estruturas tarifárias.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 29, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.





**Tabela 29** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Competitividade da Macrotemática Modelos Institucionais

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Confiabilidade	Regulador	Fatores portadores de futuro	Desigualdades sociais e regionais. Subsídios tarifários.		Geração distribuída. Diversificação de serviços elétricos.		Mercado spot concorrencial. Difusão de veículos elétricos	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Planejador	Fatores portadores de futuro	Tarifas concorrenciais. Eficiência energética.		Parcerias público-privadas. Conteúdo local.		Modelos de avaliação de impactos. Externalidades do sistema elétrico.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

## 7.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Modelos Institucionais. Conforme explicado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 30.

**Tabela 30** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos Institucionais

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Operador	Coordenação
2	Regulador	Coordenação
3	Planejador	Coordenação
4	Operador	Confiabilidade
5	Planejador	Confiabilidade
6	Regulador	Concorrência
7	Planejador	Concorrência
8	Regulador	Competitividade
9	Planejador	Competitividade

Fonte: Elaboração própria.

A rota operador, na temática coordenação, foi indicada com prioridade um pelo fato de a operação coordenada do sistema elétrico ser essencial para que seja garantida a sua confiabilidade.

Cabe ao regulador dar suporte à atuação regulado, o que justifica o posicionamento da rota regulador, na temática coordenação, na segunda prioridade.

O planejador deve ter por objetivo promover a expansão do sistema sem comprometer a capacidade de coordenação do operador, situação que coloca a rota planejador, na temática coordenação, na terceira linha de prioridade.

Criadas as condições adequadas para a coordenação da máquina elétrica, as rotas operador e planejador, na temática confiabilidade, seguem como prioridades quatro e cinco, para que sejam evitados riscos que possam comprometer a confiabilidade do sistema.

Cabe ao operador garantir o livre acesso dos agentes ao sistema elétrico para que a concorrência possa ser exercida no mercado elétrico e ao planejador propor a expansão do sistema que favoreça a concorrência no mercado. Por isso, na sequência de prioridades, seguem as rotas regulador e planejador, na temática concorrência (prioridades seis e sete respectivamente).

A competitividade do sistema elétrico é resultado das outras duas rotas faltantes. Não que não sejam importantes, mas, considerando toda a arquitetura institucional, foram indicadas as rotas regulador e planejador, na temática competitividade, como prioridades oito e nove, respectivamente.



## Capítulo 8

---





## Capítulo 8

# Macrotemática Regulação

A regulação do sistema energético brasileiro foi profundamente transformada para permitir a substituição do regime tarifário pelo custo do serviço pelo regime custo marginal. Diversas inovações tecnológicas e mudanças socioambientais estão provocando disfunções na regulação setorial que comprometem a confiabilidade e a competitividade do sistema elétrico. É necessária a atualização de normas e regulamentos setoriais para que o sistema elétrico possa recuperar a sua trajetória de expansão virtuosa do passado. Essa nota técnica procura oferecer rotas de pesquisa que possam alcançar esse objetivo. Nela são identificadas quatro temáticas (transporte e armazenagem; mercado atacadista; mercado varejista; inovação) para as quais devem ser alocados projetos de pesquisa, dentro de rotas de pesquisa dedicadas à coordenação/confiabilidade e à concorrência/competitividade a atuação dos agentes setoriais.

A eletricidade é insumo produtivo peculiar. Os fluxos de energia movem-se pelas linhas de transmissão pelos caminhos de menor resistência elétrica, sendo tecnicamente impossível singularizar as relações produtor-consumidor. O sistema elétrico pode ser assimilado a uma máquina gigantesca interligando consumidores e fornecedores em tempo real com o objetivo de atender permanentemente as flutuações de consumo dos seus usuários.

A rede de transmissão é o elo estratégico dos mercados elétricos. Seus milhares de nós devem permanecer com voltagem e frequência oscilatória entre limites técnicos estritos para evitar o colapso do fluxo de energia. Para tanto, as centrais geradoras e as redes de distribuição para os consumidores necessitam estar sincronizadas com as condições de operação do sistema de transmissão. Mais ainda, a máquina elétrica deve manter capacidade de oferta disponível para atender picos no consumo de energia e/ou mudanças não programadas nas condições de oferta do parque gerador.

Na prática, a rede de transmissão oferece serviços ancilares associados ao suprimento de energia. Esses serviços têm por objetivo central garantir a estabilidade do funcionamento da máquina

elétrica. Como beneficiam todos os agentes conectados ao sistema elétrico indistintamente, os serviços ancilares caracterizam-se como bens públicos. Essas especificidades condicionam a regulação dos sistemas elétricos.

No final do século passado, a organização industrial do mercado elétrico brasileiro foi redefinida para permitir sua transição do regime tarifário custo do serviço, baseado em custos do passado, para o regime custo marginal, assentado em expectativas de custos futuros. Nessa nova organização industrial, a gestão setorial passou a ser administrada pelo custo de oportunidade da energia.

As concessionárias deixaram a situação de repassadoras de custos para a posição de ofertantes de serviços elétricos em regime concorrencial. A introdução de pressões competitivas amplia o risco de perda na confiabilidade do suprimento elétrico e torna as inovações tecnológicas uma dimensão determinante da sua competitividade. Essas questões estão ganhando dimensão ampliada em decorrência de um conjunto amplo de inovações tecnológicas (geração descentralizada, geração intermitente, tecnologias da informação) e de mudanças no ambiente sociopolítico (empoderamento dos consumidores, mudanças climáticas, descentralização político-administrativa) que exigem a adoção de novas normas e regulamentos para garantir a operacionalidade da cadeia produtiva elétrica.

As metodologias, os modelos e os mecanismos atualmente utilizados na regulação da máquina elétrica terão que ser modificados para responder a essas inovações e mudanças socioambientais. A compatibilização entre a regulação do setor elétrico e a regulação do gás natural, bem como a acomodação da geração distribuída na regulação das concessionárias de distribuição, deverão ocupar papel importante nesse processo.

A macrotemática pretende oferecer rotas de pesquisa que permitam explorar as alternativas de mudanças regulatórias: i) no transporte e armazenagem de energia; ii) no mercado atacadista; iii) no mercado varejista; iv) na inovação. O principal desafio dessa macrotemática é a identificação de metodologias, mecanismos e instrumentos para a adequação das normas setoriais à ampliação e diversificação da arquitetura institucional setorial com o objetivo de garantir a confiabilidade do suprimento de energia para a economia brasileira em condições competitivas.

A regulação setorial deverá sofrer profundo impacto das inovações tecnológicas (geração descentralizada, geração intermitente, tecnologias da informação) e às mudanças no ambiente sociopolítico (empoderamento dos consumidores, mudanças climáticas, descentralização político-administrativa) sugeridas no cenário setorial especificado anteriormente. A regulação setorial deverá ganhar muita complexidade. Para responder ao desafio de garantir a funcionalidade técnica e econômica da máquina elétrica, propõe-se que as linhas de pesquisa dessa macrotemática sejam estruturadas em torno de quatro temáticas: i) transporte/armazenagem de energia; ii) mercado atacadista; iii) mercado varejista; iv) inovação.



## 8.1 Visão de futuro

### 8.1.1 Cenário setorial

A evolução prevista da demanda de energia elétrica deverá solicitar entre 400 GW e 480 GW de capacidade instalada em 2050. Essa expansão será obtida com incrementos significativos de geração distribuída, de geração intermitente e de centrais alimentadas com gás natural. Pelo ângulo do consumo, o mercado regulado (consumidores cativos) deverá abrir espaço crescente para a participação do mercado livre para viabilizar a resposta da demanda a flutuações nas condições de oferta de energia. Nesse ambiente, as redes de transporte terão que oferecer muita flexibilidade operativa (redes inteligentes) para garantir a confiabilidade do suprimento elétrico. A regulação setorial atual, estruturada para explorar as sinergias do SIN com foco no parque gerador hidrelétrico, será profundamente modificada. Será necessário adotar novos paradigmas regulatórios para operar um sistema mais descentralizado, porém capaz de garantir a confiabilidade do sistema, sem comprometer a competitividade do suprimento de energia.

Entre estas, cabe destacar: i) criação de mercados de capacidade; ii) determinação de preços spot fixados por ofertas de geradores e demandas de consumidores; iii) precificação da escassez de energia; iv) valorização dos estoques de energia (inclusive os descentralizados); v) remuneração das centrais por sua velocidade de resposta ao comando de despacho do ONS; vi) remuneração por benefícios ambientais. O principal desafio é oferecer alternativas regulatórias que propiciem uma cadeia produtiva funcional (geração, transmissão, distribuição e comercialização) com a flexibilidade operacional necessária para garantir o suprimento confiável de energia em condições socioeconômicas competitivas.

### 8.1.2 Objetivo geral

Essa macrotecânica tem por objetivo geral identificar modelos de mercado e mudanças regulatórias necessárias para adequar o sistema elétrico às mudanças no cenário setorial e deverá explorar alternativas regulatórias para a gestão dos riscos decorrentes de novos ambientes de negócios.

### 8.1.3 Objetivo específico

Essa macrotecânica deverá desenvolver novos instrumentos e/ou aperfeiçoar os mecanismos regulatórios com os objetivos específicos a seguir.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Novos paradigmas, baseados em expectativas, que estimulem investimentos em contexto de incerteza;
- Compensação adequada de riscos setoriais decorrentes da difusão de fontes intermitentes e expansão da geração distribuída.

**Médio prazo (2020-2030):**

- Gestão do uso de reservatórios hidrelétricos, respeitando os usos consuntivos prioritários da água;
- Recuperação de custos afundados provocados pela migração de consumidores do mercado regulado para o mercado livre;
- Analisar custos e benefícios sistêmicos e sua alocação entre os agentes do mercado livre e regulado;
- Formulação de políticas elétricas que contemplem a diversidade de situações regionais, em cooperação com os estados da Federação;
- Gestão de sistemas regionais de transmissão, subordinada à gestão do SIN;
- Regulação de entidades coordenadoras do sistema que operam sem fins lucrativos;
- Formação de preços, considerando a participação mais ativa dos agentes do setor, a exemplo do preço spot a partir das ofertas de quantidades e preços de geradores e consumidores;
- Regulação da cláusula de P&D tendo como perspectiva a promoção do conteúdo local competitivo nos equipamentos e serviços de novas tecnologias demandadas pelo sistema;
- Articulação regulatória com instâncias de governança do meio ambiente;
- Harmonização regulatória com instâncias de governança de relações internacionais, visando à progressiva integração de nosso sistema elétrico com os dos países vizinhos;
- Desenvolver pesquisas e estudos sistematizados sobre regulação por incentivo para o SEB;
- Desenvolver mecanismos eficazes de segurança financeiro-sistêmica do mercado de eletricidade.

**Longo prazo (2030-2050):**

- Gestão de riscos dos sistemas elétricos regionais;
- Efeitos regulatórios da difusão de veículos elétricos;
- Valorização dos recursos energéticos locais.

#### 8.1.4 Fundamentação

Depois de mais de meio século operando regulado com base em custos passados, os sistemas elétricos passaram por profunda reforma institucional para viabilizar sua operação com base em expectativas de custos futuros. A internalização dos custos ambientais que anteriormente eram repassados para a sociedade passou a ser dimensão relevante da regulação setorial. E esse tema ganhou dimensão após a adoção do acordo global para mudanças climáticas de que o Brasil é signatário.

A literatura que trata da regulação na indústria elétrica é muito extensa tanto no Brasil (DE OLIVEIRA,





2007; DE OLIVEIRA, 2015; HERMES DE ARAUJO, 2005) quanto no resto do mundo (CREW, 1999; HELM; JENKINSIN, 1998; EYDELAND; WOLYNIECK, 2003; KRISHNASWAMY; STUGGINS, 2007). Merece particular atenção o livro publicado por Soft (2002) que analisa detalhadamente os aspectos técnicos e econômicos da regulação dos sistemas elétricos em arquiteturas institucionais diversas.

No Brasil, a regulação do mercado atacadista de energia está fundamentalmente articulada em torno de um conjunto de modelos computacionais adaptados para operar o esgotamento dos reservatórios hidrelétricos com base em expectativas futuras. Esse pilar condiciona a regulação de todos os elos da cadeia produtiva elétrica, inclusive os incentivos à inovação tecnológica.

A presença crescente de fontes intermitentes no parque gerador, bem como a perspectiva de forte ampliação da geração distribuída, torna muito mais difícil e complexa a formulação de expectativas para o uso dos recursos energéticos disponíveis. Ao se exigir que essas expectativas estejam subordinadas a limites ambientais não determinados por instâncias do sistema elétrico, a complexidade regulatória aumenta exponencialmente.

Nesse ambiente, a regulação do mercado atacadista terá que ser ajustada para incorporar metodologias, mecanismos e instrumentos capazes de garantir a competitividade do suprimento elétrico sem comprometer a confiabilidade de seu suprimento. A ampliação do mercado livre de energia e a determinação do preço da energia a partir de ofertas de preços e quantidades pelos agentes são duas dimensões centrais da renovação da regulação setorial.

## 8.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Com base no cenário geral descrito acima, identificamos as métricas que devem ser adotadas para atender a visão de futuro explicitada na seção anterior. O passo seguinte consistiu na construção da planilha de indicadores com a qual procuramos sinalizar a evolução temporal desejável para que sejam alcançados os objetivos perseguidos pela macrotemática regulação.

A primeira etapa idealizada para as métricas dessa macrotemática é a identificação de metodologias e de modelos que possam potencialmente criar condições para que a adaptação do regime regulatório setorial às inovações tecnológicas (geração descentralizada, geração intermitente, tecnologias da informação) e às mudanças no ambiente sociopolítico (empoderamento dos consumidores, mudanças climáticas, descentralização político-administrativa) que advirão da progressiva ampliação e

a diversificação das instâncias institucionais envolvidas na gestão do sistema elétrico tornará crescente a sua complexidade institucional. Esse ambiente exigirá mudanças significativas na regulação setorial para garantir a confiabilidade e a competitividade do suprimento de eletricidade.

O primeiro foco das métricas deve ser o desenvolvimento de metodologias e modelos computacionais com capacidade para processar volumes expressivos de dados. Esses instrumentos devem ter como diretiva oferecer base sólida de dados e informações para a tomada de decisão dos responsáveis pela regulação do sistema elétrico.

A necessária articulação entre o ambiente regulatório do sistema elétrico e a sua arquitetura institucional em transformação deve receber atenção, em especial no que se refere à política de mudanças climáticas. Outro item que merece especial atenção são os instrumentos e mecanismos regulatórios que visam à promoção de inovações tecnológicas.

As métricas definidas para o objetivo evolução tecnológica foram: geração distribuída, fontes intermitentes, integração energética entre países vizinhos, regionalização do sistema elétrico e convergência com gás natural.

As métricas definidas para o objetivo estratégia setorial foram: meio ambiente, sociedade, incentivos, subsídios, desigualdades regionais, investimentos e tarifas.

As métricas definidas para o objetivo socioambiental foram: mudanças climáticas, proteção ambiental e tarifas sociais.

- Para o objetivo produção de CT&I, foi definida uma métrica: inovações tecnológicas.
- Para o objetivo estrutura de CT&I, não foram definidas métricas.
- Para o objetivo indústria e mercado, foi definida uma métrica: conteúdo local competitivo.

### 8.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática regulação consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 53 ao Gráfico 60. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.



### 8.3.1 Temática: Transporte e armazenagem

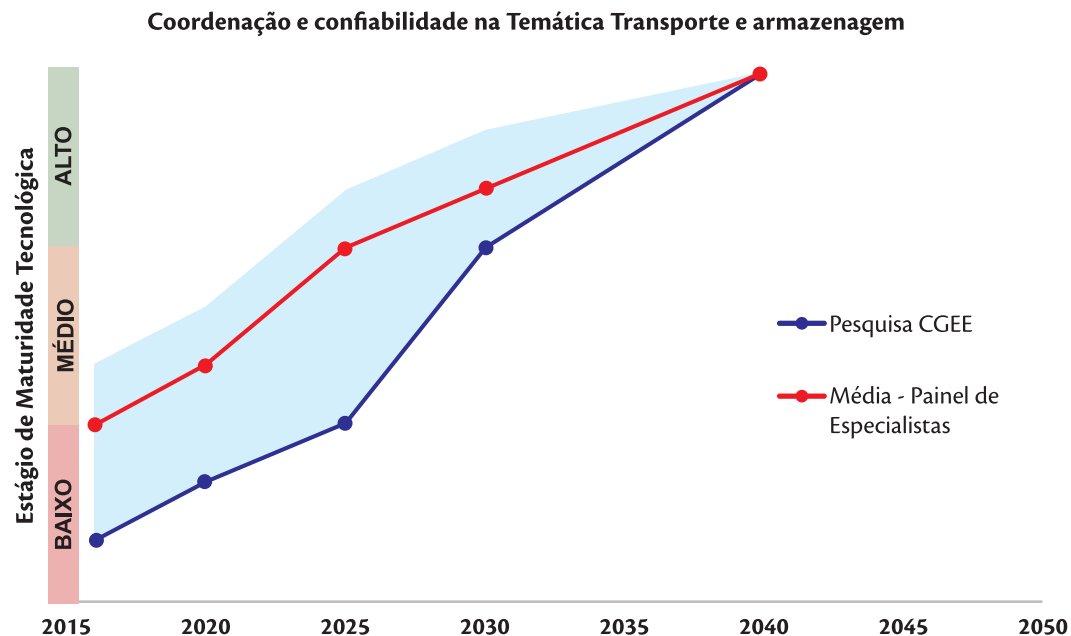
A temática transporte e armazenagem tem por objetivo desenvolver normas e instrumentos regulatórios tanto para a estocagem de energia em suas diversas modalidades quanto para as redes de transporte de energia. Está estruturada em torno de duas rotas de pesquisa.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Coordenação e confiabilidade

A primeira rota (coordenação e confiabilidade) procura formular soluções regulatórias que promovam a cooperação dos sistemas de transporte e armazenagem com o objetivo de promover a confiabilidade do suprimento elétrico. Os mecanismos de gestão dos reservatórios hidrelétricos e a difusão dos *smart grids* merecem particular destaque entre as linhas de pesquisa dessa rota.

No Gráfico 53, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota coordenação e confiabilidade.



**Gráfico 53** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Transporte e Armazenagem

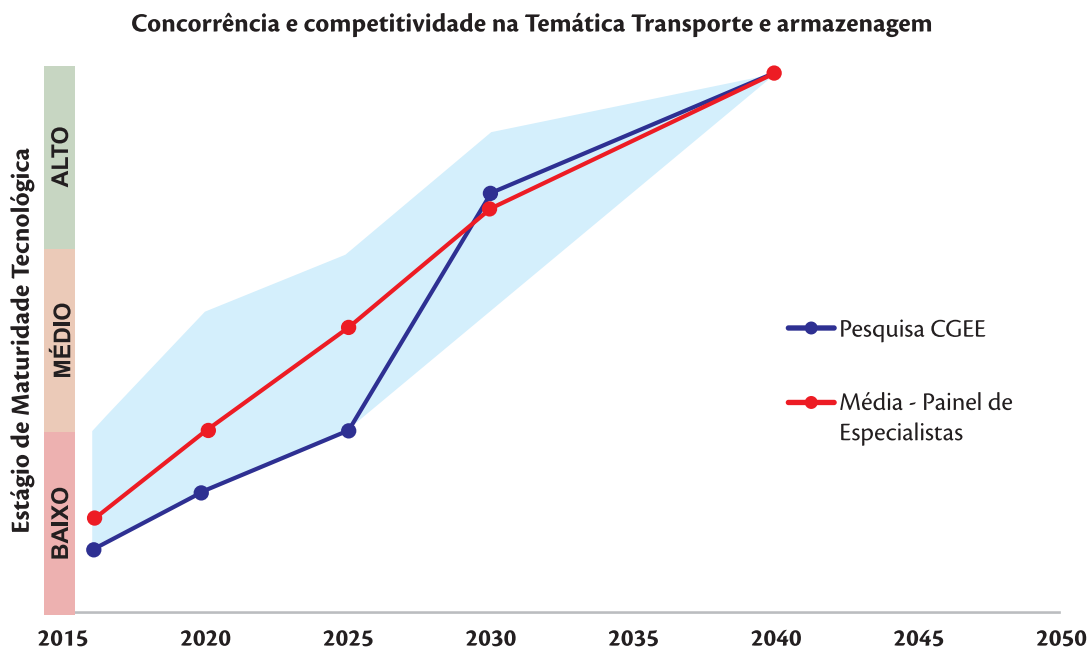
Fonte: Elaboração própria.

O estágio de maturidade tecnológica da rota não se eleva muito até 2025 (época que haverá grande esforço de PD&I) e depois tem crescimento mais consistente e atinge o nível máximo de maturidade em 2040, por conta dos fatores tecnologias de armazenamento de energia, gestão de reservatórios hidrelétricos, gestão de reservatórios de gás natural e uso de baterias.

### Rota 2 - Concorrência e competitividade

A segunda rota (concorrência e competitividade) busca identificar normas regulamentares que induzam a concorrência no sistema elétrico com o objetivo de promover a competitividade do suprimento de energia para o sistema econômico. Nessa rota, merecem ser enfatizadas as linhas de pesquisa que analisam soluções alternativas para a tarifação do acesso aos sistemas de transmissão.

No Gráfico 54, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota concorrência e competitividade.



**Gráfico 54** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Transporte e Armazenagem

Fonte: Elaboração própria.



Pode-se ver, pela curva Pesquisa CGEE, que até 2025 o estágio de maturidade ainda é baixo, depois o crescimento se torna mais consistente, e o estágio máximo é atingido em 2040. Para a curva Média - Painel dos Especialistas, o crescimento de maturidade se mostra linear, e o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040, por conta dos fatores tecnologias de armazenamento de energia, gestão de reservatórios hidrelétricos, gestão de reservatórios de gás natural e uso de baterias.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 31, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 31** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Transporte e Armazenagem da Macrotemática Regulação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Transporte e armazenagem	Coordenação e confiabilidade	Fatores portadores de futuro	Expansão do parque gerador térmico. Redefinição das garantias físicas.		Mudanças climáticas. Desenvolvimento das REI.		Difusão de baterias. Integração com países vizinhos.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	
	Concorrência e competitividade	Fatores portadores de futuro	Gestão conjunta de reservatórios (hidrelétricos e gás natural). Redefinição de lastro para as centrais.		Tarifas nodais. Recuperação de custos afundados.		Difusão de baterias. Integração com países vizinhos. Mudanças climáticas.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 8.3.2 Temática: Mercado atacadista

Essa temática tem por objetivo central desenvolver normas e instrumentos regulatórios que garantam a eficiência dos fluxos energéticos negociados no mercado atacadista. Também está estruturada em torno de duas rotas de pesquisa.

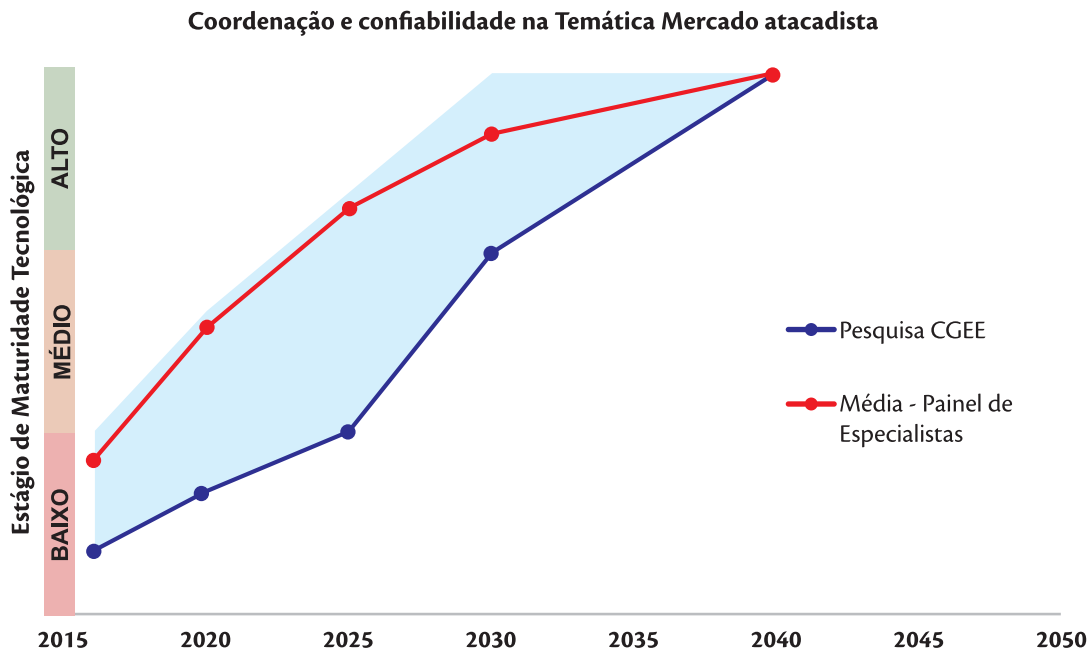
#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Coordenação e confiabilidade

As soluções regulatórias buscadas na primeira rota (coordenação e confiabilidade) objetivam

elaborar normas que promovam a atuação cooperativa dos agentes atuantes no mercado atacadista com o objetivo de evitar riscos para a confiabilidade do suprimento elétrico. A formulação de sistemáticas de lastro para a capacidade de geradores e a mitigação de riscos merecem particular atenção nessa rota.

No Gráfico 55, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota coordenação e confiabilidade.



**Gráfico 55** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Mercado Atacadista

Fonte: Elaboração própria.

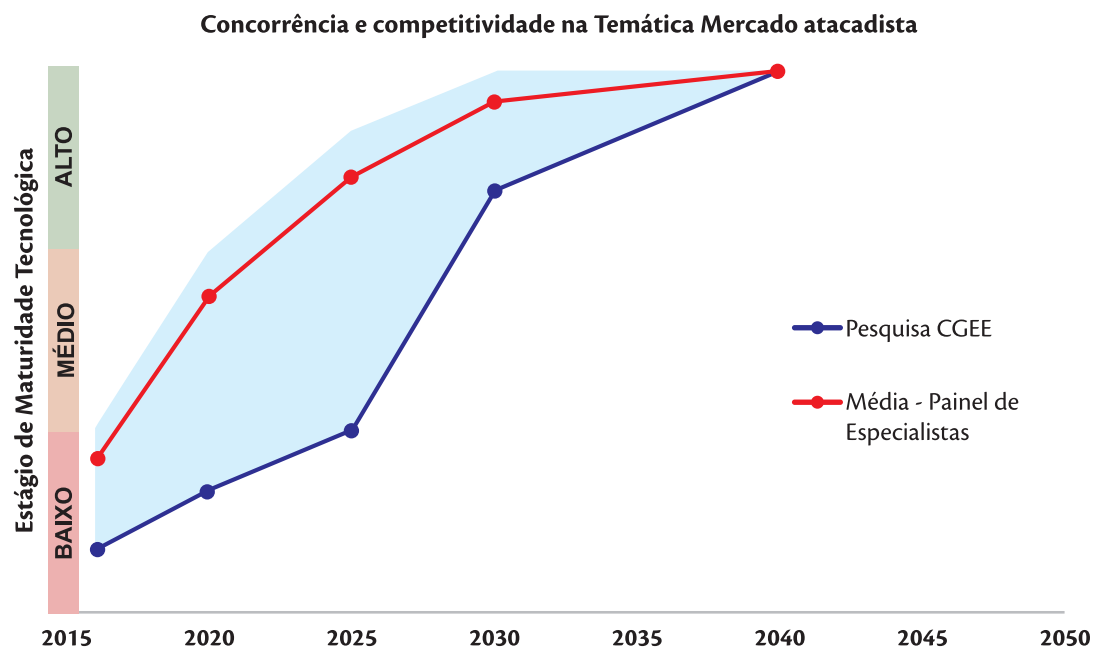
Pode-se ver, pela curva Pesquisa CGEE, que o crescimento no estágio de maturidade não é grande até 2025, mas depois cresce de forma mais rápida e a rota atinge o estágio máximo de maturidade em 2040. Pela curva Média - Painel dos Especialistas, foi indicado crescimento de forma exponencial e o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040, por conta dos fatores remuneração por capacidade, custos de déficit regionais e expansão de mercados regionais.



## Rota 2 - Concorrência e competitividade

A segunda rota (concorrência e competitividade) procura implementar normas capazes de induzir a concorrência entre os agentes atuantes no mercado atacadista, tanto na oferta quanto na demanda de energia. Seu objetivo central é preservar a competitividade do suprimento de energia nesse mercado. A análise cuidadosa dos subsídios e incentivos presentes nas normas, a padronização de contratos e as alternativas metodológicas para o cálculo do preço spot da energia merecem ênfase nessa rota.

No Gráfico 56, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota concorrência e competitividade.



**Gráfico 56** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Mercado Atacadista

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver, pela curva Pesquisa CGEE, que até 2025 o estágio de maturidade ainda é baixo, depois o crescimento se torna mais consistente, e o estágio máximo é atingido em 2040. Para a curva Média - Painel dos Especialistas, o crescimento de maturidade é exponencial, e o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040, por conta dos fatores preços horários, planejamento energético regional e precificação do gás.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 32, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 32** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas  
Mercado Atacadista da Macrotemática Regulação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Mercado atacadista	Coordenação e confiabilidade	Fatores portadores de futuro	Convergência dos mercados (gás natural e eletricidade). Desenvolvimento de fontes intermitentes.		Fragilidade das redes regionais de transmissão. Desenvolvimento das REI.		Difusão de baterias. Mudanças climáticas.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	
	Concorrência e competitividade	Fatores portadores de futuro	Liberalização do despacho das centrais. Preço spot.		Ampliação do mercado livre. Externalidades das fontes de energia.		Integração energética entre países vizinhos. Desenvolvimento das REI.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 8.3.3 Temática: Mercado varejista

Essa temática tem por meta induzir normas e instrumentos regulatórios que garantam a qualidade dos serviços elétricos prestados pelas concessionárias aos clientes. Estruturada em torno de duas rotas de pesquisa, pretende garantir a satisfação dos consumidores.

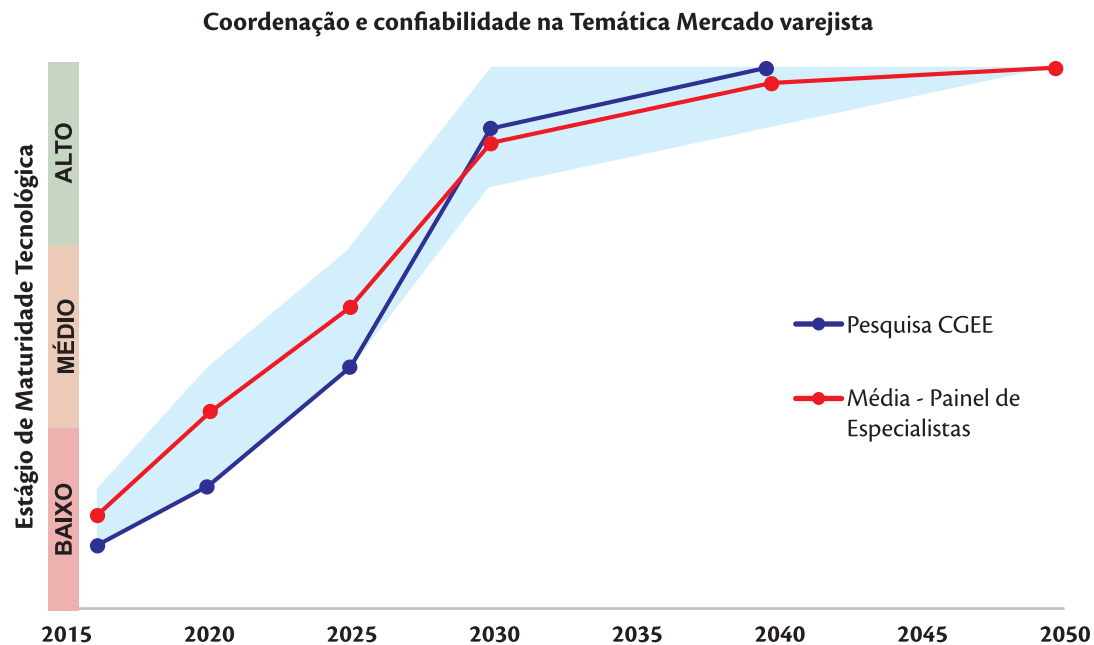
#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Coordenação e confiabilidade

A primeira rota (coordenação e confiabilidade) busca promover normas que incentivem a atuação cooperativa das concessionárias com seus clientes, especialmente no que se refere à geração distribuída. Essa rota deve dar destaque à ampliação das redes de distribuição subterrâneas como instrumento de melhoria da qualidade dos serviços elétricos.

No Gráfico 57, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota coordenação e confiabilidade.





**Gráfico 57** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Mercado Varejista

Fonte: Elaboração própria.

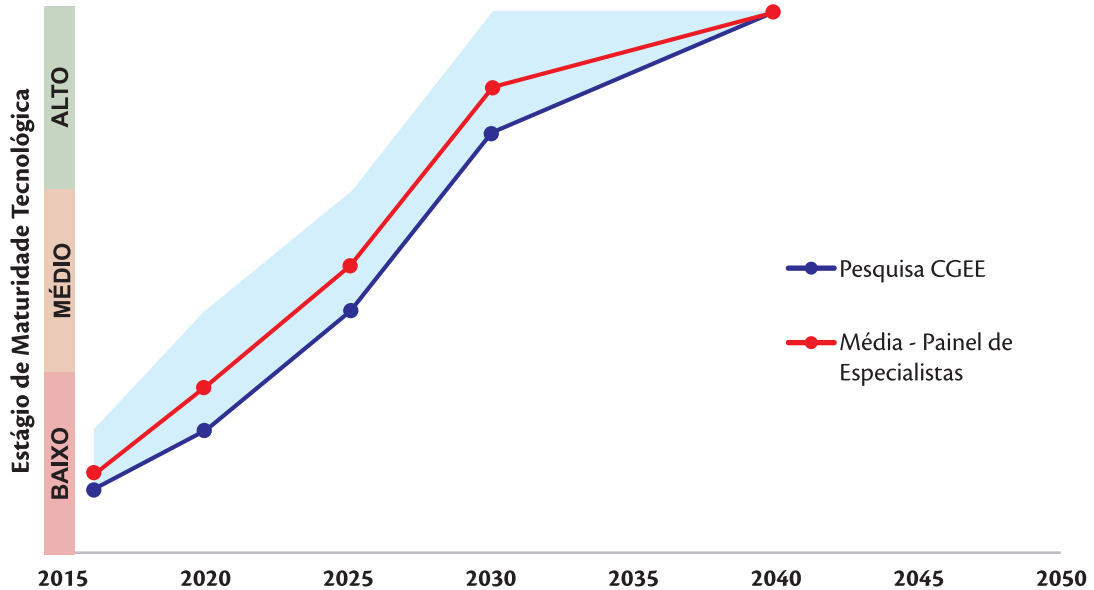
Percebe-se, pela análise das duas curvas, que o crescimento do estágio de maturidade é exponencial no curto e médio prazo, porém depois se torna linear. Foi indicado pela curva Pesquisa CGEE que o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040. Para a curva Média - Painel de Especialistas, o estágio máximo de maturidade é atingido no horizonte do ano de 2050, por conta do fator estudos comparativos, o que retarda um pouco a evolução da rota para atingir o estágio máximo no longo prazo.

### *Rota 2 - Concorrência e competitividade*

A segunda rota (concorrência e competitividade) procura identificar normas que promovam a concorrência na oferta de serviços elétricos para os consumidores com a necessária garantia da qualidade dos serviços prestados. A ampliação do mercado livre de energia e a tarifação horária dos consumidores finais devem receber prioridade nessa rota.

No Gráfico 58, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota concorrência e competitividade.

### Concorrência e competitividade na Temática Mercado varejista



**Gráfico 58** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Mercado Varejista

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise das duas curvas, que o crescimento do estágio de maturidade é exponencial no curto e no médio prazo, porém depois se torna linear. Foi indicado pela curva Pesquisa CGEE que o estágio máximo de maturidade é atingido em 2040. O mesmo ocorre para a curva Média - Painel de Especialistas. O desenvolvimento no longo prazo pode ser explicado pelas questões de necessidade de estudos comparativos para melhor análise de evolução da rota.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 33, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 33** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Mercado Varejista da Macrotemática Regulação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Mercado varejista	Coordenação e confiabilidade	Fatores portadores de futuro	Recuperação de custos afundados. Geração intermitente.		Geração distribuída. Desenvolvimento das REI.		Gestão de incertezas. Mudanças climáticas.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Concorrência e competitividade	Fatores portadores de futuro	Recuperação de custos afundados. Preço spot.		Ampliação do mercado livre de energia elétrica. Geração distribuída.		Difusão de baterias. Gestão de incertezas.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 8.3.4 Temática: Inovação

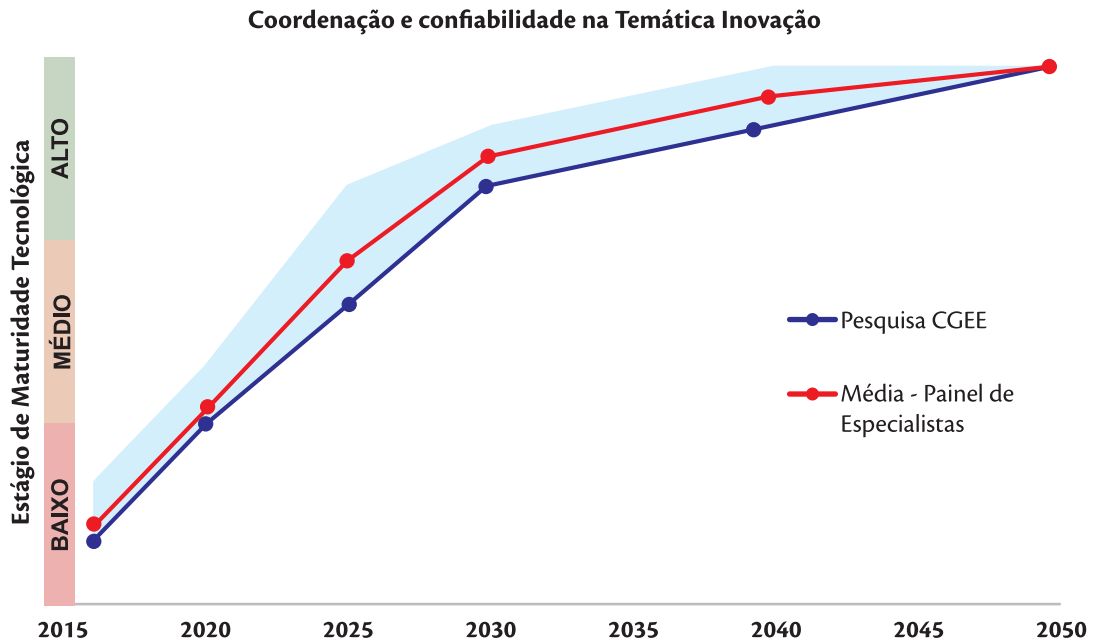
Essa temática tem por meta introduzir normas e instrumentos regulatórios que atuem como indutores do comportamento inovador entre os agentes do sistema elétrico.

#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Coordenação e confiabilidade*

A rota coordenação e confiabilidade tem seu foco na cláusula de P&D, especialmente no que se refere à sua eficácia no desenvolvimento da cadeia produtiva elétrica.

No Gráfico 59, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota coordenação e confiabilidade.



**Gráfico 59** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Inovação

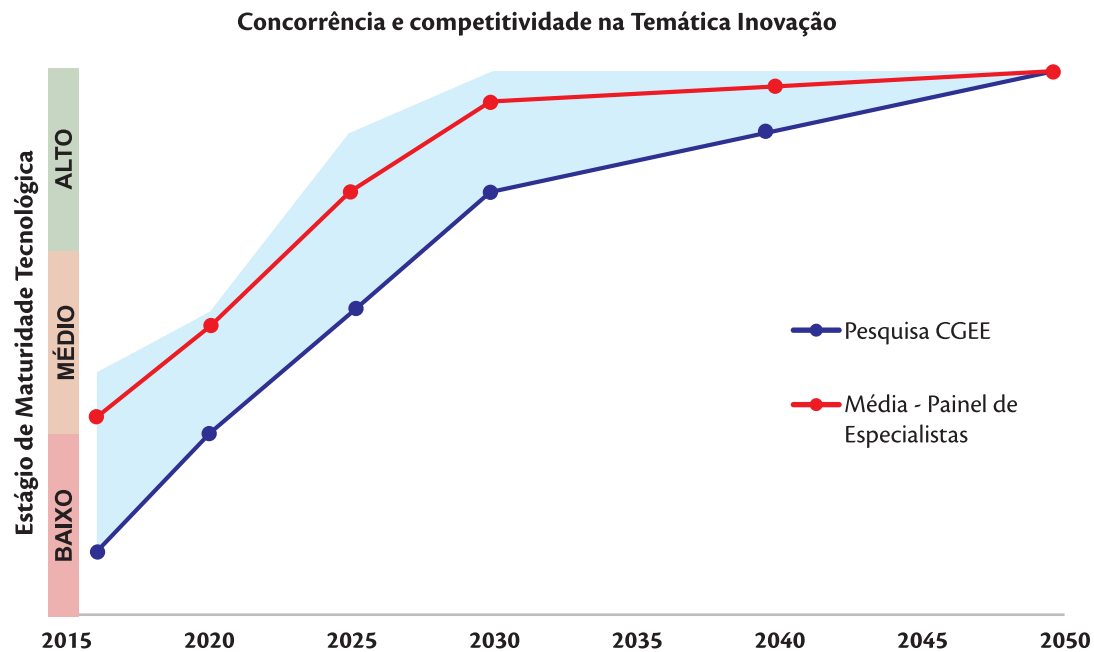
Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise das duas curvas, que o crescimento do estágio de maturidade é exponencial, iniciando em estágio baixo e atingindo o estágio mais alto de maturidade em 2050. Essa consideração de necessidade de evolução no longo prazo depende dos fatores de desenvolvimento das baterias e das REI.

### *Rota 2 - Concorrência e competitividade*

A segunda rota tem por objetivo identificar normas e instrumentos regulatórios que promovam a competitividade do sistema elétrico, com destaque para a eficiência energética e a ampliação do conteúdo nacional dos equipamentos e serviços demandados pelo sistema elétrico.

No Gráfico 60, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota concorrência e competitividade.



**Gráfico 60** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Inovação

Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se, pela análise das duas curvas, que o crescimento do estágio de maturidade é exponencial no curto e no médio prazo, porém depois se torna linear. Foi indicado pela curva Pesquisa CGEE que o estágio máximo de maturidade é atingido em 2050. O mesmo ocorre para a curva Média - Painel de Especialistas. Essa consideração de necessidade de evolução no longo prazo depende dos fatores de desenvolvimento das baterias, das REI e da necessidade cada vez mais crescente da eficiência energética.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 34, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 34** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Inovação da Macrotemática Regulação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Inovação	Coordenação e confiabilidade	Fatores portadores de futuro	Cláusula de PD&I. Gestão de incertezas.		Cláusula de PD&I. Proteção ambiental.		Gestão de incertezas. Riscos conectados com inovação tecnológica.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Concorrência e competitividade	Fatores portadores de futuro	Cláusula de PD&I. Gestão de incertezas.		Geração distribuída. Desenvolvimento das REI.		Difusão de baterias. Mudanças climáticas.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

## 8.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Regulação. Conforme explicado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 35.

**Tabela 35** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Regulação

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Coordenação e confiabilidade	Transporte e armazenagem
2	Coordenação e confiabilidade	Mercado atacadista
3	Concorrência e competitividade	Mercado atacadista
4	Coordenação e confiabilidade	Mercado varejista
5	Coordenação e confiabilidade	Inovação
6	Concorrência e competitividade	Mercado varejista
7	Concorrência e competitividade	Transporte e armazenagem
8	Concorrência e competitividade	Inovação

Fonte: Elaboração própria.



A prioridade primeira dada à rota coordenação e confiabilidade, na temática transporte e armazenagem, justifica-se pelo fato de, dadas as características do sistema elétrico brasileiro, a coordenação dos sistemas de transporte e de armazenagem ser determinante para a garantia da confiabilidade do suprimento de eletricidade.

Essas mesmas características exigem que a atuação dos agentes no mercado atacadista de energia seja articulada de forma a garantir a confiabilidade do suprimento de energia, razão pela qual a rota coordenação e confiabilidade, na temática mercado atacadista, deve ser priorizada na sequência.

Garantida a confiabilidade do SIN, a prioridade seguinte reside em obter a competitividade do seu fornecimento às redes das distribuidoras (rota concorrência e competitividade na temática mercado atacadista).

A coordenação e a confiabilidade do mercado varejista são condição *sine qua non* para a oferta competitiva de energia aos consumidores, por isso a rota coordenação e confiabilidade, na temática mercado varejista, foi indicada como quarta rota prioritária.

Inovações, especialmente as que viabilizem a operação de redes inteligentes, serão necessárias para viabilizar a ampliação da geração distribuída e das fontes intermitentes. Por isso, a rota coordenação e confiabilidade, na temática inovação, foi indicada como quinta rota prioritária.

A concorrência e a competitividade devem ser objeto das prioridades seguintes no mercado varejista (rota concorrência e competitividade, na temática mercado varejista), no transporte/armazenagem (rota concorrência e competitividade, na temática transporte e armazenagem) e nas inovações (rota concorrência e competitividade, na temática inovação).







## Capítulo 9

---





## Capítulo 9

# Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística

Atualmente, com o aumento acelerado da capacidade de processamento e armazenamento dos computadores, tornaram-se imprescindíveis a organização, a manutenção e as análises dos bancos de dados. O trabalho aqui realizado tem por objetivo definir diretrizes para criação de um banco de informações unificado do setor elétrico brasileiro, sua manutenção e análise estatística. A ideia principal do trabalho tem como base o U.S. *Energy Information Administration* (EIA), empresa que realiza análises estatísticas independentes do Departamento de Energia dos Estados Unidos. O EIA agrega todas as informações do setor energético, por exemplo: preços futuros de petróleo, produção semanal de carvão, inventário de gás natural, geração de energia por estado etc.

O objetivo principal deste trabalho é apontar as linhas de PD&I que necessitam ser desenvolvidas para criação do banco de dados e as expectativas de necessidades futuras do banco de dados unificado. Para encontrar as lacunas do conhecimento existentes, foram levantadas informações de P&D já realizados na base da Aneel, além das publicações sobre o tema nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS). A fim de identificar os principais pontos em desenvolvimento no que diz respeito a criação, manutenção e atualização de banco de dados, foram analisadas, também via *Scopus* e *Web of Science* (WoS), as publicações no tema.

A macrotemática em questão foi subdividida em duas temáticas: estruturação de bases de dados e gestão de bases de dados. Na primeira temática, concentram-se todas as linhas de P&DI que pesquisam as informações relevantes para construção, atualização e manutenção de bases de dados. A segunda foca projetos que analisem gestão da base de dados por meio de técnicas de tecnologia da informação (TI).

## 9.1 Visão de futuro

### 9.1.1 Cenário setorial

O capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento Executivo”) não aborda especificamente questões que se relacionem diretamente à macrotemática sistemas de informação e estatística. De qualquer forma, para atingir as metas de geração, transmissão e distribuição explicitamente consideradas no documento, subentende-se a necessidade de sistemas de informação dinâmicos e robustos sem os quais os resultados esperados nos diversos modelos recomendados ficam comprometidos.

Atualmente, as bases de dados necessárias para alimentar os modelos existentes e aqueles que serão propostos no futuro estão disponíveis de forma um tanto precária e em diferentes fontes, o que prejudica sobremaneira o desenvolvimento de trabalhos. Além disso, há incompatibilidade entre as observações disponíveis nas fontes para uma mesma variável. Não só isso, muitas dessas bases são caracterizadas por valores faltantes e pontos fora da curva (*outliers*), o que implica tratamentos específicos de preenchimento dessas discontinuidades.

O desenvolvimento de uma base de dados dessa envergadura exige que sejam empreendidos esforços, ao longo dos próximos 30 anos, por parte de agentes governamentais e não governamentais para a definição dos procedimentos a serem adotados para a unificação, compatibilização e, não menos importante, determinação do nível de detalhamento, desagregação e abertura dos dados a serem disponibilizados. Pretende-se que, ao final da construção da referida base de dados, mitiguem-se as discrepâncias e incompatibilidades existentes nos dados e aumente-se o nível de transparência desses dados.

### 9.1.2 Objetivo geral

Considerando-se o cenário setorial e o horizonte temporal até 2050, o objetivo geral dessa macrotemática é especificar a sistematização da integração de bancos de dados como forma de permitir acesso e publicação, de maneira unificada e estruturada, dos múltiplos sistemas de informações no ambiente do sistema elétrico, a ser permanentemente atualizado pelos diversos corpos técnicos especializados dos agentes do setor e pelos consumidores e cidadãos em geral.

### 9.1.3 Objetivo específico

Os objetivos específicos dessa macrotemática são descritos a seguir.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Mapear requisitos para construção de sistemas de coleta, sistematização e análise de



dados do setor de energia elétrica;

- Fazer o tratamento das variáveis faltantes e pontos fora da curva (*outliers*) por meio de técnicas específicas para cada tipo de problema.

#### **Médio prazo (2020-2030):**

- Aprimorar técnicas para identificar e tratar dados faltantes e pontos fora da curva (*outliers*);
- Desenvolver técnicas específicas de mineração de dados, considerando a quantidade e a dimensão (*Big Data*) das variáveis de interesse;
- Construir, estruturar, analisar, monitorar e criar protocolos de uso e gerenciamento dos bancos de dados que integrem todas as variáveis identificadas como essenciais no setor de energia elétrica;
- Definir a melhor estratégia para armazenamento dos bancos de dados, aplicando e utilizando as melhores práticas de governança, as melhores técnicas e as melhores tecnologias ao longo do tempo do desenvolvimento e implementação das soluções.

#### **Longo prazo (2030-2050):**

- Fazer manutenção contínua e dinâmica para atualização permanente das bases de dados, garantindo a máxima transparência, consistência e publicidade.

### 9.1.4 Fundamentação

A visão de futuro para o desenvolvimento da PD&I na macrotemática sistemas de informação e estatística deve ter por objetivo principal e imediato criar um banco de dados unificado do setor energético (elétrico, em particular, e desvinculado das saídas dos *softwares* utilizados atualmente) estruturado e mantido por uma agência nacional de informação (autarquia, instituto ou outro) que tenha corpo técnico permanente e especializado. Com isso, os demais agentes do setor elétrico poderão focar em desempenhar seu papel principal e, de posse de maiores informações, alavancar o desenvolvimento e inovação de novas soluções para o setor. Esse banco de dados, no caso específico do setor elétrico, deve ser georreferenciado e conter informações estratificadas pelos diversos setores de consumo de energia elétrica (a saber: residencial, terciário, industrial e serviços e prédios públicos), além de dados técnicos do sistema elétrico brasileiro (geração, transmissão, distribuição em todos os níveis de tensão, incluindo o mercado livre). Esse repositório deve dar acesso irrestrito a toda a sociedade. Como exemplo de banco de dados unificado e estruturado, cita-se o *United States Energy Information Administration* (EIA), que coleta, analisa e dissemina informações independentes e imparciais sobre energia para promover políticas públicas sólidas, mercados eficientes e compreensão pública da energia e sua interação com a economia e o meio ambiente.

Com o desenvolvimento da construção e criação de protocolos de uso e gerenciamento dos bancos de dados que integrem todas as variáveis identificadas como essenciais no setor energético

e elétrico, surgirá a oportunidade de realizar estudos mais completos sobre o sistema elétrico brasileiro, estimular a eficiência dos agentes e aumentar a transparência do setor. O modelo americano é um exemplo a ser adotado, mas o Brasil deve ir além e buscar ser uma referência mundial nesse quesito. Uma rota que vem sendo seguida e deve ser reestruturada é a necessidade da transparência e da reprodutibilidade dos *softwares* desenvolvidos pelo Cepel para o SEB. Os dados devem ser desvinculados de um software específico, independentemente de ser nacional.

Com estruturação, análise e monitoramento dos bancos de dados, surge grande oportunidade de desenvolvimento de novos produtos, capazes de gerenciar bancos de dados dispersos e com amplo acesso, no conceito de *Big Data*, aplicados à realidade do setor elétrico nacional. Deve-se desestimular a construção de novos bancos de dados relacionais, do termo em inglês *Structured Query Language (SQL)*, pois estes não têm a escalabilidade necessária para se alinhar com o objetivo geral da macrotemática.

## 9.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Considerando todo o exposto nos itens anteriores, foram definidas métricas e/ou indicadores que visam balizar e delimitar o caminho a ser seguido pela macrotemática, temática e rotas a ela associadas ao longo do horizonte estudado, ou seja, para o período compreendido entre os anos de 2017-2050.

Essas métricas/indicadores foram definidas e traçadas, considerando o cenário geral da macrotemática e seus possíveis impactos e evoluções, bem como cada uma das rotas compreendidas na macrotemática, tendo em mente objetivos de evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado.

A seguir, são efetuadas observações gerais a respeito dos caminhos traçados para cada um dos objetivos listados acima. Em linhas gerais, refletem a evolução de indicadores/métricas que alicercem e respaldem a concepção de um banco de dados único do setor elétrico, sendo nele consideradas informações de todos os segmentos do setor (geração, transmissão, distribuição, comercialização), além de permitir a geração de relatórios de saída e de estimativas com relação a dados técnicos, como cálculos de perdas não técnicas e de custos médios de geração, transmissão e distribuição. No processo de concepção de uma base de dados dessa natureza, duas questões devem ser observadas: a primeira associada à estruturação da base de dados em si, compreendendo procedimentos,



critérios e metodologia para organização e cálculo de informações derivadas dos dados coletados. A segunda diz respeito a questões de “gestão da base de dados” concebida, considerando questões de processamento, comunicação, segurança da base de dados e padronização do sistema. Não obstante, em ambas as temáticas pertencentes à macrotemática, busca-se a organização de procedimentos claros e objetivos para a elaboração de um repositório de dados dessa envergadura.

### **Evolução tecnológica**

Com relação aos objetivos de evolução tecnológica, pode-se observar que as métricas elencadas estão concentradas em seis aspectos específicos:

- Construção de base de dados, técnicos e não técnicos, georreferenciados para o SEB, considerando todas as etapas da cadeia (geração, transmissão, distribuição, comercialização): identificação do grupo de variáveis a serem inseridas e consideradas no processo de formação da base de dados (2020-2025). A partir desse momento, faz-se necessária a criação de um arcabouço normativo e de certa maneira regulatório para definição de critérios para obtenção das informações, padrões de fornecimento de dados, dentre outros aspectos (2030). Entre 2030-2050, todo o processo de concepção, estruturação e organização do repositório de dados é efetuado, estando pronto para utilização pelos agentes e público e sendo atualizado periodicamente;
- Rotina de análise de consistência dos dados: a concepção de procedimentos de análise de consistência dos dados é peça central para a garantia da qualidade dos dados disponibilizados. Para isso, é necessária a definição do rol de análises a serem efetuadas (2020), discutindo-as com os agentes do setor e demais membros da sociedade (2025). Cumprida essa etapa, tais análises são inseridas na base de dados (2030) e seus relatórios de saída analisados periodicamente (2050) (sempre que dados atualizados forem introduzidos na base);
- Rotina automática de cálculo de perdas técnicas: a ideia por trás da concepção de uma rotina dessa natureza é dinamizar o cálculo das perdas técnicas desde a geração até a distribuição de energia elétrica, obtendo a informação com diversos recortes. Dado que no repositório de dados estarão concentradas todas as informações técnicas do setor, a concepção de uma metodologia dessa natureza, com aval dos agentes do setor, via procedimento de audiência pública, pode auxiliar na estimação das perdas pela entidade reguladora do setor, garantindo maior transparência para os cálculos;
- Rotina de relatórios de saída para o acompanhamento do setor: juntamente com agentes do setor e demais membros da sociedade, seriam definidas quais informações e dados seriam considerados chave para apresentação e acompanhamento em relatórios periódicos, podendo esses relatórios ser concebidos por cadeia do setor ou por tipo de informação analisada. Dependendo da informação e análise disponibilizada, o relatório poderia ter formato em PDF ou em Excel.

### Demais objetivos

- Também na planilha de indicadores, são apresentados os demais objetivos (estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado), respondidos com base em perguntas objetivas. Especificamente para o cenário geral, algumas questões não se aplicavam, tendo sido usado o termo “Não se aplica” para cada uma delas.
- No que tange ao objetivo de estratégia setorial para dimensão de análise, entende-se que as questões ambientais e sociais, regulatórias e de cultura e fatores externos (não tecnológicos) não se aplicavam às temáticas e macrotemática estudada. Entende-se também que a governança tem papel-chave para o processo de concepção de um banco de dados único. O alinhamento e compatibilização das informações, a organização das variáveis por ordem de prioridade (definindo periodicidade e critérios para alimentação da mesma), a definição da arquitetura geral do sistema, dentre outras, são questões cruciais para tratamento do problema. O formato de disponibilização e a base de informações já existentes para a concepção do Plano Decenal de Energia (PDE) e do Plano Nacional de Energia (PNE) podem servir como facilitadores para alcançar o objetivo de construção de um banco de dados único;
- Nos objetivos socioambientais, somente os aspectos sociais e culturais são considerados pertinentes, dado que toda a elaboração de uma base de dados dessa natureza requer não somente a criação de um órgão centralizador dos dados, mas também de pessoal preparado para lidar com os desafios por trás do projeto. Esse ponto tem íntima relação com geração e divulgação do conhecimento científico e técnico gerado (produção de CT&I) e da necessidade de geração de mão de obra e pessoal especializado (estrutura de CT&I). A colaboração entre os diversos centros de pesquisa tende a gerar e ampliar a rede de colaboração e publicações de estudos coautorais;
- As informações aqui apresentadas podem ser consideradas válidas para todas as temáticas e rotas a elas pertencentes.

## 9.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática sistemas de informação e estatística consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 61 ao Gráfico 65. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.





### 9.3.1 Temática: Estruturação de bases de dados

A única rota considerada na temática estruturação de bases de dados reflete a necessidade de estudos que determinem as metodologias e ferramentas computacionais necessárias para coleta dos dados que integrarão o banco de dados único.

#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados*

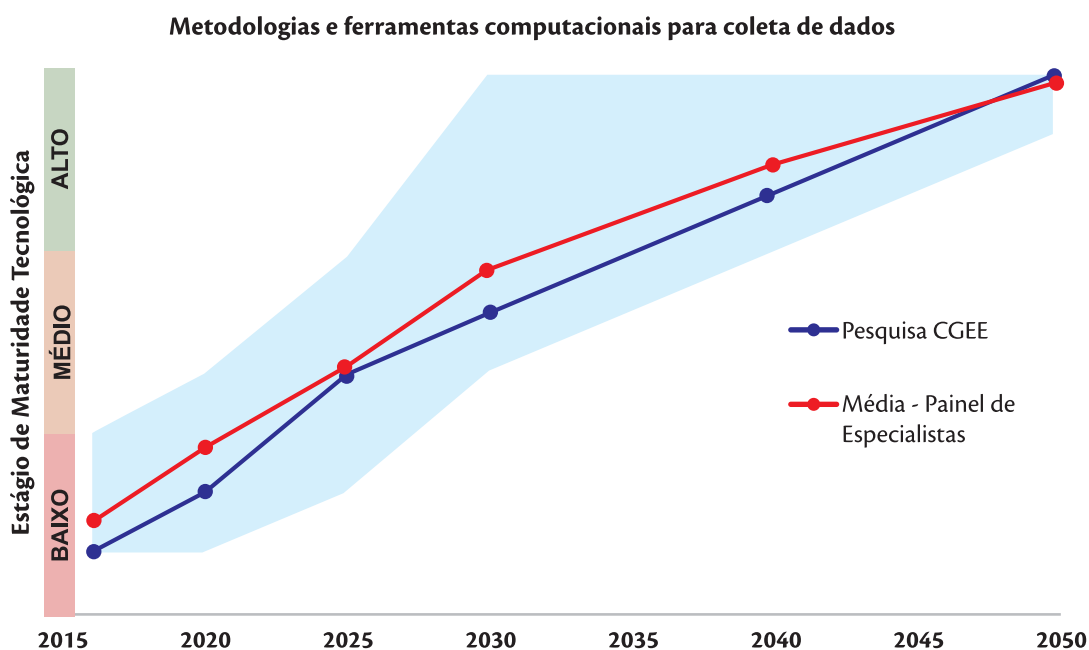
Aqui se apresenta e descreve a relação de cada uma das métricas apresentadas no cenário geral para a rota em questão, considerando sua evolução dentro do período analisado.

- Construção de base de dados, técnicos e não técnicos, georreferenciados para o SEB, considerando todas as etapas da cadeia (geração, transmissão, distribuição, comercialização): para essa métrica, foi considerado que, na presente rota, é necessária a definição da arquitetura da base de dados, ainda que, em linhas gerais, até 2020. Essa etapa seria, então, precedida da tarefa de concepção dos algoritmos de funcionamento da base, bem como uma versão de teste (versão piloto) da arquitetura e da rotina de coleta e tratamento dos dados (2025). A versão piloto passaria por aprimoramentos e estaria em versão operacional em 2030, que poderia ainda passar por aprimoramentos e ajustes. A partir de 2050, o banco de dados e toda a sua estrutura e algoritmos de funcionamento estariam em funcionamento com todas as suas funcionalidades incorporadas;
- Rotina de análise de consistência dos dados: a primeira etapa para a concepção de uma rotina de análise de consistência de dados, nessa rota, consiste na programação de todas as análises concebidas, considerando as variáveis pertencentes ao banco de dados (2020). Tal como no processo de concepção do algoritmo e estrutura da base de dados, a programação da rotina de análise de consistência passaria por uma versão piloto para teste (2025) e, após ajustes e adaptações, para uma versão operacional capaz de gerenciar todas as variáveis e notificar os gestores da base de dados no caso da identificação de inconsistências (2030). A partir de 2050, a rotina encontrar-se-ia em pleno funcionamento;
- Rotina automática de cálculo de perdas técnicas: procedimento análogo é adotado no caso da concepção de uma rotina automática de cálculo das perdas técnicas. Primeiramente, seria concebida e determinada a metodologia a ser utilizada no cálculo das perdas técnicas (2020). Uma versão inicial da programação da ferramenta de cálculo e da sua interface com a base de dados do SEB seria concebida, estando ela sujeita a testes (2020). Essa primeira versão da rotina passaria por rodadas de testes e comparação com

cálculos disponibilizados pela entidade reguladora, de forma a consolidar não somente a metodologia, mas também a programação por trás dela (2025). A partir de 2050, a rotina estaria plenamente pronta para uso;

- Rotina de relatórios de saída para o acompanhamento do setor: antecede a programação e construção dos algoritmos necessários para a obtenção dos relatórios de saída e da sua periodicidade de execução (2025), a definição dos relatórios de saída a serem considerados na programação inicial (2020). Após a concepção da programação e dos algoritmos, estes precisam ser testados em procedimento piloto, gerando relatórios de saída em formatos preliminares, sujeitos a testes e ajustes (2030) e resultando em uma versão operacional. Após os testes e ajustes, o algoritmo e o procedimento estariam em versão operacional e em uso, no entanto, sujeito a atualizações periódicas de forma a se alinhar à regulação vigente (2050).

No Gráfico 61, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados.



**Gráfico 61** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias e Ferramentas Computacionais para Coleta de Dados

Fonte: Elaboração própria.



Pela análise da evolução de maturidade da rota, é possível notar que o desenvolvimento da rota metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados está em estágio de maturidade baixa e alcançará o nível máximo somente em 2050. É possível encontrar no mundo banco de dados unificados, como o da agência que administra as informações energéticas dos Estados Unidos e a base de dados da Eurostat, que podem e devem servir de inspiração para a construção da base de dados do setor energético do Brasil. As dificuldades quanto à coleta de dados do setor energético do Brasil começam com a não padronização atual das informações de diferentes esferas, como geração, distribuição e transmissão. Além disso, ainda ocorrem políticas de não divulgação de certos dados. Visto isso, identifica-se que essa rota evoluirá de forma lenta, porém consistente.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 36, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 36** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Estruturação de Bases de Dados da Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Estruturação de bases de dados	Metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados	Fatores portadores de futuro	Já existe banco de dados unificados em outros países. No Brasil, existem particularidades que devem ser estudadas de forma individual. As informações entre as diferentes esferas (geração, transmissão, distribuição) são diferentes para um mesmo dado, por isso devem ser compatibilizadas em primeiro lugar. O acesso a muitas informações do setor de energia elétrica não é público.	Já existe banco de dados unificados em outros países. No Brasil, existem particularidades que devem ser estudadas de forma individual. As informações entre as diferentes esferas (geração, transmissão, distribuição) são diferentes para um mesmo dado, por isso devem ser compatibilizadas em primeiro lugar. O acesso a muitas informações do setor de energia elétrica não é público.	Já existe banco de dados unificados em outros países. No Brasil, existem particularidades que devem ser estudadas de forma individual. As informações entre as diferentes esferas (geração, transmissão, distribuição) são diferentes para um mesmo dado, por isso devem ser compatibilizadas em primeiro lugar. O acesso a muitas informações do setor de energia elétrica não é público.			
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

### 9.3.2 Temática: Gestão de bases de dados

As rotas consideradas na gestão de bases de dados refletem a necessidade de criação de protocolos para gestão, manutenção e atualização do banco de dados unificado. Cada uma delas reflete um conjunto de estudo de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### **Roadmap tecnológico**

##### *Rota 1 - Infraestrutura de processamento e comunicação*

Aqui se apresenta e descreve a relação de cada uma das métricas apresentadas no cenário geral para a rota em questão, considerando sua evolução dentro do período analisado.

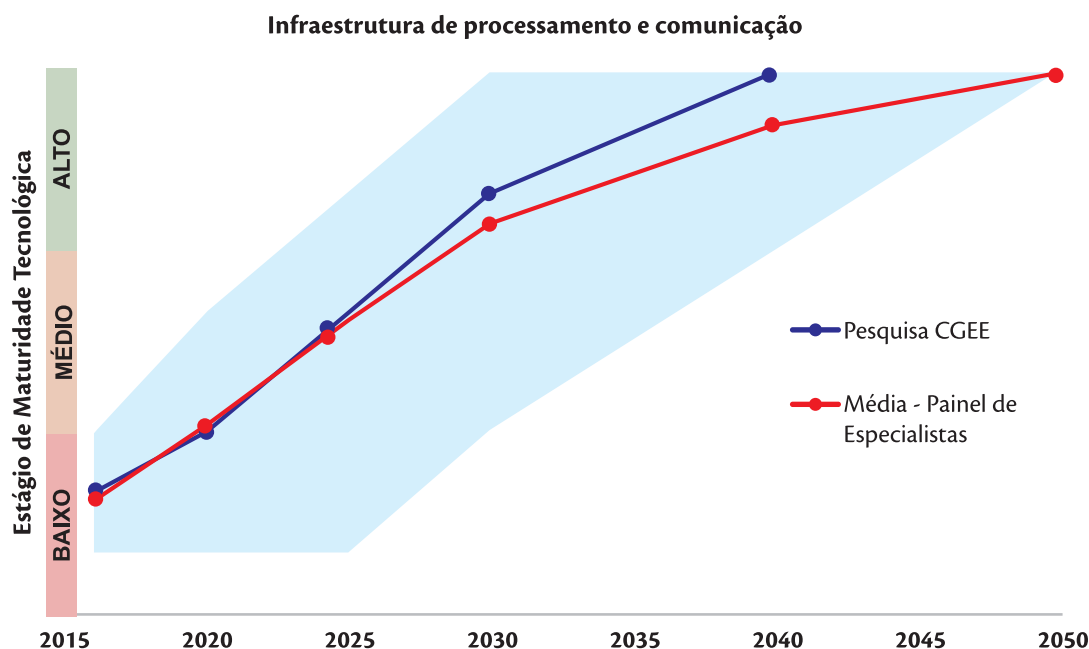
- Construção de base de dados, técnicos e não técnicos, georreferenciados para o SEB, considerando todas as etapas da cadeia (geração, transmissão, distribuição, comercialização): para essa métrica, foi considerada a necessidade de definição e construção da estrutura de processamento e comunicação dos dados, vislumbrando a possibilidade de consideração do uso de armazenamento da base de dados em nuvem (2020). Definidas as estruturas gerais da infraestrutura de processamento e comunicação, passa-se para a etapa de construção do seu algoritmo, em caráter preliminar, analisando questões como desempenho e tempo de resposta da alocação dos dados e de execução de modelagens na nuvem (2025). O algoritmo, em versão preliminar, é testado e ajustado, gerando a versão operacional que deve conter as tarefas de processamento, transferência e comunicação dos dados (2030). Em 2050, o algoritmo já estaria testado, ajustado e em funcionamento;
- Rotina de análise de consistência dos dados: para essa métrica, foi considerada a necessidade de definição e construção de versão piloto dos algoritmos associados à rotina de análise de consistência do banco de dados, bem como dos alertas do sistema (2020). No que diz respeito aos alertas, é considerada a possibilidade de geração de alertas não somente para o gestor da base de dados, mas também para a entidade fornecedora dos dados (2025). Tais algoritmos de procedimentos passam por uma rotina de testes quando da sua versão piloto, sendo ajustada até que atinja o ponto de geração da versão operacional (2030). A partir da versão operacional, seria posto em uso e atualizado periodicamente com base nas alterações e nos aprimoramentos da base de dados (2050);
- Rotina automática de cálculo de perdas técnicas: para essa métrica, foi considerada a necessidade de definição e construção de versão piloto dos algoritmos associados à rotina automática de cálculo das perdas técnicas, considerando diferentes recortes e etapas da cadeia do setor - subsistemas, nacional e por área de concessão (2020). Gera-se uma versão piloto do algoritmo e demais procedimentos, comparando a metodologia



atual com a metodologia adotada pela entidade reguladora anteriormente (2025). Essa versão piloto passa por uma rotina de testes e ajustes, obtendo-se, assim, a sua versão operacional (2030). A partir da versão operacional, seria posto em uso e atualizado periodicamente com base nas mudanças metodológicas relacionadas com o cálculo das perdas técnicas (2050);

- Rotina de relatórios de saída para o acompanhamento do setor: para essa métrica, foi considerada a necessidade de definição e construção da estrutura do algoritmo fornecedor dos relatórios de saída e de acompanhamento do setor, considerando diferentes níveis de abertura (2020). A estruturação e concepção de uma versão piloto da rotina é etapa seguinte à sua definição (2025), sendo testado e estressado seu uso a fim de identificar possíveis falhas e necessidades de aprimoramento (2030). Em posse da versão operacional, a rotina é colocada em pleno uso e possíveis ajustes são efetuados, considerando ampliação da base de dados ou atendimento de uma nova demanda de análise (2050).

No Gráfico 62, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota infraestrutura de processamento e comunicação.



**Gráfico 62** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Infraestrutura de Processamento e Comunicação

Fonte: Elaboração própria.

A evolução de maturidade da rota é mostrada no Gráfico 62 e verifica-se que seu grau de maturidade atual é considerado baixo, pois ainda não existem estudos para o caso brasileiro referente à infraestrutura de processamento e comunicação de banco de dados unificados desse porte. Com a expectativa de desenvolvimento e implantação de infraestrutura em nuvem, aplicação de soluções, desenvolvimento de padrões e diretrizes de gestão etc., acredita-se que a maturidade dessa rota tenha crescimento aproximadamente linear, acompanhando a evolução desses estudos.

### *Rota 2 - Segurança e arquitetura de sistemas*

Aqui se apresenta e descreve a relação de cada uma das métricas apresentadas no cenário geral para a rota em questão, considerando sua evolução dentro do período analisado.

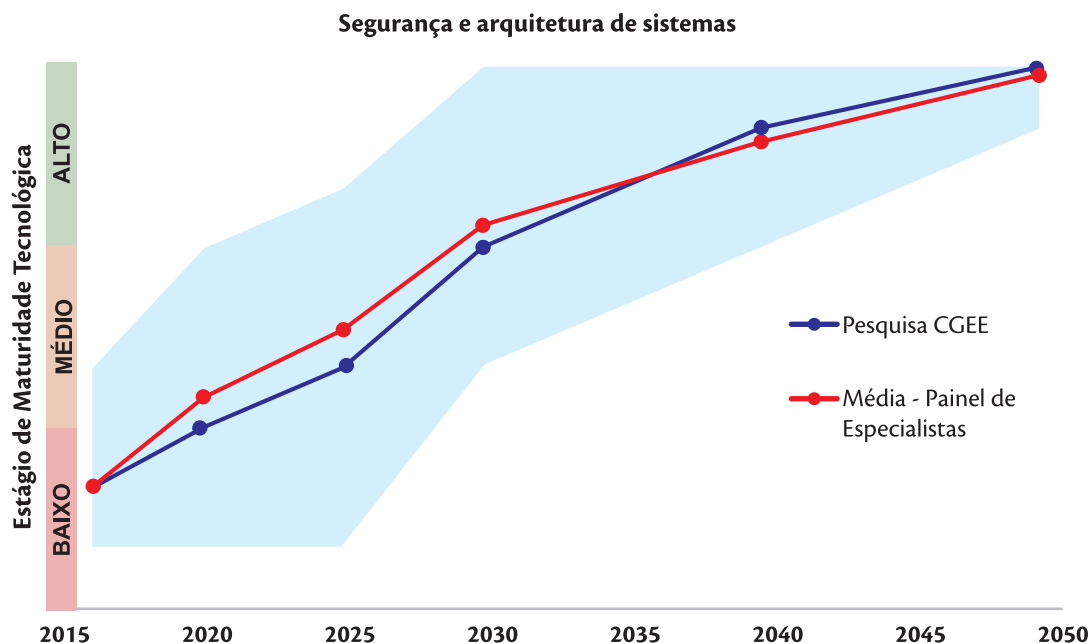
- Construção de base de dados, técnicos e não técnicos, georreferenciados para o SEB, considerando todas as etapas da cadeia (geração, transmissão, distribuição, comercialização): aqui são estudadas as necessidades de segurança relacionadas com a existência e o nível de complexidade de um banco de dados integrado, considerando o cenário de existência dos dados armazenados em nuvem. Com isso, questões de segurança cibernética precisam ser observadas na concepção da arquitetura do sistema (2020). É necessário definir o grau e o nível de segurança necessário para diferentes versões da base, para acessos em plataformas móveis e considerando soluções *opensource* (2025). Elaboração de uma versão piloto e, em seguida, da versão em estágio operacional da arquitetura do sistema e da sua rede de segurança, concomitante à promulgação de diretrizes e políticas para a manutenção de um alto nível de proteção e segurança dos dados (2030). Com o teste de toda a arquitetura e soluções de segurança concebidas, passa-se para o uso operacional de acordo com determinado padrão de diretrizes de segurança dos dados, predefinida (2050);
- Rotina de análise de consistência dos dados: aqui são estudadas as necessidades de segurança relacionadas com a construção e o uso de uma rotina de análise de consistência (2020), considerando questões de segurança cibernética no processo. A definição do grau e do nível de segurança necessário para a rotina de análise de consistência consiste na próxima etapa do processo, anterior à criação das versões piloto e operacional do sistema de segurança (2025). A versão piloto é testada para se avaliar o grau de fragilidade de sua estrutura, sendo ajustada e posta em funcionamento na versão operacional (2030). Com o teste de toda a arquitetura e soluções de segurança concebidas, passa-se para o uso operacional, de acordo com determinado padrão de diretrizes de segurança dos dados, predefinida (2050);
- Rotina automática de cálculo de perdas técnicas: aqui são estudadas as necessidades de segurança relacionadas com a construção e o uso de uma rotina automática de cálculo de perdas técnicas (2020), considerando questões de segurança cibernética no processo. A definição do grau e do nível de segurança necessário para a rotina automática de cálculo de perdas técnicas consiste na próxima etapa do processo, anterior à criação



das versões piloto e operacional do sistema de segurança (2025). A versão piloto é testada para se avaliar o grau de fragilidade de sua estrutura, sendo ajustada e posta em funcionamento na versão operacional (2030). Com o teste de toda a arquitetura e soluções de segurança concebidas, passa-se para o uso operacional de acordo com determinado padrão de diretrizes de segurança dos dados, predefinida (2050);

- Rotina de relatórios de saída para o acompanhamento do setor: aqui são estudadas as necessidades de segurança relacionadas com a construção e o uso de uma rotina de relatórios de saída para o acompanhamento do setor (2020), considerando questões de segurança cibernética no processo. A definição do grau e do nível de segurança necessário para a rotina de relatórios de saída para o acompanhamento do setor compreende a próxima etapa do processo, anterior à criação das versões piloto e operacional do sistema de segurança (2025). A versão piloto é testada para se avaliar o grau de fragilidade de sua estrutura, sendo ajustada e posta em funcionamento na versão operacional (2030). Com o teste de toda a arquitetura e soluções de segurança concebidas, passa-se para o uso operacional, de acordo com determinado padrão de diretrizes de segurança dos dados, predefinida (2050).

No Gráfico 63, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota segurança e arquitetura de sistemas.



**Gráfico 63** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Segurança e Arquitetura de Sistemas

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 63 mostra a evolução da maturidade dessa rota e indica que seu nível atual de maturidade é bem baixo, em consequência da inexistência de estudos dessa linha para o caso brasileiro. Porém, com o estudo de linhas de PD&I que foquem no desenvolvimento de padrões de uso, de políticas e padrões de segurança, arquitetura para armazenamento e manipulação de grande base de dados, acredita-se que essa rota tenha rápida evolução, alcançando estágio alto de maturidade no longo prazo (2030-2050) e o estágio máximo em 2050.

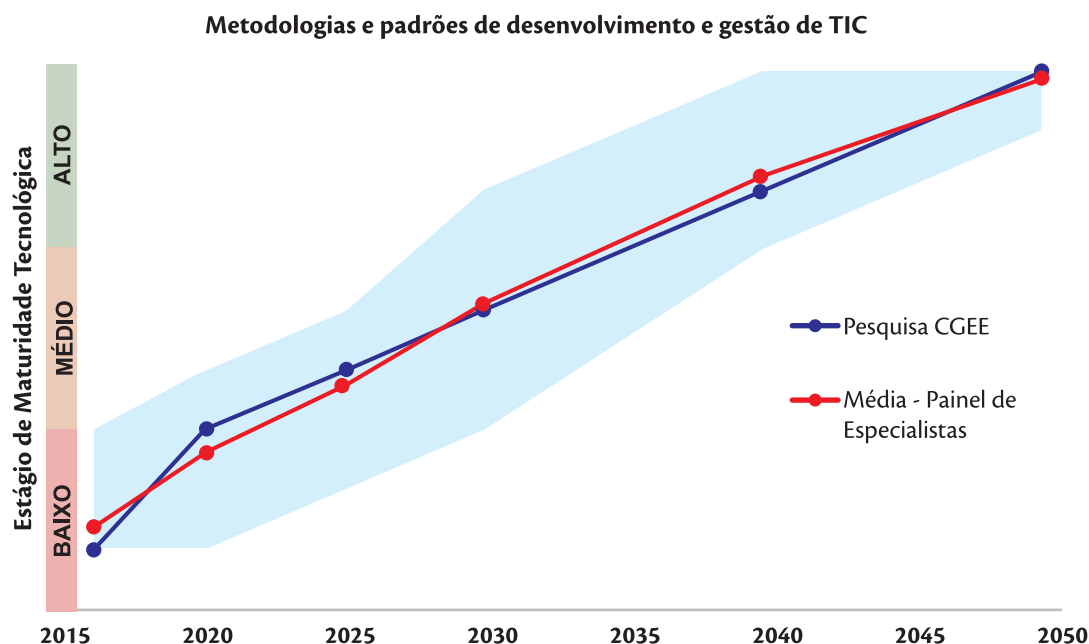
### *Rota 3 - Metodologias e padrões de desenvolvimento e gestão de TIC*

Para a última rota, foram definidos padrões de desenvolvimento e acompanhamento dos projetos para cada uma das métricas. Apesar de tratarem de assuntos diferentes, a evolução de cada uma das métricas, no que tange à gestão dos projetos, segue um mesmo compasso. De forma a tornar a leitura do documento mais fluída, apresentar-se-á somente uma vez essa evolução, que é a que segue:

- 2020: definição das etapas do projeto, incluindo prazos, custo, riscos associados a cada uma das etapas e ao projeto como um todo;
- 2025: acompanhamento do desenvolvimento, considerando etapas, custos, riscos e tempo de execução previstos e definidos na fase anterior;
- 2030: de posse das rotinas em fase de teste, pode-se analisar seu desempenho, identificando ponto de melhoria do seu tempo de resposta e ajustando para a versão operacional;
- 2050: padronização e determinação dos critérios e parâmetros utilizados para a atualização da rotina. Também se analisam resultados do projeto, considerando prazos, custos e riscos definidos no início do projeto.

No Gráfico 64, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota metodologias e padrões de desenvolvimento e gestão de TIC.





**Gráfico 64** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias e Padrões de Desenvolvimento e Gestão de TIC

Fonte: Elaboração própria.

A evolução de maturidade da rota pode ser vista no Gráfico 64. Pode ser identificado que, no momento atual, a rota apresenta estágio baixo de maturidade, assim como para as demais rotas dessa temática em decorrência da inexistência de um banco de dados atualmente. Com a expectativa de criação do banco de dados, espera-se acelerado movimento para aprimoramento das metodologias de gerenciamento de projetos, de métricas para o desenvolvimento e manutenção de aplicações no sistema elétrico e de qualquer outra ferramenta.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 37, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.





## 9.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Sistemas de Informação e Estatística. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 38.

**Tabela 38** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados	Estruturação de bases de dados
2	Infraestrutura de processamento e comunicação	Gestão de bases de dados
3	Metodologias e padrões de desenvolvimento e gestão de TIC	Gestão de bases de dados
4	Segurança e arquitetura de sistemas	Gestão de bases de dados

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se notar, pelo Gráfico 61 ao Gráfico 64, que as rotas estão no mesmo estágio de maturidade tecnológica, isto é, as quatro rotas estão igualmente desenvolvidas na atualidade, em nível baixo. Isso se deve ao fato de a maioria das informações referentes ao setor de energia elétrica já estar disponível por cada instituição separadamente, porém não existe uma base de dados unificada, muito menos padrões de gestão, armazenamento, atualização e acesso. A maturidade baixa dessas rotas e a inexistência de um banco unificado tem como consequência discordâncias entre essas instituições sobre uma mesma série de dados, além da dificuldade de acesso do usuário.

Quanto aos níveis de prioridade, observa-se que a rota metodologias e ferramentas computacionais para coleta de dados encontra-se em primeiro lugar, justificando a necessidade de primeiro desenvolver metodologias para coleta, cadastro e levantamento de informações pertinentes para o sistema elétrico, além do mapeamento das necessidades para a construção dos sistemas de coleta, sistematização e análise de dados do setor; e, por fim, o desenvolvimento da base de dados técnica única para o setor elétrico, especificando as responsabilidades de cada instituição para atualização e manutenção. A segunda rota em ordem de prioridade é infraestrutura de processamento e comunicação, pois, após a criação da base de dados, é de suma importância o desenvolvimento de padrões e diretrizes para gestão de continuidade e recuperação dessa base, desenvolvimento e implantação de infraestrutura em nuvem, visando ao armazenamento e à integração de dados

pertinentes aos processos de planejamento do ONS, CCEE e EPE e desenvolvimento e implantação de modelos matemáticos utilizando automação, integração e interação por uso de portal de colaboração.

A terceira rota em nível de prioridade é metodologias e padrões de desenvolvimento e gestão de TIC, pois é de seu escopo aprimorar as metodologias de gerenciamento de projetos, desenvolver padrões para adoção de SLA (*service level agreement*) e avaliar e utilizar métricas para o desenvolvimento e manutenção da base técnica unificada. A rota que apresentou a última posição em ordem de prioridade ocupa essa posição porque somente pode começar a ser desenvolvida após a criação da base de dados e definição de padrões de uso e gestão. Tal rota, chamada segurança e arquitetura de sistemas, concentra desenvolvimento de políticas e padrões de segurança cibernética, planos de treinamento em desenvolvimento seguro, segurança em nuvem e gestão da segurança cibernética, arquitetura para armazenamento e manipulação de grandes bases de dados estruturados e não estruturados e utilização de soluções *OpenSource* e de aprimoramento da usabilidade.



## Capítulo 10

---





## Capítulo 10

# Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias

As atividades econômicas relacionadas ao setor elétrico requerem planejamento e monitoramento de tecnologias e fontes de energia para que permitam a geração de emprego, de renda, sempre respeitando o meio ambiente. Para isso, é necessário investir em metodologias que permitam que o desenvolvimento energético seja feito de forma sustentável. Dessa forma, essa macrotemática apresenta o estado atual das fontes e tecnologias de energia, assim como suas perspectivas de desenvolvimento para identificar os impactos relacionados e permitir construir modelos de análise dos referidos impactos.

Para isso, foi realizado um levantamento de estudos sobre o tema no Brasil e no mundo, assim como os laboratórios que vêm trabalhando nessa questão. Devido ao longo período de planejamento centralizado, a principal fonte de informação no Brasil são as empresas do sistema Eletrobras, em geral, e o Cepel, em particular. Além disso, há várias dissertações e teses que tratam do assunto, além de algumas consultorias que trabalham com desenvolvimento tecnológico, considerando seus impactos. Na esfera internacional, foram pesquisados metodologias e modelos de análise desenvolvidos pelas principais agências ligadas à área de energia e meio ambiente, como a Agência Internacional de Energia (IEA), a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), o Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados (IIASA), a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), além de universidades, centros de pesquisa e instituições privadas.

Considerando as dimensões dos impactos das tecnologias, a macrotemática foi dividida em três temáticas, a saber: modelos de avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico; impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias; e impactos do uso, do armazenamento de energia e as tecnologias.

## 10.1 Visão de futuro

### 10.1.1 Cenário setorial

A energia é essencial para a vida moderna, pois permite aumentar o bem-estar da população na medida em que proporciona conforto térmico, iluminação, lazer, entre outros benefícios. Por ser também insumo fundamental do processo produtivo de bens e serviços, representa uma das principais forças motrizes do desenvolvimento econômico de um país.

Essas facilidades, entretanto, podem vir acompanhadas de altos custos sociais, econômicos e ambientais. Construção de grandes barragens das usinas hidrelétricas, exploração e processamento de petróleo, geração de energia nuclear são exemplos de empreendimentos que exigem altos investimentos e podem causar impactos ambientais importantes. Portanto, é necessário que haja um planejamento que, por um lado, possibilite fornecimento de energia, que garanta a segurança no abastecimento pelos menores custos e que minimize os danos à natureza; e, por outro lado, gerencie o consumo, para que este seja feito de maneira eficiente. Ou seja, é necessário que o planejamento energético seja feito de forma sustentável. Isso exige a elaboração de indicadores que sirvam de ferramentas para auxiliar os tomadores de decisão na avaliação do sistema energético no que se refere aos aspectos sociais, econômicos, ambientais.

É importante também considerar no planejamento energético questões atuais como as ações propostas para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para minimização dos impactos das mudanças climáticas e as medidas de adaptação do sistema elétrico ao aquecimento global.

### 10.1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deve ser a viabilização de modelos de análise que permitam avaliar adequadamente os impactos positivos e negativos de projetos energéticos sobre o meio ambiente, a sociedade e a economia do país. Devem ser considerados a produção e o uso de energia, além da necessidade de uma dinâmica suficiente para acompanhar o desenvolvimento das novas tecnologias cujas fontes primárias são renováveis e variáveis, como a eólica e a solar. Devem também ser consideradas as formas de armazenamento de energia. É importante, ainda, adequar os modelos de análise para abarcar a geração distribuída, que vem tomando novas formas manifestadas nas REI.

### 10.1.3 Objetivo específico

Como demanda imediata, ou seja, demanda de curto prazo para PD&I, é necessária a definição de metodologias que permitam a construção de modelos de análise que tratem a produção e o uso de energia de forma integrada, de maneira que as dimensões econômica, social e ambiental sejam contempladas adequadamente.





No médio prazo, devem-se aplicar os modelos de análise desenvolvidos, assim como indicadores de sustentabilidade energética, em projetos energéticos, como hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solar fotovoltaica, cogeração e eficiência energética. No longo prazo, os objetivos de PD&I devem se voltar para as novas tecnologias, como as de armazenamento de energia e as redes/sistemas elétricos inteligentes.

Em resumo, os objetivos específicos de curto, médio e longo prazo são:

**Curto prazo (2017-2020):**

- Desenvolver modelos de avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico.

**Médio prazo (2020-2030):**

Aperfeiçoar métodos de:

- Análise dos impactos da geração hidrelétrica;
- Análise dos impactos da geração a partir de derivados de petróleo;
- Análise dos impactos da geração de energia nuclear;
- Análise dos impactos da geração de energia solar;
- Análise dos impactos da geração de energia eólica;
- Análise dos impactos da geração a partir da biomassa;
- Análise dos impactos da cogeração da energia;
- Análise dos impactos do padrão de consumo de energia;
- Análise dos impactos do armazenamento de energia;
- Análise dos impactos da geração distribuída;
- Análise dos impactos das redes/sistemas elétricos inteligentes;
- Desenvolver e/ou aperfeiçoar veículos elétricos;
- Desenvolver e/ou aperfeiçoar modelos de avaliação de impactos de tecnologia de transmissão.

**Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver novas tecnologias.

### 10.1.4 Fundamentação

A energia, conforme mencionado, é essencial para todas as atividades humanas e é a força motriz do crescimento econômico. Assim sendo, a produção e o uso de energia, bem como o desenvolvimento de tecnologias de energia, proporcionam benefícios socioeconômicos relacionados, principalmente, à geração de emprego e renda. Dessa maneira, é necessário considerar a componente energética na formulação das diversas políticas setoriais. Por outro lado, todas as tecnologias de energia geram

algum tipo de impacto ambiental, muitas vezes, de grande magnitude. Dessa maneira, é importante inserir a dimensão ambiental no processo de desenvolvimento.

De acordo com La Rovere (2016), não há como dissociar a produção e o uso de energia com o meio ambiente, devido à utilização de recursos naturais e aos impactos ambientais envolvidos ao longo da cadeia de produção, transformação, transporte, distribuição, armazenagem e uso final da energia. A energia se manifesta de forma útil ao homem por meio de tecnologias que produzem serviços de transporte, iluminação, condicionamento de ambientes, calor em processos industriais, entre outros. Para que isso ocorra, é necessário converter fontes primárias encontradas na natureza, como, petróleo, gás natural, carvão mineral, energia hidráulica, eólica, em vetores energéticos que são as fontes primárias transformadas em gasolina, eletricidade, carvão vegetal etc.

Além disso, em todas as cadeias energéticas, há uma série de perdas que reduzem a quantidade de energia utilizada pelo consumidor final a apenas uma fração do total de energia primária captada na natureza. Tais perdas têm duas origens principais: ineficiência dos processos e equipamentos usados para converter a energia nos serviços necessários às atividades humanas; e, por força das próprias leis da Física, em particular do segundo princípio da termodinâmica.

Na verdade, nos processos de conversão de energia primária em vetores energéticos ou em fontes modernas de energia (como os derivados de petróleo e a eletricidade), há um aporte de energia externa que pode ser significativo. Por outro lado, há também uma dissipação de determinada quantidade de energia, que se perde fora das fronteiras do sistema. Dessa forma, o uso de fontes fósseis de energia (ex. petróleo, gás natural e carvão mineral) na produção de bens e serviços é acompanhado, necessariamente, da emissão de resíduos (matéria/energia) sobre o meio externo, causando uma série de impactos ambientais (LA ROVERE, 2016 apud ODUM, 1988).

Em alguns casos, os impactos ambientais não estão ligados à geração de resíduos, mas ao uso de extensas áreas para a produção de energia em grande escala, como é o caso das grandes barragens das hidrelétricas ou das fazendas eólicas e solares, que, muitas vezes, representam desmatamento, inundações e/ou deslocamento de comunidades.

Há também grandes riscos de acidentes que acompanham a operação normal das instalações de produção e uso da energia. Segundo La Rovere (2016), o caso da energia nuclear é, sem dúvida, o mais importante nesse campo, mas, em outra escala e com características diversas, também as barragens hidroelétricas, as biotecnologias, as minas de carvão, os poços, as refinarias e o transporte de petróleo, entre outros, apresentam riscos tecnológicos que têm de ser considerados.

Deve-se ressaltar, entretanto, que os principais riscos ambientais em escala mundial estão associados à produção e ao uso de energia. Dentre eles, pode-se citar o aquecimento global, provocado pela intensificação do efeito estufa, a poluição urbana e a chuva ácida.



No intuito de reduzir a exposição da humanidade aos impactos ambientais associados ao setor de energia, várias iniciativas foram criadas no sentido de expandir o uso de fontes renováveis de energia, de se utilizar energia de forma mais eficiente e de se adotarem tecnologias que trazem a energia para mais próximo do consumidor, com a geração distribuída, as REI e as baterias. Tais tecnologias trarão novas oportunidades de geração de empregos e renda, mas também não estão isentas de impactos ambientais. Dessa forma, precisam ser analisadas apropriadamente.

## 10.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

A Planilha de Indicadores reflete a necessidade de construção de uma base de dados de recursos energéticos, do estado atual das tecnologias, do progresso tecnológico e de aspectos ambientais. Ademais, é necessário o investimento no desenvolvimento de algoritmos para a construção de modelos de análise. Por fim, é importante mapear os aspectos socioeconômicos e ambientais relacionados com a produção e o uso de energia.

Convém ressaltar que as questões orientadoras relativas às áreas de estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado, na maioria dos casos das temáticas deste estudo, não se aplicam, por não se tratar de desenvolvimento de tecnologias, e sim de análise de impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias.

De qualquer forma, no que diz respeito à estratégia setorial, um modelo regulatório socioambiental restrito dará mais importância às rotas consideradas neste estudo. Da mesma forma, nos planos decenais e de longo prazo, será necessário dar maior destaque às questões abordadas nessa macrotemática.

Nas outras áreas, os estudos sobre os aspectos sociais, econômicos e ambientais, de modo geral, sempre apresentam altos impactos em termos de geração de emprego de alta qualificação por conta das características desse conhecimento. Por isso, há também a necessidade de criação de laboratórios e de uma rede colaborativa para difusão e compartilhamento do conhecimento. Por consequência, há sempre alta produção de CT&I em âmbito nacional e internacional, tanto no que diz respeito à produção científica quanto na geração de patentes (*softwares* dos modelos de análise).

Novamente, é importante destacar que essas observações são válidas para todas as rotas que serão apresentadas a seguir.

## 10.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática análise dos impactos das tecnologias consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 65 ao Gráfico 76. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

### 10.3.1 Temática: Modelos de avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico

Na temática modelos de avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico, só há uma rota, que são os próprios modelos de avaliação que refletem a necessidade de aperfeiçoamento das referidas ferramentas, considerando um conjunto de estudo de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### **Roadmap tecnológico**

##### *Rota 1 - Modelos de avaliação*

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas construção de base de dados e desenvolvimento de algoritmos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

- Construção da base de dados

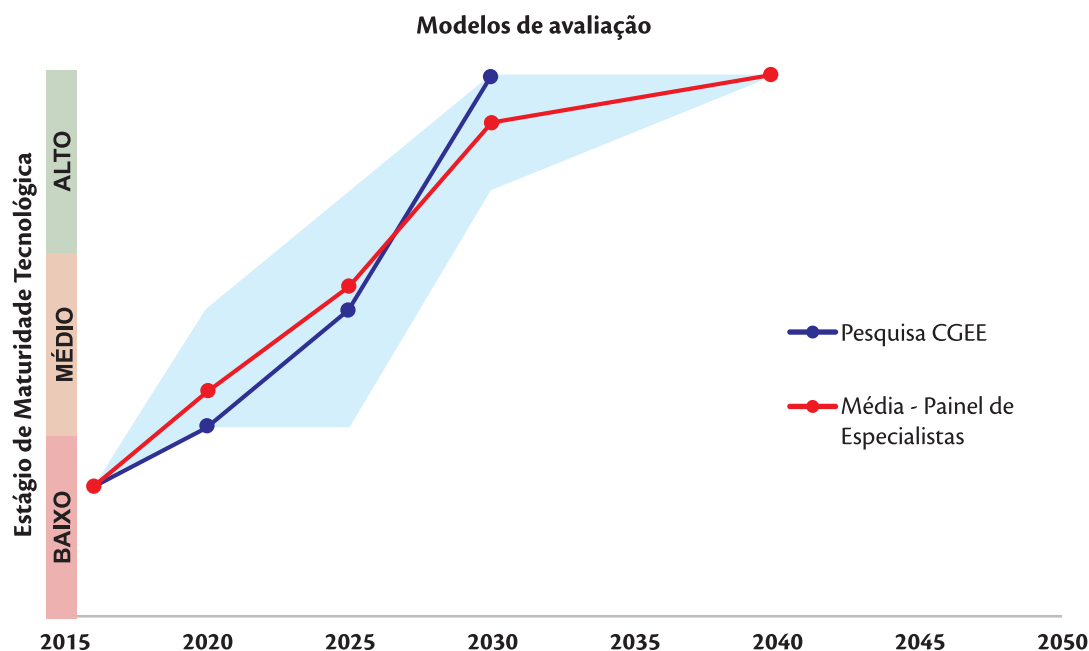
Nessa métrica, foi considerado necessário o mapeamento completo de todos os recursos energéticos disponíveis e suas influências no meio ambiente e na economia até 2020. Em seguida, é necessário mapear os ciclos de vida das tecnologias e das fontes de energia utilizadas no país. Essa base de dados deve ser atualizada continuamente para que os modelos de avaliação produzam resultados confiáveis.



- Desenvolvimento de algoritmos

Os modelos de avaliação exigem o desenvolvimento de algoritmos para análise de ciclo de vida das tecnologias e dos recursos energéticos, para análise multicritério, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais, e para a gestão de conflitos no setor elétrico brasileiro. Considerando que existem esforços nesse sentido, é possível ter essa modelagem disponível em 2020. Em seguida, é necessário desenvolver algoritmos que permitam a análise não somente dos aspectos ambientais e socioeconômicos, mas que também incorporem a questão da incerteza. Essa ferramenta deve estar disponível para uso em 2025.

No Gráfico 65, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota modelos de avaliação.



**Gráfico 65** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Avaliação

Fonte: Elaboração própria.

Existem vários modelos acadêmicos e comerciais que integram variáveis socioambientais, principalmente os que usam análise multicritério e análise de ciclo de vida. Muito estudo também tem sido feito para integrar em uma única ferramenta os aspectos econômicos, considerando o uso de energia e os ambientais, como uso da água, uso do solo e mudanças climáticas. Nesse caso, ainda é necessária a definição dos elementos básicos do conhecimento.

Os principais estudos, entretanto, ainda são acadêmicos. Não há uma cultura, entre os fabricantes de equipamentos no Brasil, de fazer grandes análises de impactos dos seus produtos. No setor elétrico, é mais comum, pois os impactos ambientais são mais importantes e, muitas vezes, resultam em atrasos no cronograma das obras.

Uma vez definidas as exigências de estudos de impactos ambientais, não somente para as fontes de energia, mas para as tecnologias de produção, transformação e uso, haverá mais laboratórios desenvolvendo modelos de análises.

Assim, no médio prazo (2030), já é possível ter modelos de análise disponíveis no mercado. Entretanto, é necessário investir continuamente na atualização da base de dados.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 39, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 39** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas  
 Modelos de Avaliação dos Impactos Econômicos, Sociais e Ambientais das Tecnologias  
 do Setor Elétrico da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Modelos de avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico	Modelos de avaliação	Fatores portadores de futuro	A formulação dos modelos de análise é bem definida. Não há uma cultura entre os fabricantes de equipamentos de fazer grandes análises de impactos dos seus produtos nem exigência por parte do poder público.		Existem vários modelos acadêmicos e comerciais que integram variáveis socioambientais. A EPE não adota modelos de análise de impactos nos Planos de Expansão.		Os modelos de análises já devem estar em uso no longo prazo. Necessidade de manter uma base de dados atualizada.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



### 10.3.2 Temática: Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias

As rotas consideradas na temática impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias refletem a necessidade de mais estudos de fontes tradicionais, que compõem o Grupo I, e novas fontes renováveis, que compõem o Grupo II. Cada uma das rotas reflete um conjunto de estudos de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

#### Agrupamento de rotas I

##### *Rota 1 - Impactos da hidroeletricidade*

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico, aspectos ambientais e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

- Desenvolvimento tecnológico

É necessário intensificar os estudos dos impactos de novas configurações de usinas hidrelétricas, como as UHE reversíveis e as UHE plataformas. Essa é uma demanda de curto prazo, ou seja, o conhecimento deve estar definido até 2025. A partir daí, é importante dar continuidade aos estudos e estar atento às novas configurações de hidrelétricas que podem surgir.

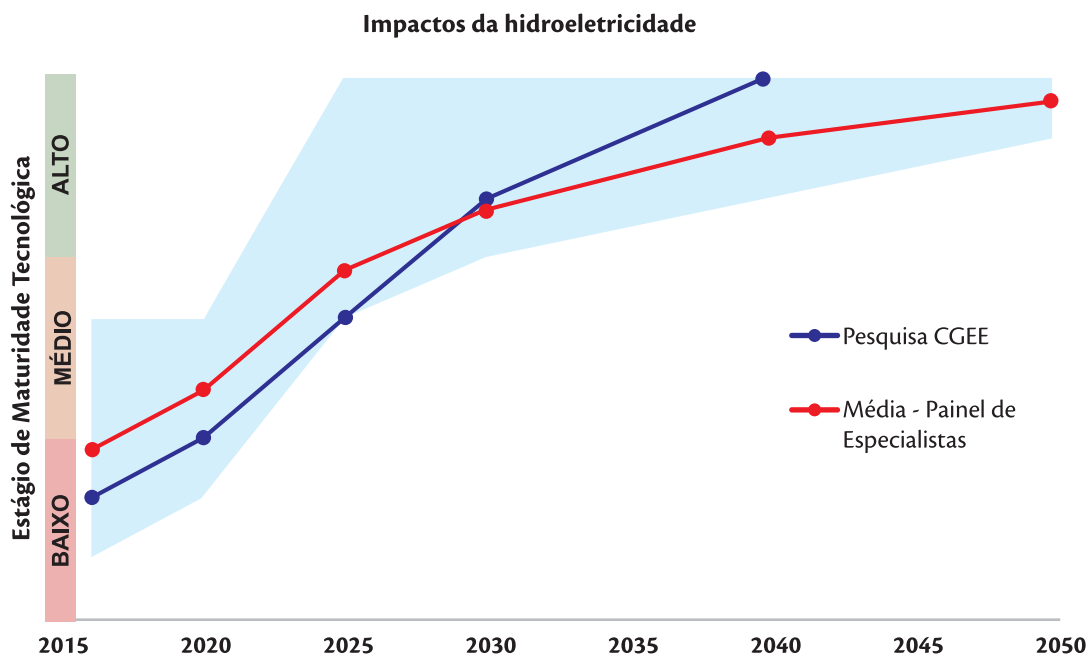
- Aspectos ambientais

Como são cada vez maiores os usos dos recursos hídricos, são necessários estudos dos impactos da alteração dos ciclos hidrológicos das bacias. É igualmente importante conhecer o nível de emissões de GEE dos reservatórios das UHE. Essa é também uma demanda imediata, mas o conhecimento deve estar definido até 2025. A partir daí, é importante uma atualização contínua do estudo.

- Aspectos socioeconômicos

Na medida em que as UHE expandem para a região Norte, é necessário conhecer melhor os impactos em povos tradicionais. Importante também avaliar os impactos decorrentes dos usos múltiplos da água. Já há muitas pesquisas nessa área, portanto o conhecimento deve estar bem definido em 2025, mas é necessário dar continuidade à pesquisa a partir desse ano.

No Gráfico 66, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota impactos da hidroeletricidade.



**Gráfico 66** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Impactos da Hidroeletricidade

Fonte: Elaboração própria.

A análise dos impactos positivos e negativos da hidroeletricidade sobre o meio ambiente e sobre a economia devem sempre fazer parte do planejamento energético. O conhecimento sobre esse tema é bem avançado, entretanto há sempre novas técnicas de exploração das fontes que requerem revisão contínua dos estudos existentes. No caso da geração hidrelétrica, que é prioridade na expansão do SIN, há propostas de configurações novas que precisam ser estudadas para se verificarem seus reais impactos.

Como o conhecimento dessas fontes já é bem avançado, como objetivos de curto prazo, é necessário estudar as novas técnicas de exploração dos recursos. No médio e no longo prazo, é necessário dar continuidade aos estudos.

#### *Rota 2 - Impactos do uso petróleo, gás e derivados*

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico, aspectos ambientais e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.





- Desenvolvimento tecnológico

O Brasil se tornou um importante produtor de petróleo e gás em campos *offshore*, e as plataformas de exploração desses recursos são sempre equipadas com geradores para atender à demanda de energia das estruturas montadas. Assim, é necessário o conhecimento dos impactos das termelétricas *offshore*. Além disso, tem se notado utilização cada vez maior de geradores a diesel no horário de ponta, o que causa impacto ambiental importante, que deve ser estudado no curto prazo.

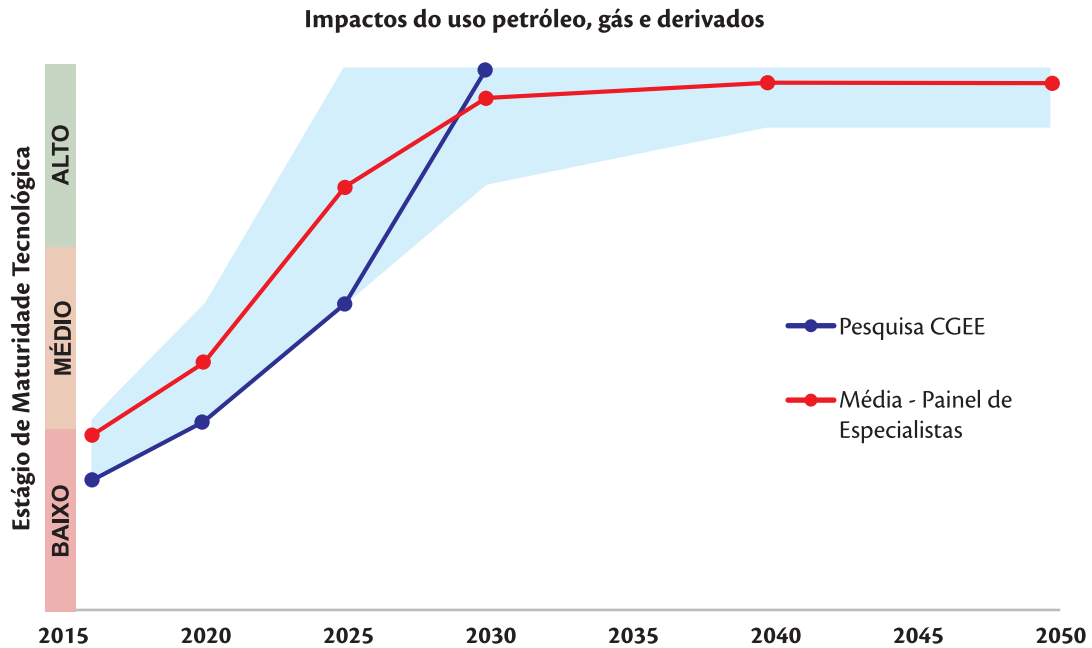
- Aspectos ambientais

Alguns países, com destaque para os EUA, têm intensificado a exploração de gás de xisto, com o desenvolvimento das técnicas de faturamento geológico. Essa técnica apresenta impactos ambientais significativos que devem ser estudados a fundo no curto prazo.

- Aspectos socioeconômicos

Atualmente, quase a totalidade da população brasileira é atendida por um serviço de fornecimento regular de energia elétrica. A pequena parte que não é coberta fica majoritariamente na região Norte, em geral, em locais de difícil acesso. Tais comunidades isoladas são normalmente atendidas por geradores diesel, mas há várias iniciativas de utilização de novas tecnologias sustentáveis, como o aproveitamento de biomassa residual, que merecem ser estudadas no curto prazo para avaliar os possíveis impactos ambientais.

No Gráfico 67, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota impactos do uso de petróleo, gás e derivados.



**Gráfico 67** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Impactos do Uso de Petróleo, Gás e Derivados

Fonte: Elaboração própria.

O conhecimento sobre as cadeias do petróleo e gás natural é bem avançado, entretanto há sempre novas técnicas de exploração das fontes que requerem revisão contínua dos estudos existentes, por exemplo, o caso das novas descobertas na região do pré-sal.

Como o conhecimento dessas fontes já é bem avançado, como objetivos de curto prazo, é necessário estudar as novas técnicas de exploração dos recursos. No médio e no longo prazo, é necessário dar continuidade aos estudos.

### *Rota 3 - Energia nuclear*

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para a métrica desenvolvimento tecnológico, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

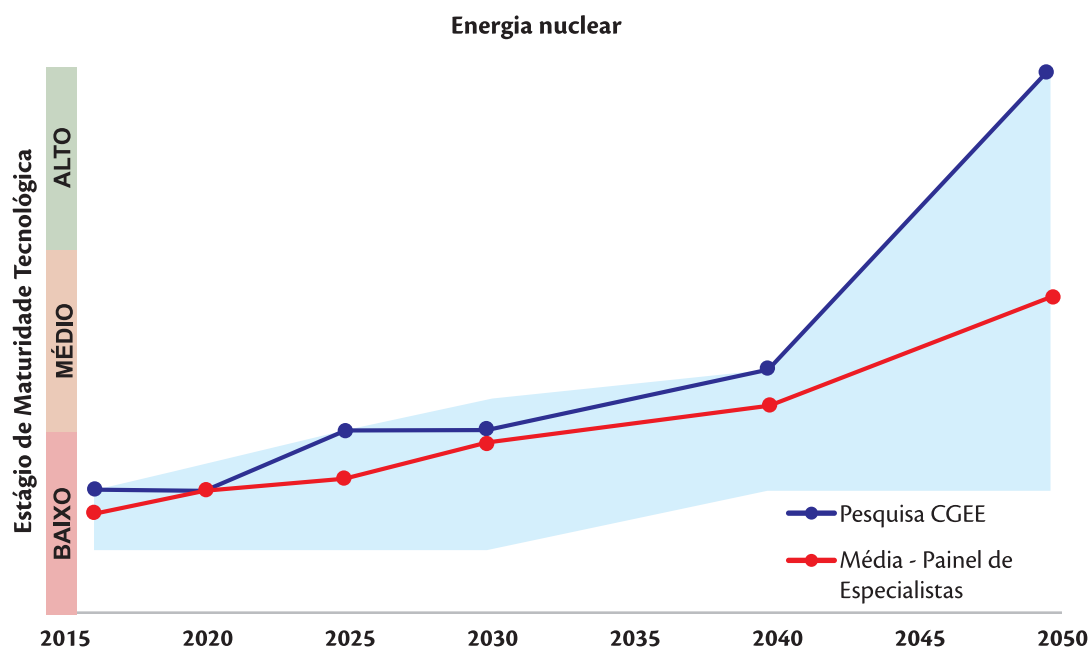
- Desenvolvimento tecnológico

A principal questão ambiental ligada à energia nuclear é o risco de acidentes que provoquem



vazamentos radioativos. É de grande preocupação também a definição de locais para depósito definitivo de resíduos radioativos. Assim, são necessários estudos no curto prazo que permitam análises comparativas das técnicas para definição adequada de depósitos.

No Gráfico 68, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota energia nuclear.



**Gráfico 68** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Nuclear

Fonte: Elaboração própria.

A análise dos impactos positivos e negativos das fontes convencionais de geração de energia elétrica, de modo geral, sobre o meio ambiente e sobre a economia deve sempre fazer parte do planejamento energético. No caso específico da energia nuclear, não há grandes impactos, porém há sempre altos riscos envolvidos na tecnologia, motivo por que não se pode deixar de dar continuidades aos estudos.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 40, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 40** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Impactos das Fontes de Geração de Energia Elétrica sobre as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias	Impactos da hidroeletricidade	Fatores portadores de futuro	O Brasil tem larga experiência no desenvolvimento tecnológico de hidrelétricas, bem como na avaliação dos seus impactos socioambientais. Há novas configurações de hidrelétricas, como as reversíveis e as usinas plataformas, que precisam ser mais estudadas.		Os usos múltiplos da água aumentam os impactos do aproveitamento hidrelétrico sobre os recursos hídricos.		Há impactos ambientais significativos que não são bem conhecidos, como os novos ciclos hidrológicos e as emissões de GEE dos reservatórios.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Impactos do uso de petróleo, gás e derivados	Fatores portadores de futuro	O Brasil tem larga experiência exploração de petróleo e gás natural, bem como na avaliação dos seus impactos socioambientais. Expansão do uso de geradores diesel no horário de ponta, que aumenta a poluição urbana e as emissões de GEE.		Há poucas alternativas ao diesel em comunidades isoladas.		Conhecimento sobre os impactos da exploração do óleo e do gás de xisto limitado.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Energia nuclear	Fatores portadores de futuro	A energia nuclear não provoca grandes impactos ambientais. Os riscos envolvidos na operação de uma usina nuclear são bem significativos.		Há necessidade de constante monitoramento dos riscos.		Não há definição do destino dos resíduos de alta radioatividade.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

## Agrupamento de rotas II

### Rota 1 - Energia solar

A geração distribuída, em geral, e a energia solar fotovoltaica, em particular, provocam impactos na rede elétrica que precisam ser mais bem compreendidos para que essa tecnologia traga benefícios para o sistema. A energia solar também traz benefícios para o aquecimento de água e para os



sistemas de geração de energia elétrica, uma vez que substitui a demanda de energia elétrica no horário de ponta. Muitas tecnologias são complementadas com o gás natural. Assim, são necessários maiores estudos dos impactos desse novo paradigma no curto prazo.

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas aspectos sociais e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

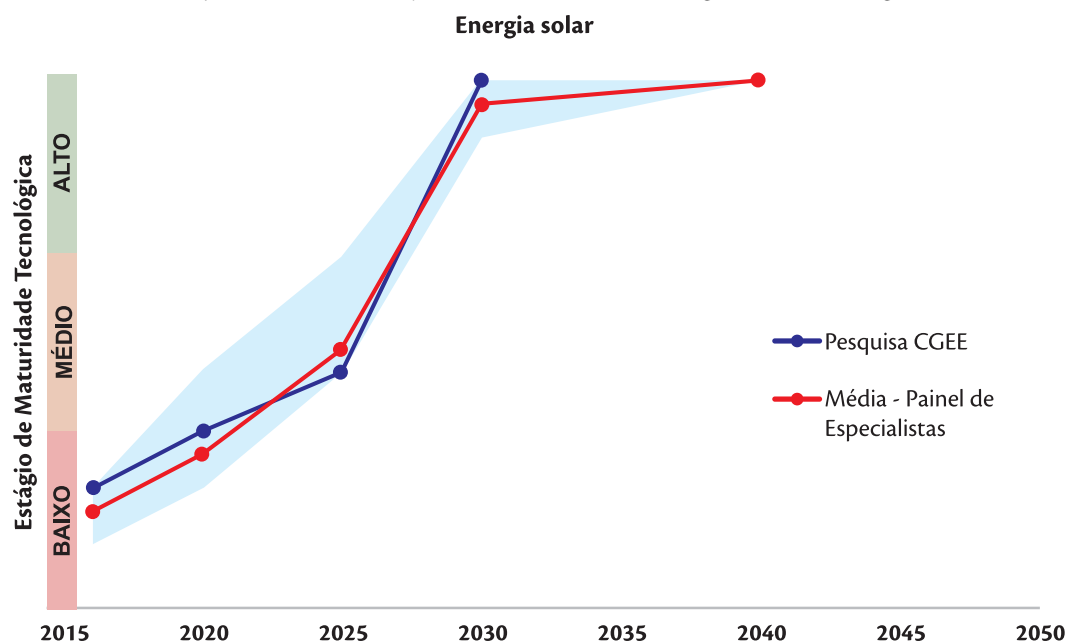
- Aspectos ambientais

O cone de insolação pode provocar alguns impactos ambientais que precisam ser estudados no curto prazo para implementação de painéis fotovoltaicos.

- Aspectos socioeconômicos

Dada a insuficiência no país de cadeias produtivas de painéis fotovoltaicos, a expansão do uso de energia solar vai aumentar demasiadamente as importações de equipamentos. Assim, é necessário analisar os impactos na balança comercial.

No Gráfico 69, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota energia solar.



**Gráfico 69** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Solar

Fonte: Elaboração própria.

As novas fontes renováveis de geração de energia elétrica também trazem consigo impactos positivos e negativos sobre o meio ambiente e sobre a economia e, da mesma forma que as fontes convencionais, devem sempre fazer parte do planejamento energético. O conhecimento sobre esse tema não é tão avançado quanto as fontes convencionais, portanto é sempre importante conduzir estudos sobre essas fontes. Quanto à energia solar, há forte expansão em curso, principalmente na geração distribuída e seus impactos, sobretudo, sobre a rede elétrica, que precisam ser bem conhecidos.

Em resumo, no curto prazo, são necessários estudos sobre as novas tecnologias de aproveitamento dessas fontes. No médio e no longo prazo, é necessário dar continuidade aos estudos.

### ***Rota 2 - Energia eólica***

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico, aspectos sociais e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

- Desenvolvimento tecnológico

A tecnologia das usinas eólicas já está bem avançada, entretanto são necessários mais estudos sobre os impactos de grandes parques eólicos e de usinas *offshore*. No horizonte de 2025, esse conhecimento já deve estar bem definido.

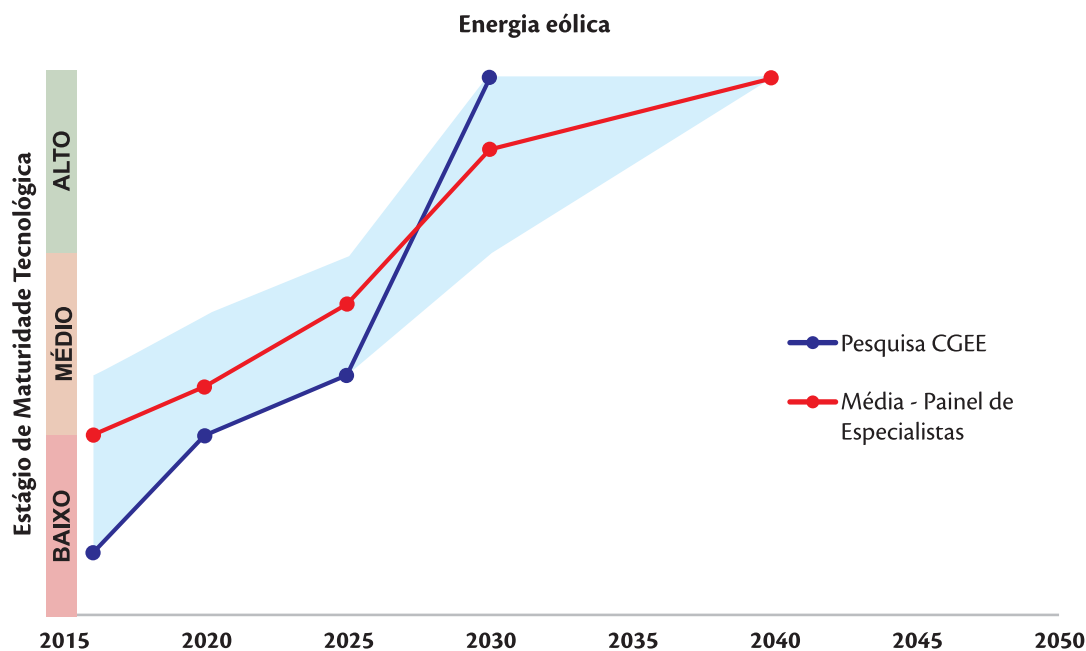
- Aspectos ambientais

A geração eólica pode provocar ruídos às comunidades no entorno das plantas. Assim, são necessários estudos de metodologias de ensaios (medição e padronização) para microlocalização de pequenos geradores.

- Aspectos socioeconômicos

Apesar de provocar poucos impactos ambientais, as usinas eólicas podem ocupar espaços significativos, portanto é necessário estudar os impactos dos usos múltiplos da terra.

No Gráfico 70, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota energia eólica.



**Gráfico 70** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Eólica

Fonte: Elaboração própria.

A energia eólica também apresenta impactos positivos e negativos sobre o meio ambiente e sobre a economia e, da mesma forma que as fontes convencionais, deve sempre fazer parte do planejamento energético. O conhecimento sobre esse tema não é tão avançado quanto as fontes convencionais, portanto é sempre importante conduzir estudos sobre essas fontes. Há, por exemplo, novas tecnologias, tal como a eólica *offshore*, que precisam ser estudadas para se verificarem seus reais impactos.

Em resumo, no curto prazo, são necessários estudos sobre as novas tecnologias de aproveitamento dessa fonte. No médio e no longo prazo, é necessário dar continuidade aos estudos.

### Rota 3 - Energia biomassa

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico, aspectos sociais e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

- Desenvolvimento tecnológico

Os novos desenvolvimentos tecnológicos do aproveitamento energético da biomassa demanda estudos dos impactos, como dos biodigestores e da "nova colheita da cana".

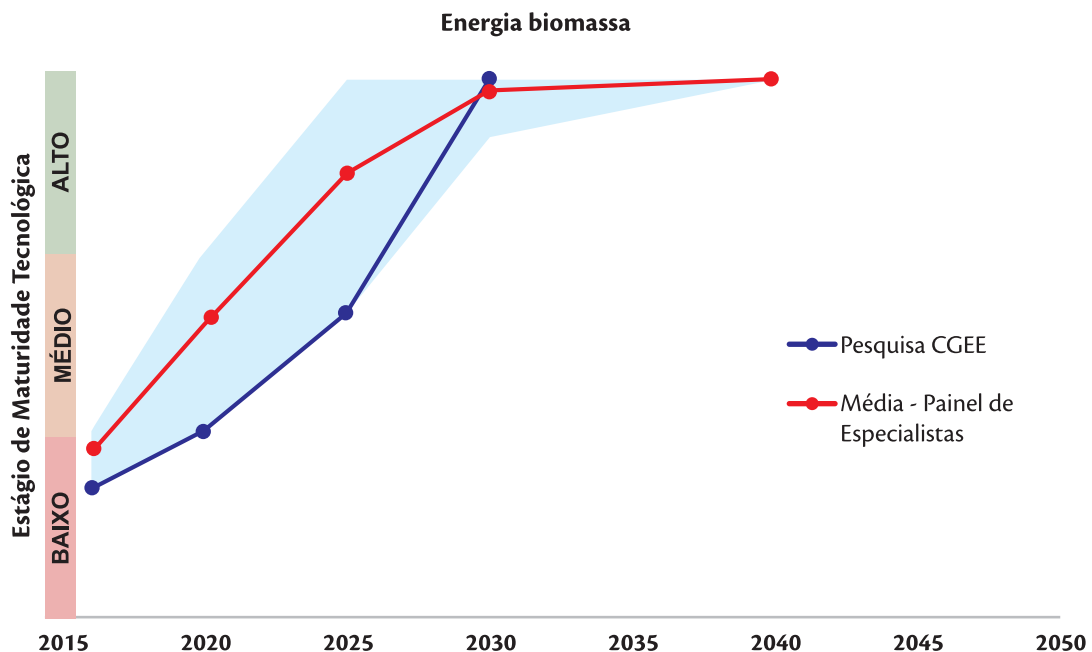
- Aspectos ambientais

Os resíduos urbanos, industriais e agrícolas podem ser importantes insumos para o aproveitamento energético, principalmente se for considerada a complementaridade entre estes e outras fontes de geração. Assim, são necessários estudos dos possíveis impactos positivos e negativos.

- Aspectos socioeconômicos

O aproveitamento energético de resíduos pode trazer grandes benefícios ambientais, por evitar que sejam descartados em aterros sanitários ou em lixões, e também podem trazer benefícios sociais, pois podem gerar renda para uma parte mais pobre da população.

No Gráfico 71, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota energia biomassa.



**Gráfico 71** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Biomassa

Fonte: Elaboração própria.





A energia da biomassa é bem conhecida, podendo ser considerada uma fonte convencional. De qualquer forma, seus impactos positivos e negativos sobre o meio ambiente e sobre a economia são importantes e devem sempre fazer parte do planejamento energético. Mesmo assim, há também novas tecnologias, tal como a “nova colheita da cana”, que precisam ser mais bem estudadas para se verificarem seus reais impactos.

Em resumo, no curto prazo, são necessários estudos sobre as novas tecnologias de aproveitamento dessas fontes. No médio e no longo prazo, é necessário dar continuidade aos estudos.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 41, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 41** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Impactos das Fontes de Geração de Energia Elétrica sobre as Tecnologias da Macromatemática Análise dos Impactos das Tecnologias

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias	Energia solar	Fatores portadores de futuro	Os impactos da energia solar fotovoltaica não são significativos e são bem conhecidos. Os impactos do cone de insolação não são bem compreendidos.		O Brasil tem a maior reserva de silício do mundo. A produção de placas solares é energo intensiva.			A geração fotovoltaica e de Concentrated Solar Power (CSP) pode ter participação significativa na oferta de uma fonte limpa e abundante no Brasil. A geração solar é intermitente, causando dificuldades na operação do SIN.
		Maturidade		BAIXO	MÉDIO		ALTO	
	Energia eólica	Fatores portadores de futuro	Os impactos da eólica são pequenos e bem conhecidos, assim com suas tecnologias de aproveitamento. Há novas tecnologias que precisam ser estudadas, principalmente a eólica <i>offshore</i> .		O desenvolvimento da energia eólica favorece a indústria nacional de equipamento. Há necessidade de estudos (medição e padronização) para microlocalização de pequenos geradores para evitar ruídos às comunidades em volta.		As tecnologias produzem geração intermitente, podendo gerar impactos nas redes elétricas.	
		Maturidade		BAIXO	MÉDIO		ALTO	

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias	Energia biomassa	Fatores portadores de futuro	Os impactos da energia da biomassa são bem conhecidos, assim como suas tecnologias de aproveitamento. Há novas tecnologias que precisam ser estudadas, como biodigestores e a “nova colheita da cana”.		Complementaridade com resíduos industriais, urbanos e agrícolas.		As fontes favorecem à geração distribuída.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

### 10.3.3 Temática: Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias

As rotas consideradas na temática impactos do uso, do armazenamento de energia e as tecnologias refletem a necessidade de mais estudos de fontes tradicionais, que compõem o Grupo I, e novas fontes renováveis, que compõem o Grupo II. Cada uma das rotas reflete um conjunto de estudos de PD&I que podem ser conduzidos de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

#### Agrupamento de rotas I

##### Rota 1 - Armazenamento de energia

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico, aspectos ambientais e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

- Desenvolvimento tecnológico

O armazenamento de energia vai viabilizar várias tecnologias, como o veículo elétrico. Para isso, entretanto, será necessária a construção de uma infraestrutura que dê conta da expansão do consumo de energia concentrado em determinados horários. Assim, são necessários estudos para avaliar os impactos dessas tecnologias.

- Aspectos ambientais

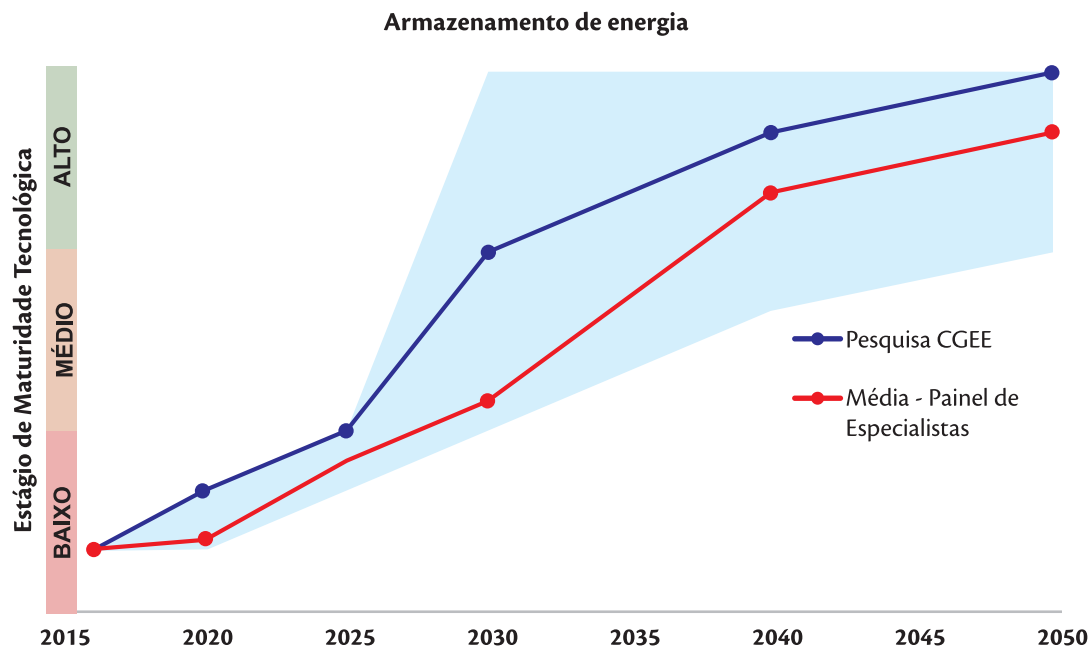


As baterias têm, entre seus componentes, metais pesados que precisam de destinação adequada no momento do seu descarte. Assim, é necessário conduzir estudos de impactos que considerem o ciclo de vida dessa tecnologia.

- Aspectos socioeconômicos

O armazenamento de energia pode viabilizar várias tecnologias de geração intermitentes. Assim, é necessário conduzir estudos para analisar a complementaridade entre as tecnologias.

No Gráfico 72, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota armazenamento de energia.



**Gráfico 72** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Armazenamento de Energia

Fonte: Elaboração própria.

As novas tecnologias de energia, como as baterias, apresentam impactos ambientais importantes, além de mudar a estrutura do sistema elétrico e o comportamento do consumidor. Portanto, devem ser tratadas adequadamente no planejamento energético. O conhecimento sobre esse tema não é tão avançado e requer muitos estudos já no curto prazo. No médio e longo no prazo, é necessário monitorar o desenvolvimento de novas tecnologias e de novos modelos de negócio no setor elétrico.

## Rota 2 - Geração distribuída

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

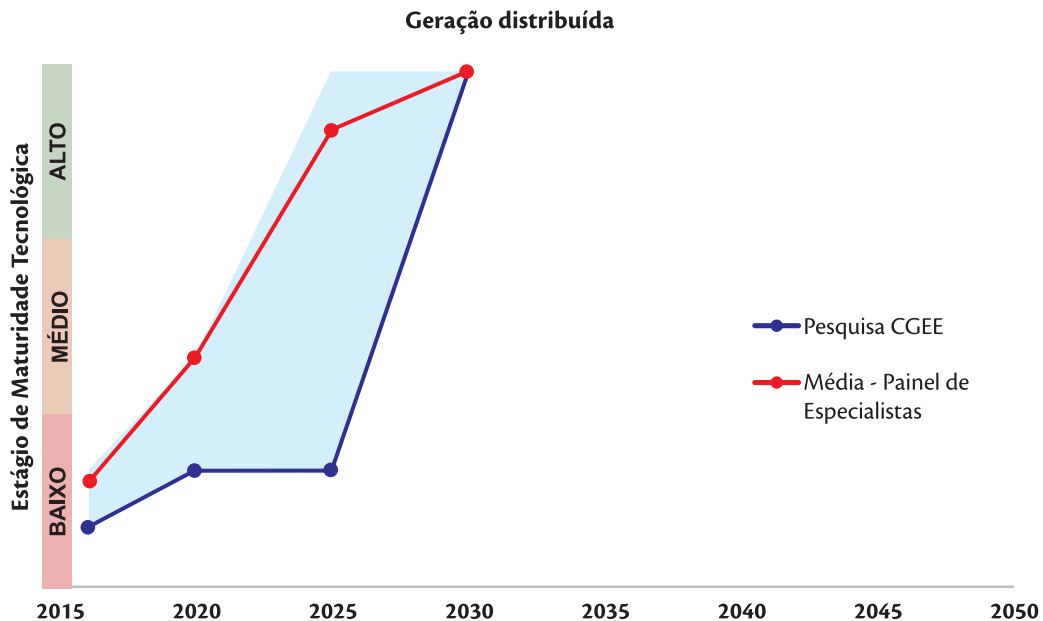
- Desenvolvimento tecnológico

Há várias sinergias entre as fontes de geração distribuída e as REI. Assim, é importante mapear todas as possibilidades de integração entre as duas tecnologias, bem como conhecer os impactos resultantes dessa integração.

- Aspectos socioeconômicos

Existe muita complementaridade entre as fontes de geração distribuída, portanto é necessário um mapeamento de todas as possibilidades, não somente para aumentar a oferta de energia próximo à demanda, mas também para identificar oportunidades de geração de emprego e renda.

No Gráfico 73, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota geração distribuída.



**Gráfico 73** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Geração Distribuída

Fonte: Elaboração própria.



As novas tecnologias de geração distribuída impactam pouco o meio ambiente, mas mudam a estrutura do sistema elétrico e o comportamento do consumidor, portanto devem ser tratadas adequadamente no planejamento energético. O conhecimento sobre esse tema não é tão avançado e requer muitos estudos já no curto prazo. No médio e no longo prazo, é necessário monitorar o desenvolvimento de novas tecnologias e de novos modelos de negócio no setor elétrico.

### *Rota 3 - Redes elétricas inteligentes (smart grid)*

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento tecnológico e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

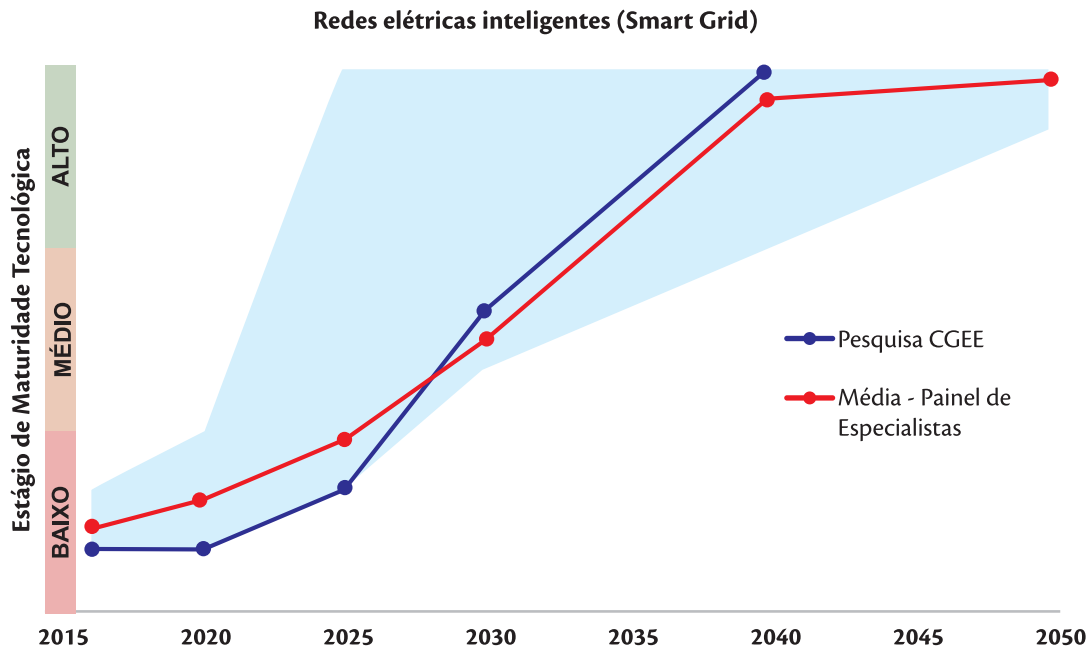
- Desenvolvimento tecnológico

As redes inteligentes são particularmente importantes para deslocar o consumo no horário de ponta, mas exigem desenvolvimento tecnológico conjunto com a telecomunicação. Isso pode gerar problemas de segurança cibernética e requer estudos para se determinarem os potenciais riscos.

- Aspectos socioeconômicos

As REI permitem que os consumidores tenham participação mais ativa no mercado de energia elétrica, por exemplo, fornecendo energia para rede ou vendendo sua redução de consumo. Isso vai resultar em mudanças dos hábitos da população e na criação de novos mercados, portanto requer estudos para se avaliarem os impactos no setor elétrico.

No Gráfico 74, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota redes elétricas inteligentes (*smart grid*).



**Gráfico 74** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Redes Elétricas Inteligentes (*Smart grid*)

Fonte: Elaboração própria.

As novas tecnologias de energia de REI impactam pouco o meio ambiente, mas mudam a estrutura do sistema elétrico e o comportamento do consumidor, portanto devem ser tratadas adequadamente no planejamento energético. O conhecimento sobre esse tema não é tão avançado e requer muitos estudos já no curto prazo. No médio e no longo prazo, é necessário monitorar o desenvolvimento de novas tecnologias e de novos modelos de negócio no setor elétrico.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 42, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 42** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Impactos do Uso e do Armazenamento de Energia e as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias	Armazenamento de energia	Fatores portadores de futuro	O armazenamento de energia viabiliza a geração com fontes intermitentes. O descarte das baterias pode causar impactos ambientais importantes.		As baterias podem favorecer a expansão do uso de veículos elétricos.		Não se conhecem os efeitos de armazenamento em larga escala por baterias.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	
	Geração distribuída	Fatores portadores de futuro	A geração distribuída permite sinergias com outras tecnologias e aproxima a geração do centro consumidor, reduzindo o custo de transporte de energia. A geração distribuída implica mudança na estrutura produtiva de energia.		Possibilidade de utilização de várias fontes de energia.		Favorece a expansão das REI e das microrredes.	
		Maturidade	BAIXO			ALTO		
	Redes Elétricas Inteligentes ( <i>Smart grid</i> )	Fatores portadores de futuro	Há pouco conhecimento sobre os impactos das REI.		As REI permitem sinergias com outras tecnologias, como os veículos elétricos. As REI implicam mudança de comportamento dos consumidores.		Questões de segurança cibernética.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

## Agrupamento de rotas II

### Rota 1 - Padrões de consumo de energia

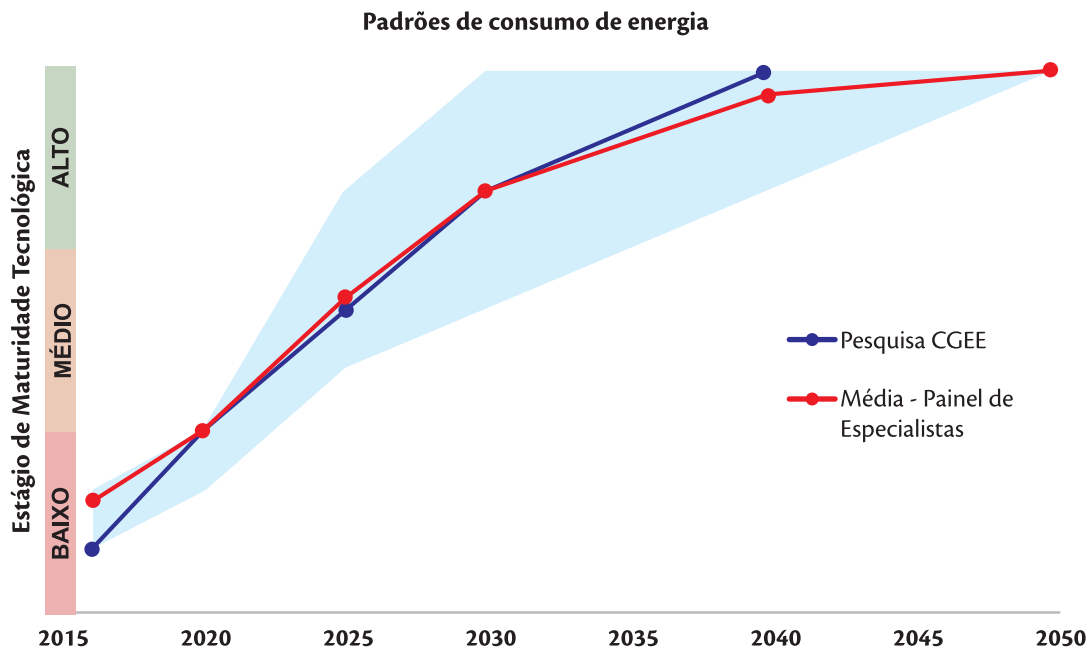
Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para a métrica desenvolvimento tecnológico, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

- Desenvolvimento tecnológico

Há grande desenvolvimento tecnológico que permite melhor gestão da carga, de modo que os

consumidores poderão escolher o melhor momento para o consumo de energia, respondendo à sinalização de preços, a partir de equipamentos mais eficientes no uso de energia. É necessário, portanto, compreender os impactos dessas mudanças no padrão de consumo.

No Gráfico 75, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota padrões de consumo de energia.



**Gráfico 75** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Padrões de Consumo de Energia

Fonte: Elaboração própria.

As novas tecnologias de geração distribuída, de REI e de eficiência energética permitirão aos consumidores participação mais ativa no mercado de energia elétrica. Essa mudança de comportamento trará impactos no sistema elétrico que precisam ser bem mapeados para que se mantenha a qualidade no fornecimento de energia. O conhecimento sobre esses temas não são tão avançados e requerem muitos estudos já no curto prazo. No médio e no longo prazo, é necessário monitorar o desenvolvimento de novas tecnologias e de novos modelos de negócio no setor elétrico.

### Rota 2 - Cogeração de energia

Para essa rota, foram construídos cenários alternativos para as métricas desenvolvimento





tecnológico e aspectos socioeconômicos, de acordo com a Planilha de Indicadores (ver Anexo), considerando os horizontes temporais.

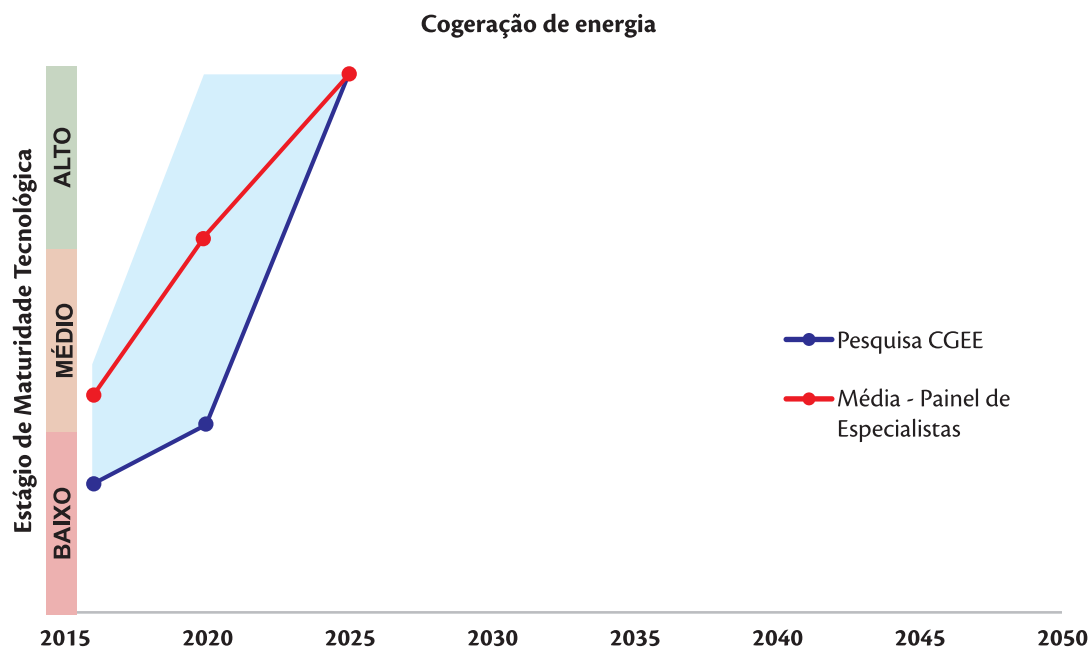
- Desenvolvimento tecnológico

A cogeração com gás natural, ou com resíduos, tem grande complementaridade com outras fontes de geração de energia elétrica. Portanto, há necessidade de se avaliarem seus impactos no sistema elétrico.

- Aspectos socioeconômicos

A cogeração como geração distribuída gera emprego e renda nos grandes centros urbanos e como o uso de resíduos de biomassa, como o bagaço de cana-de-açúcar, gera emprego e renda no campo. Portanto, são necessários estudos de fomento e de impactos socioeconômicos da cogeração.

No Gráfico 76, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota cogeração de energia.



**Gráfico 76** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Cogeração de Energia

Fonte: Elaboração própria.

As novas tecnologias de geração distribuída, sobretudo a cogeração, trarão impactos no sistema elétrico que precisam ser bem mapeados para que se mantenha a qualidade no fornecimento de energia. O conhecimento sobre esse tema é bem avançado, mas requer mais estudos já no curto prazo. No médio e no longo prazo, é necessário monitorar o desenvolvimento de novas tecnologias e fontes para cogeração de energia.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 43, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 43** - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Impactos do Uso e do Armazenamento de Energia e as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias	Padrões de consumo de energia	Fatores portadores de futuro	A mudança de comportamento pode levar a um consumo racional de energia. O comportamento dos consumidores é difícil de parametrizar.		A mudança do comportamento do consumo fica muito dependente do progresso tecnológico.		O desenvolvimento de REI pode favorecer a gestão da carga.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Cogeração de energia	Fatores portadores de futuro	A cogeração favorece também a sinergia com outras fontes. A cogeração traz mudanças na estrutura produtiva do sistema elétrico.		Permite complementaridade entre as fontes.		Favorece a geração distribuída.	
		Maturidade	BAIXO		ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

## 10.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas,



com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macromatemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 44.

**Tabela 44** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macromatemática Análise dos Impactos das Tecnologias

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Modelos de avaliação	Modelos de avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias do setor elétrico
2	Padrões de consumo de energia	Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias
3	Redes elétricas inteligentes ( <i>smart grid</i> )	Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias
4	Armazenamento de energia	Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias
5	Impactos da hidroeletricidade	Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias
6	Geração distribuída	Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias
7	Energia solar	Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias
8	Energia biomassa	Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias
9	Energia eólica	Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias
10	Cogeração de energia	Impactos do uso e do armazenamento de energia e as tecnologias
11	Impactos do uso petróleo, gás e derivados	Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias
12	Energia nuclear	Impactos das fontes de geração de energia elétrica sobre as tecnologias

Fonte: Elaboração própria.

A rota modelos de avaliação foi levantada de forma unânime pelos especialistas como a prioridade número um, haja vista que tais ferramentas viabilizam os estudos de todas as outras rotas. Nas outras, houve muita divergência, mas, de forma geral, entende-se que a análise do comportamento do consumidor deve vir em seguida, também porque é dessa rota que se podem compreender as tecnologias que virão a ser utilizadas.

Em seguida, os especialistas apontaram as REI, que são tecnologias que vêm penetrando em vários mercados, mas não são muito conhecidas. Portanto, há necessidade de priorização nos estudos dos seus impactos. Pela mesma razão, os especialistas apontaram armazenamento de energia como a rota que vem em seguida na ordem de prioridade.

A hidroeletricidade foi apontada como a quinta, porque essa é a fonte de energia que é declaradamente a prioridade na expansão do setor elétrico. Mesmo sendo a tecnologia de aproveitamento hidrelétrico dominada no Brasil, há novas configurações sendo propostas e, portanto, há necessidade de mais estudos nessa área.

A geração distribuída está na sexta posição na ordem de prioridades. Esse conhecimento é importante porque viabiliza a expansão da energia solar, da energia da biomassa, da energia eólica e da cogeração, que são apontadas como sétima, oitava, nona e décima, respectivamente, na ordem de prioridades.

Por fim, vem a cadeia do petróleo e gás natural, fontes de energia convencionais e bem desenvolvidas no país. Portanto, as outras fontes e tecnologias vêm na frente em ordem de prioridade. A energia nuclear é apontada pela maioria dos especialistas como a última das prioridades, visto que a retomada da expansão nuclear só deve acontecer após 2030.



## Capítulo 11

---





## Capítulo 11

# Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Essa macrotemática tem por objetivo central desenvolver modelos com utilização de metodologias prospectivas para estudar/simular o efeito das políticas públicas e dos diversos mecanismos que podem ser utilizados para sua implementação, integrando, além da economia e energia, as dimensões ambiental e social, o que reflete as prioridades da política energética nacional de segurança energética, modicidade tarifária e sustentabilidade. Esses novos modelos deverão buscar a incorporação de análises de risco das diversas políticas públicas e modelagens de apoio a decisão, fazendo uso de megadados, com impacto direto nos instrumentos de planejamento energético e análise regulatória.

Como para todas as macrotemáticas, foram definidas temáticas e rotas de pesquisas, desagregadas numa série de linhas de pesquisa.

A macrotemática modelos de avaliação de políticas públicas, inserida na área de conhecimento do Grupo Temático Assuntos Sistêmicos, foi dividida em quatro temáticas: i) políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas; ii) políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia; iii) políticas públicas voltadas para aspectos socioambientais; iv) políticas internacionais.

A macrotemática modelos de avaliação de políticas públicas foi desagregada em quatro temáticas, gerando um total de oito rotas que agregam 26 linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), apresentadas no Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico). Certamente, as rotas ligadas ao setor de energia têm apelo maior para eventuais programas de P&D estratégicos futuros, mas o imbricamento do setor energético com as dimensões ambiental, social, industrial e de CT&I não faz as demais rotas menos importantes.

## 11.1 Visão de futuro

### 11.1.1 Cenário setorial

Três são os grandes objetivos da política energética do país: segurança energética, sustentabilidade e modicidade tarifária. No que diz respeito à sustentabilidade, o tema energia está mais e mais imbricado com a temática ambiental, na medida em que, em nível global, o setor é o maior emissor de GEE, ainda que nacionalmente esteja caminhando para representar apenas um quarto das emissões do país, com pequena participação da produção de energia elétrica. A modicidade tarifária, além da universalização do serviço, insere-se no contexto de outro conceito que também tem grande apelo global: *Sustainable Energy for All* (SE4All), que acaba açambarcando os três grandes objetivos.

Outras questões estão diretamente ligadas a esses três grandes objetivos, podendo ser considerados objetivos específicos das políticas para a área energética ou políticas de outros setores, mas de grande impacto na área energética. As políticas para as cidades e para os transportes, de alguma forma, já estão inter-relacionadas e são de grande impacto na área energética. Políticas de incentivo às fontes renováveis, além da hidroeletricidade, como se comprometeu o Brasil no âmbito de Acordo de Paris, vão exigir maciço reforço dos sistemas de T&D, busca de integração e complementaridade de fontes, geração distribuída, eficiência energética e smart cities. Políticas industriais podem contemplar cadeias de energéticos, e políticas agrícolas também impactam o setor energético, ainda que a universalização já esteja praticamente alcançada.

Assim, por conta desse entrelaçamento das dimensões ambiental e energética, as políticas e a regulação energética devem aprofundar o estímulo ao uso de fontes renováveis, mas sempre tendo em conta a necessidade de se trabalhar com a modicidade e a segurança energética. Isso torna as políticas públicas em energia extremamente impactantes nos demais setores da sociedade, passando a se exigirem análises mais refinadas de impactos.

### 11.1.2 Objetivo geral

Desenvolvimento de modelos, com apoio de metodologias quantitativas e qualitativas, para estudar, simular e avaliar o efeito de políticas públicas e de diversos mecanismos que podem ser utilizados para sua implementação, integrando, além das dimensões econômica e energética, as dimensões ambiental, social e de aspectos intersetoriais, a exemplo das políticas industriais, de saneamento, de transporte, dentre outras. Três fatores devem ser levados em conta na avaliação das políticas e seus instrumentos: eficácia, eficiência e efetividade. Esses novos modelos deverão buscar a incorporação de análises de risco das diversas políticas públicas, com considerações sobre a aleatoriedade dos resultados das políticas e modelagens de apoio a decisão, fazendo uso de megadados, com impacto direto nos instrumentos de planejamento energético e análise de impacto regulatório.





### 11.1.3 Objetivo específico

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Desenvolver metodologias para estudar, simular e avaliar o impacto do Acordo de Paris nas políticas públicas no setor de energia elétrica, além de incorporar ao setor o ferramental já utilizado nos modelos climáticos;
- Elaborar mecanismos diversos para simular os impactos de políticas públicas de criação e/ou difusão de novas tecnologias e inovação nas tarifas e nas receitas dos agentes setoriais;
- Elaborar mecanismos diversos para avaliar os impactos de políticas públicas de energia elétrica existentes, considerando as distintas dimensões em face dos objetivos para os quais foram criadas e consolidando uma base de dados de amplo acesso;
- Desenvolver metodologias para estudar, simular e avaliar o impacto de novos arranjos e modelos de negócios nas políticas públicas, considerando, inclusive, a disseminação da figura do “prosumidor” (*prosumer*) no setor elétrico, assim como o impacto das políticas sobre os agentes setoriais.

#### **Médio prazo (2020-2030):**

- Elaborar mecanismos para avaliar os impactos mútuos de políticas públicas de energia elétrica, considerando sua integração com demais políticas públicas, como industriais, CT&I, transporte, cidades e saneamento.

#### **Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver modelos que agreguem políticas públicas de diferentes países, visando à sua integração energética, em particular nas áreas de gás e energia elétrica e suas exigências;
- Incorporar imagens de satélites, informações georreferenciadas de dados socioeconômicos e ambientais, análise de cenários climáticos em modelos para análise de impactos de políticas na área de energia elétrica.

### 11.1.4 Fundamentação

O capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento Executivo”) foi o documento base para o exercício de cenarização considerada na montagem da visão de futuro.

Assim, tendo como ponto de partida, tal como indicado no documento, o tripé que considera a segurança energética, a sustentabilidade e a modicidade tarifária, e os demais direcionamentos políticos do documento, foi possível definir como objetivo geral dessa macrotemática desenvolver modelos com utilização de metodologias prospectivas para simular e estudar o efeito das políticas públicas e dos diversos mecanismos que podem ser utilizados para sua implementação, integrando,

além de economia e energia, as dimensões ambiental e social. Obviamente, a macrotemática não objetiva desenvolver políticas públicas, mas prover modelagens que ajudem o decisor na formulação dessas políticas, por meio de simulações, análises prospectivas e de impactos, montagens de cenários etc. O projeto tem por objetivo principal levantar linhas de PD&I estratégicas para o desenvolvimento da macrotemática modelos de avaliação de políticas públicas.

Esses novos modelos deverão buscar a incorporação de análises de risco das diversas políticas públicas e modelagens de apoio a decisão, fazendo uso de megadados, com impacto direto nos instrumentos de planejamento energético e impacto regulatório.

Algumas questões, em particular, são consideradas para formatar essa visão de futuro do setor elétrico no âmbito da macrotemática modelos de avaliação de políticas públicas:

- A necessidade de universalizar, no mais curto tempo possível, e menor impacto nas tarifas, o serviço de energia elétrica e, nesse sentido, é ressaltada a iniciativa das Nações Unidas SE4All, que o Brasil sempre abraçou;
- Os compromissos formais do governo brasileiro com a comunidade das nações, em particular o Acordo de Paris, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que pauta a necessidade de maior disseminação das fontes renováveis de energia e a realização de leilões por fontes;
- A iminência de grande revisão no setor elétrico, com a introdução maciça de novas tecnologias, como a geração distribuída, em particular da fonte solar, o armazenamento de energia, as REI (*smart-grids*), os veículos elétricos, os diversos instrumentos de eficiência energética e os novos modelos de negócios que farão crescer rapidamente o mercado livre;
- A necessidade de integração energética nacional e regional, sobretudo, de transmissão, para permitir a inserção das fontes intermitentes que, quando pulverizadas em grandes regiões, adquirem maior confiabilidade.

## 11.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Cada temática tem seu objetivo primordial descrito no próprio nome: evolução tecnológica,



estratégia setorial, socioambiental e políticas internacionais, que conjuntamente compõem o objetivo da macrotemática. Adicionalmente, no caso da primeira temática, alguns objetivos são específicos, como a produção e a estrutura de CT&I, e, no caso da segunda temática, a indústria e o mercado. Todos esses objetivos foram diluídos em objetivos de curto, médio e longo prazo, apresentados anteriormente.

Deve-se ressaltar que as questões orientadoras relativas às áreas de estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado, na maioria dos casos da macrotemática modelos de avaliação de políticas públicas, não se aplicam, por se tratar de desenvolvimento de mecanismos de avaliação de políticas, e não de tecnologias.

Como forma de avaliar e monitorar o cumprimento desses objetivos, foram criadas métricas que são apresentadas na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

No caso da evolução tecnológica, buscaram-se três métricas: criação de modelos multidisciplinares agregando dimensões energética, social, ambiental e política; modelos de previsão de complementariedade de recursos renováveis intermitentes e modelos de operação integrada de fontes intermitentes e de base, os dois últimos tipos de modelos influenciam outras áreas e até outras macrotemáticas do Projeto de Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica. Estão na zona de interseção. A primeira série de modelos reflete o objetivo geral dessa macrotemática.

No que diz respeito à produção e estrutura de CT&I, as métricas são relativamente convencionais, dizem respeito a publicações, formação de grupos de pesquisa e redes colaborativas, além de laboratórios.

Do ponto de vista da estratégia setorial, várias são as métricas identificadas. Pode-se avaliar o impacto que as políticas públicas poderão causar e, de alguma forma, podem-se observar mudanças nos planos nacionais de energia, decenais e de longo prazo. No sentido reverso, pode-se avaliar como os planos impactam a formação de políticas públicas. O desenvolvimento de modelos para estudar o impacto de políticas públicas pode ajudar a refinar os planos de universalização e de definição de tarifas sociais e de redução das emissões nacionais.

O Acordo de Paris e as políticas nacionais que daí vão se desdobrar também devem influenciar o desenvolvimento de novos modelos, além dos modelos globais que já são usados. Pode-se monitorar quanto os novos modelos incorporarão a componente clima e também a redução das emissões locais das termelétricas. Do ponto de vista setorial, pode-se quantificar quantos empregos na área de modelagem vão ser criados, empregos de alta qualificação. Pode-se ainda avaliar como esse volume de novos empregos será distribuído.

## 11.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática modelos de avaliação de políticas públicas consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 77 ao Gráfico 84. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

### 11.3.1 Temática: políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas

Apenas uma rota foi considerada na temática políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas. A rota desdobra-se num conjunto de sete linhas de PD&I que podem ser conduzidas de forma relativamente concomitante.

#### **Roadmap tecnológico**

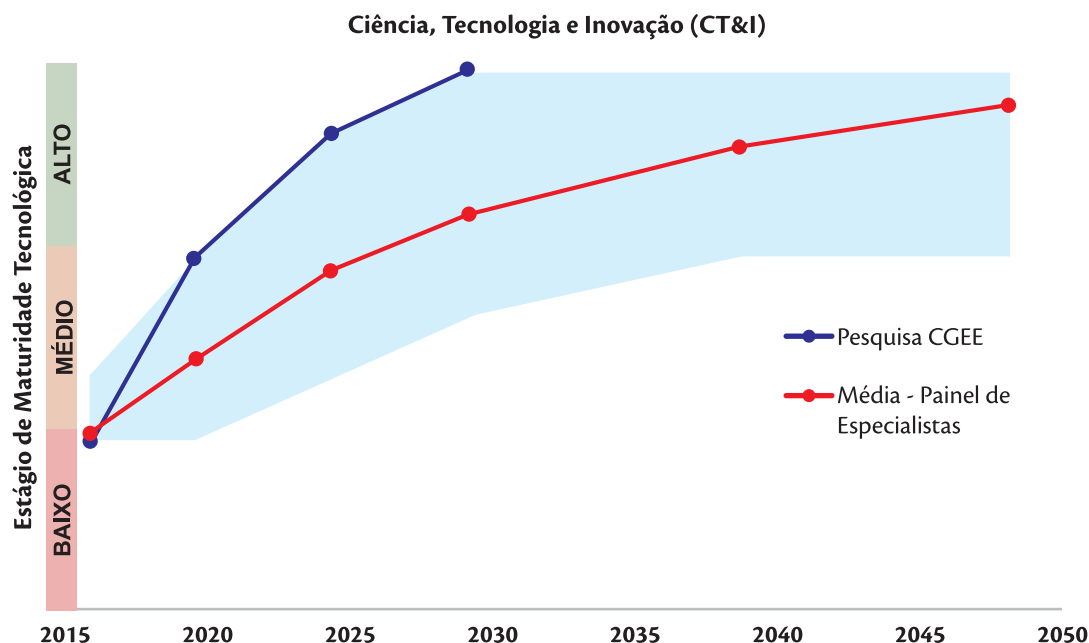
##### *Rota 1 - Ciência, tecnologia e inovação (CT&I)*

Para essa rota, foram identificadas as sete linhas de PD&I listadas abaixo:

- Elaboração e aprimoramento de indicadores e critérios para avaliar a efetividade da política de CT&I, particularizando a eficácia e os impactos do programa de P&D regulado pela Aneel (impactos na tarifa de energia elétrica, índices de produtividade etc.);
- Estudo da adequação de um modelo de “encomendas tecnológicas” para uma política de CT&I no país;
- Pesquisa de levantamento e análise das competências (laboratórios, pesquisadores, centros de pesquisa etc.) associadas a cada uma das áreas de PD&I necessárias/priorizadas para o setor elétrico;
- Pesquisas sobre tecnologias disruptivas que poderão ter impacto no setor elétrico;
- Simulação e identificação de oportunidades de políticas de CT&I para desenvolvimento de tecnologia e inovação ligadas ao setor elétrico;
- Pesquisa sobre oportunidades para empreendedorismo e *startups* no setor elétrico;
- Pesquisa visando à adequação do marco legal e infralegal vigente e proposição de arranjos institucionais e políticas industriais que possibilitem maior integração entre as empresas do setor.



No Gráfico 77, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota ciência, tecnologia e inovação (CT&I).



**Gráfico 77** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I)

Fonte: Elaboração própria.

A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2030, a partir de quando imagina-se que sejam feitos novos e contínuos aperfeiçoamentos. Os especialistas veem que o estágio de maturidade tecnológica alto só será atingido no período entre 2040 e 2050.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 45, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 45** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Públicas Voltadas para Pesquisas Tecnológicas da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas	Ciência Tecnologia e Inovação (CT&I)	Fatores portadores de futuro	Existência dos programas de P&D da Aneel e o corrente trabalho podendo definir P&D estratégicos. Indefinição de uma política nacional de CT&I, com foco em energia. Pouca experiência prévia em modelos conjuntos de CT&I e energia.		Necessidade premente de reestruturação do setor elétrico com inserção de muitas inovações. Inexistência de modelos integrados de análise de impacto das políticas de CT&I com demais setores.		Necessidade de aperfeiçoamentos.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

### 11.3.2 Temática: Políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia

São três as rotas consideradas na temática políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia. Cada uma delas reflete um conjunto de linhas de PD&I que podem ser conduzidas de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

##### *Rota 1 - Setor industrial*

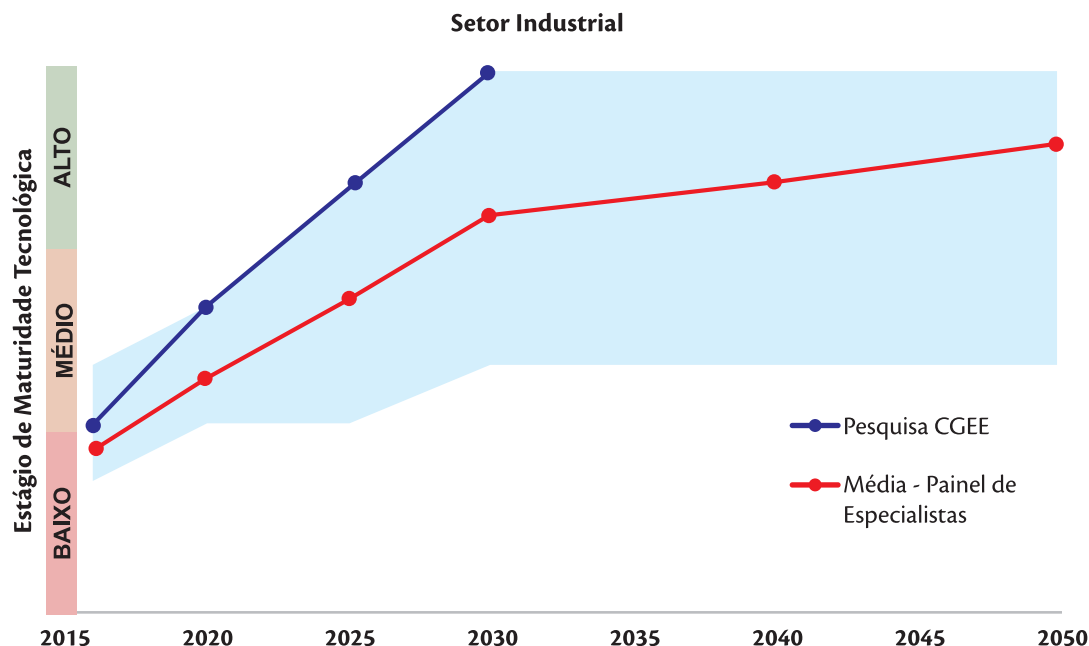
A rota setor industrial agrega seis linhas de PD&I:

- Estudo de levantamento das cadeias produtivas e capacidade de produção dos fornecedores do SEB e proposição de mecanismos de incentivos (política fiscal, tributária etc.) para investimento nacional e cooperação nessas cadeias;
- Estudos das regras de conteúdo nacional em fontes de energia, particularmente as renováveis, e dos impactos dos incentivos do BNDES ao setor elétrico;
- Estudo do estado de arte das tecnologias nas quais pode investir com possibilidades de atingir o mercado externo;
- Avaliação dos impactos da política comercial brasileira sobre o setor elétrico e os efeitos *crowding-in* e *crowding-out* provocados pelo investimento público sobre o setor elétrico nacional;



- Estudo de mecanismos de integração entre ciência e tecnologia e política industrial com vistas ao setor energético, buscando consistência entre as necessidades do setor elétrico e as definições de políticas industriais e de CT&I;
- Estudos de avaliação dos impactos dos novos arranjos e modelos para a aprovação de inovação e a concorrência no setor de energia elétrica.

No Gráfico 78, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota setor industrial.



**Gráfico 78** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Setor Industrial

Fonte: Elaboração própria.

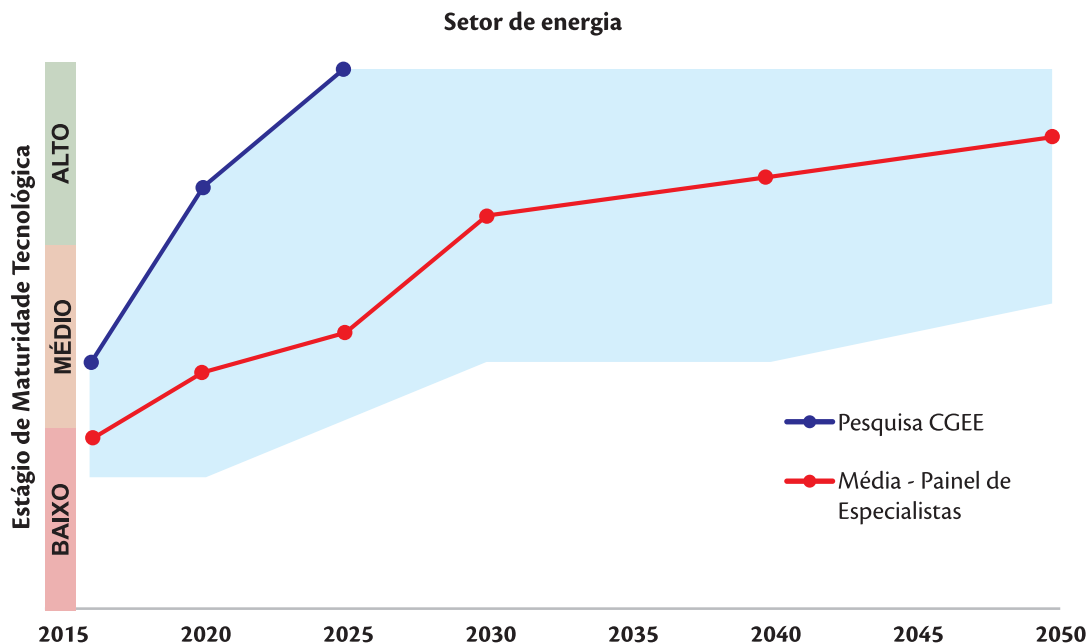
A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2030, a partir de quando imagina-se que sejam feitos novos e contínuos aperfeiçoamentos. Os especialistas veem que o estágio de maturidade tecnológica alto só será atingido no período entre 2040 e 2050. Nota-se no gráfico grande dispersão na visão dos especialistas. O tema é efetivamente passível de novos pontos de partidas e aperfeiçoamentos.

### Rota 2 - Setor de energia

A rota setor de energia agrega as cinco linhas de PD&I listadas abaixo e se constitui, certamente, no conjunto de linhas de PD&I que mais diretamente afeta o setor de energia elétrica:

- Estudo para analisar a consistência entre a política energética e as políticas ambiental, climática, social etc., com avaliação das consequências dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil no exterior (ex. Acordo de Paris) na formulação e condução da política energética;
- Desenvolvimento de modelos/uso de modelos formais para estudos de política energética (análise da interação estratégica entre os atores, impactos de diferentes mecanismos de difusão das tecnologias, cenários prospectivos etc.);
- Estudo dos determinantes e dos processos da política energética na busca por instrumentos de compatibilização/avaliação de *trade-off* entre os objetivos dessa política e os instrumentos para consecução desses objetivos, com identificação dos atores e suas responsabilidades;
- Instrumentos para análise do *trade-off* entre modicidade tarifária, segurança energética e sustentabilidade;
- Estudo do impacto da introdução de inovação (geração distribuída, armazenamento, eficiência energética, REI) e seus reflexos na política energética.

No Gráfico 79, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota setor de energia.



**Gráfico 79** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Setor de Energia

Fonte: Elaboração própria.





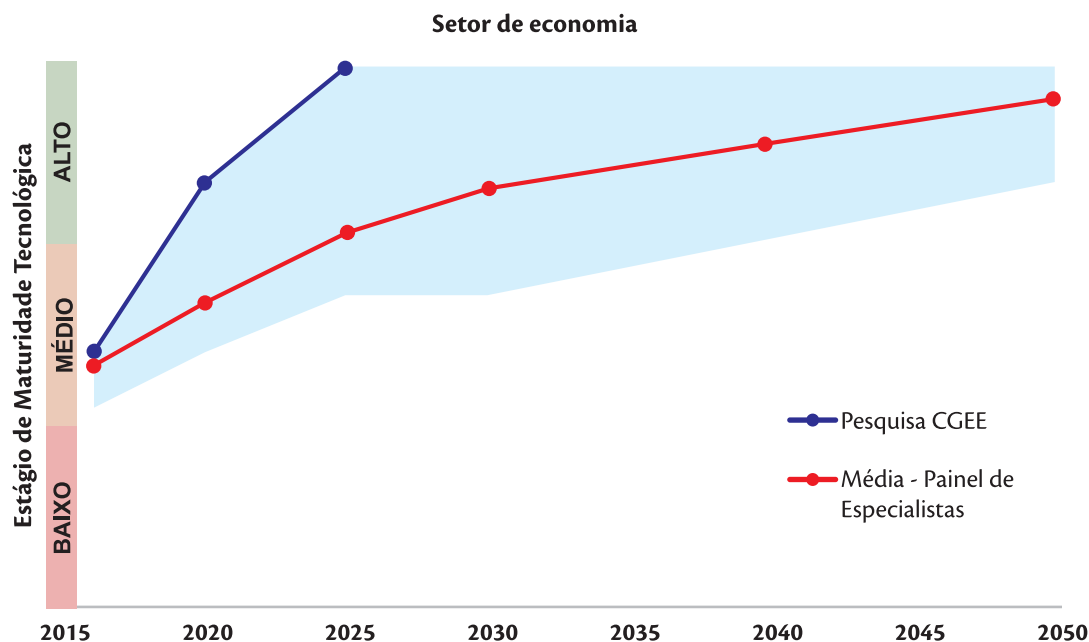
A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2025, a partir de quando imagina-se que sejam feitos novos e contínuos aperfeiçoamentos. Os especialistas veem que o estágio de maturidade tecnológica alto só será atingido em 2030, 2040 e até em 2050. O tema é efetivamente passível de novos pontos de partidas e aperfeiçoamentos, e temas como as reduções de emissão de GEE do setor e a disseminação do uso das fontes renováveis manterão o setor em permanente evolução.

### Rota 3 - Setor de economia

A rota setor de economia agrega duas linhas de PD&I:

- Criação de modelo para análise social e econômica que está previsto para entrar no sistema elétrico;
- Avaliação dos impactos da política fiscal e tributária nacional sobre o setor de energia elétrica, em particular da nova PEC.

No Gráfico 80, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota setor de economia.



**Gráfico 80** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Setor de Economia

Fonte: Elaboração própria.

A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2025, a partir de quando imagina-se que sejam feitos novos e contínuos aperfeiçoamentos. Os especialistas veem que o estágio de maturidade tecnológica alto só será atingido em 2030, 2040 e até em 2050. O tema é efetivamente passível de novos pontos de partidas e aperfeiçoamentos.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 46, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 46** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Públicas Voltadas para Setores da Energia, Indústria e Economia da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia	Setor industrial	Fatores portadores de futuro	Programa de P&D da Aneel e o esforço do Projeto de Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica de identificar áreas de parceria. Relação intensa de setores da economia (Abeeólica, Absolar, Abinee etc.) e setor de energia elétrica. Dificuldades por que passa a economia brasileira. Inexistência de modelos prévios de impacto de políticas públicas envolvendo setor industrial e de energia.		Possível retomada da economia nacional com criação de novas oportunidades de inserção de saltos tecnológicos. Falta de integração histórica do setor industrial nacional e o setor de CT&I.		Necessidade de aperfeiçoamentos. Eventual persistência do gap indústria-academia.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			



Temática Políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia	Setor de energia	Fatores portadores de futuro	<p>Existência dos recursos dos programas de P&amp;D e eficiência energética da Aneel.</p> <p>Reconhecimento da necessidade de reestruturação do modelo setorial vigente.</p> <p>Grande integração de diversas entidades colegiadas do setor, ainda que com agendas distintas (Abradee, Abraget, Absolar, Abeeólica, Abrate etc.).</p> <p>Situação de dificuldade conjuntural pela qual passam os agentes setoriais.</p> <p>Carência de modelos de integração do setor de energia com demais setores.</p>	<p>Necessidade de criação de novos modelos tendo em vistas os compromissos brasileiros com a comunidade internacional.</p> <p>Caráter premente das mudanças pelas quais o setor energético precisa passar.</p>	<p>Necessidade de aperfeiçoamentos.</p> <p>Necessidade de contínuo aperfeiçoamento do setor para uma situação de não emissão de GEE.</p>
		Maturidade	MÉDIO	ALTO	
	Setor de economia	Fatores portadores de futuro	<p>Programa de P&amp;D da Aneel.</p> <p>Existência de muita competência nos setores de energia e economia.</p> <p>Experiência de criação de modelos setoriais na EPE, no Ipea, na academia etc.</p> <p>Situação recessiva pela qual passa o país.</p> <p>Pouca integração de pesquisas conjuntas (p.e. IPEA/EPE etc.).</p>	<p>Retomada da economia com criação de grandes oportunidades. Eventual postergação da retomada da economia nacional.</p> <p>Dificuldade de internalizar o conceito de desenvolvimento sustentável e precificar custos e benefícios de gerações futuras.</p>	<p>Necessidade de aperfeiçoamentos.</p>
		Maturidade	MÉDIO	ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

### 11.3.3 Temática: políticas públicas voltadas para aspectos socioambientais

São duas as rotas consideradas na temática políticas públicas voltadas para aspectos socioambientais. Cada uma delas reflete um conjunto de linhas de PD&I que podem ser conduzidas de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

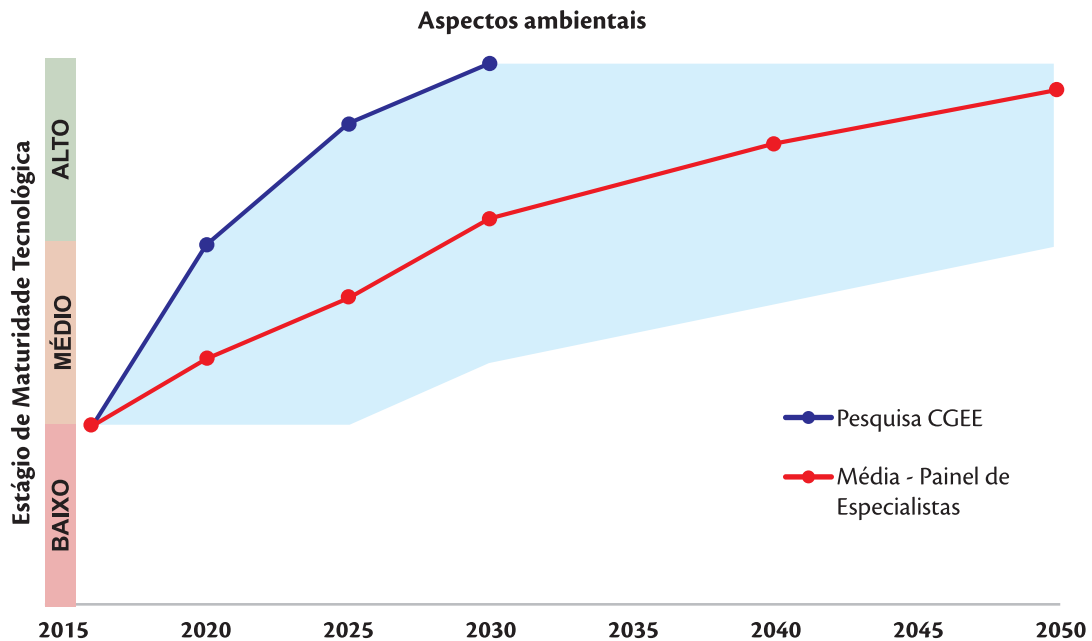
##### Rota 1 - Aspectos ambientais

A rota aspectos ambientais agrega duas linhas de PD&I:

- Estudo e avaliação dos impactos das políticas ambientais atuais sobre o setor de energia elétrica: estimativa de custos financeiros, regulatórios e dos entraves em conexão aos empreendimentos;
- Desenvolvimento de modelos para avaliação de integração entre os mecanismos de política do setor de energia elétrica e a política nacional de saneamento, visando analisar o binômio energia-resíduos e a cadeia de valor e seus desdobramentos sociais nas esferas municipal, estadual e federal.

Certamente, existem outras questões ambientais, sobretudo ligadas à questão climática, que ainda serão objeto de grandes avanços, mas que foram colocadas na sua relação com a questão energética.

No Gráfico 81, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota aspectos ambientais.



**Gráfico 81** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aspectos Ambientais

Fonte: Elaboração própria.

A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2030. Os especialistas veem a maturidade ser atingida em 2040, sendo que um número menor de especialistas acredita que a maturidade só será atingida em 2050, e um prevê que nem nesse horizonte a maturidade seja atingida. Percebe-se grande dispersão dos especialistas nesse setor, alguns vendo que, mesmo no horizonte de 2050, não se terá atingido o estágio mais alto de maturidade. O tema é efetivamente passível de novos pontos de partidas e aperfeiçoamentos.

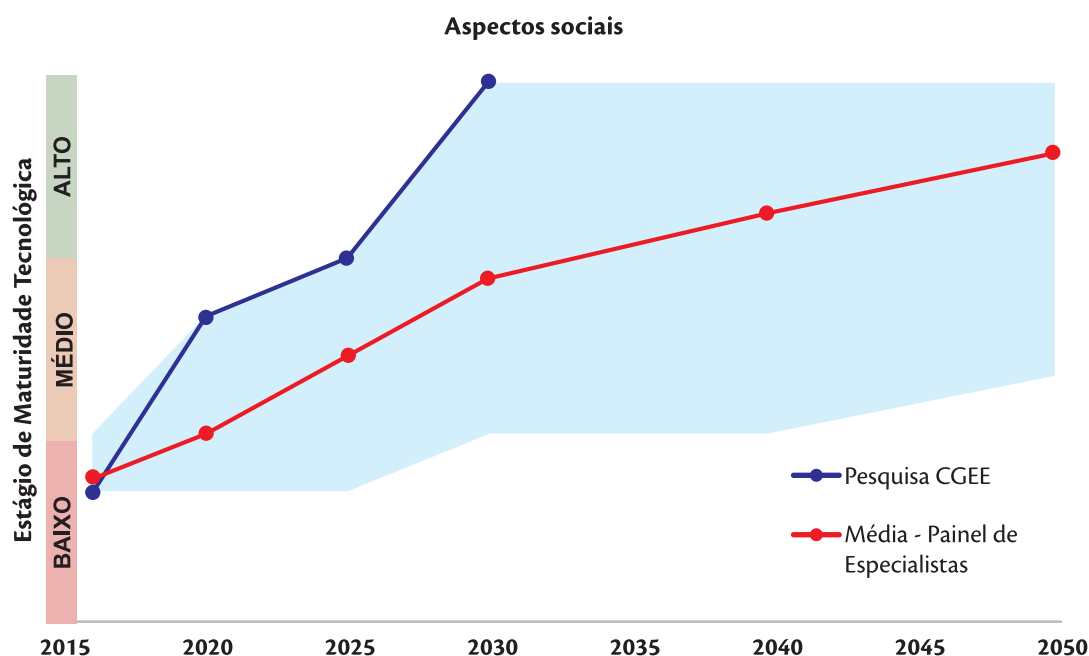


## Rota 2 - Aspectos sociais

A rota aspectos sociais agrega duas linhas de PD&I:

- Estudo e análise de instrumentos (novas tecnologias/fórmulas de tarifação) para atender os consumidores que se encaixam na tarifa social;
- Avaliação dos impactos do Programa Luz Para Todos e modelagem de cenários para aceleração da universalização do serviço.

No Gráfico 82, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota aspectos sociais.



**Gráfico 82** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aspectos Sociais

Fonte: Elaboração própria.

A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2030. Os especialistas veem o estágio alto de maturidade ser atingido em 2040 e até em 2050. Percebe-se razoável dispersão dos especialistas nesse setor, alguns vendo que, mesmo no horizonte de 2050, não se terá atingido o estágio mais alto de maturidade. O tema é efetivamente passível de novos pontos de partidas e aperfeiçoamentos. Todavia, na cenarização efetuada pela pesquisa do CGEE, preferiu-se não se especular para o horizonte 2050, primeiramente, porque se acredita que, no

horizonte 2030, as questões referentes a universalização e consumidores de baixa renda tenham sido equacionadas.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 47, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 47** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Públicas Voltadas para Aspectos Socioambientais da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Políticas públicas voltadas para aspectos sócio ambientais	Aspectos ambientais	Fatores portadores de futuro	Existência de modelos climáticos já de uso corrente. Compromissos ambientais assumidos nacionalmente e internacionalmente. Visão ainda disseminada no setor energético da questão ambiental como fator restritivo do desenvolvimento.		Necessidade de manter a questão ambiental no foco do setor elétrico em função dos compromissos assumidos pelo país. Modelagem intersetorial ainda incipiente.		Necessidade de aperfeiçoamentos. Permanente necessidade de aperfeiçoamento de modelos que envolvem energia, clima e economia.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Aspectos sociais	Fatores portadores de futuro	Necessidade de agilizar a universalização do serviço de energia elétrica. Consolidação da energia descentralizada off-grid como opção para o setor elétrico. Dificuldades conjunturais por que atravessa o setor elétrico, fazendo postergar prioridades sociais. Pouca modelagem conjunta entre setores energético e da área social.		Expectativa de reversão da situação econômica do país. Visão do cenário geral de reversão na política de alocação de subsídios.		Necessidade de aperfeiçoamentos. Consolidação de tecnologias com perspectivas de viabilizar produção local de energia. Maior poder de decisão do consumidor.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



### 11.3.4 Temática: Políticas internacionais

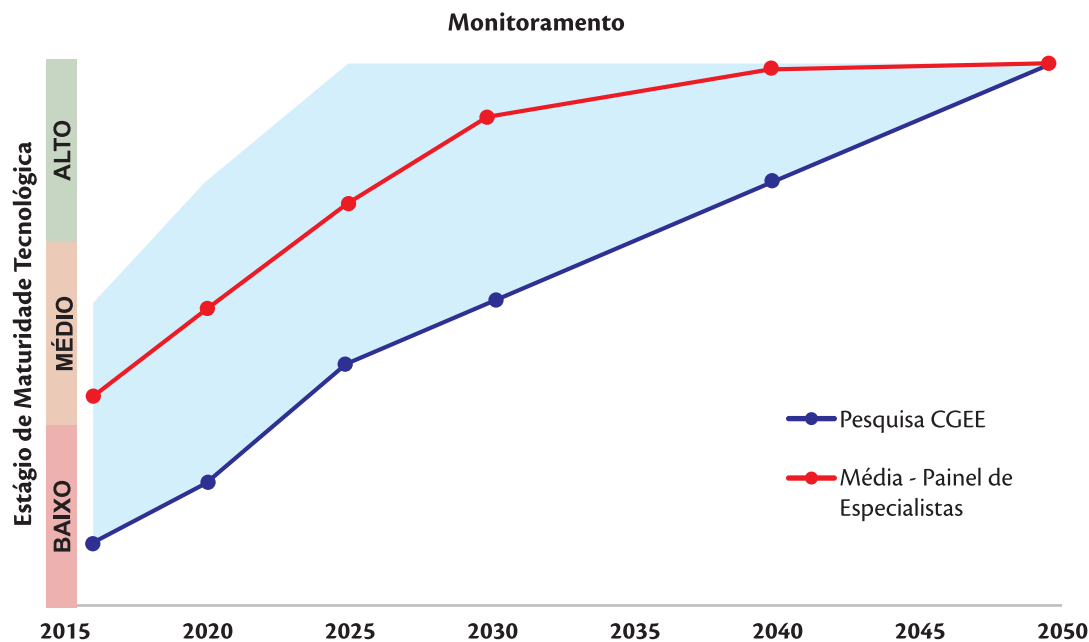
São duas as rotas consideradas na temática políticas internacionais. Cada uma delas reflete um conjunto de linhas de PD&I que podem ser conduzidas de forma relativamente concomitante.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Monitoramento

A rota monitoramento tem uma única linha de PD&I identificada: monitoramento de políticas públicas internacionais de impacto no setor elétrico nacional.

No Gráfico 83, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota monitoramento.



**Gráfico 83** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Monitoramento

Fonte: Elaboração própria.

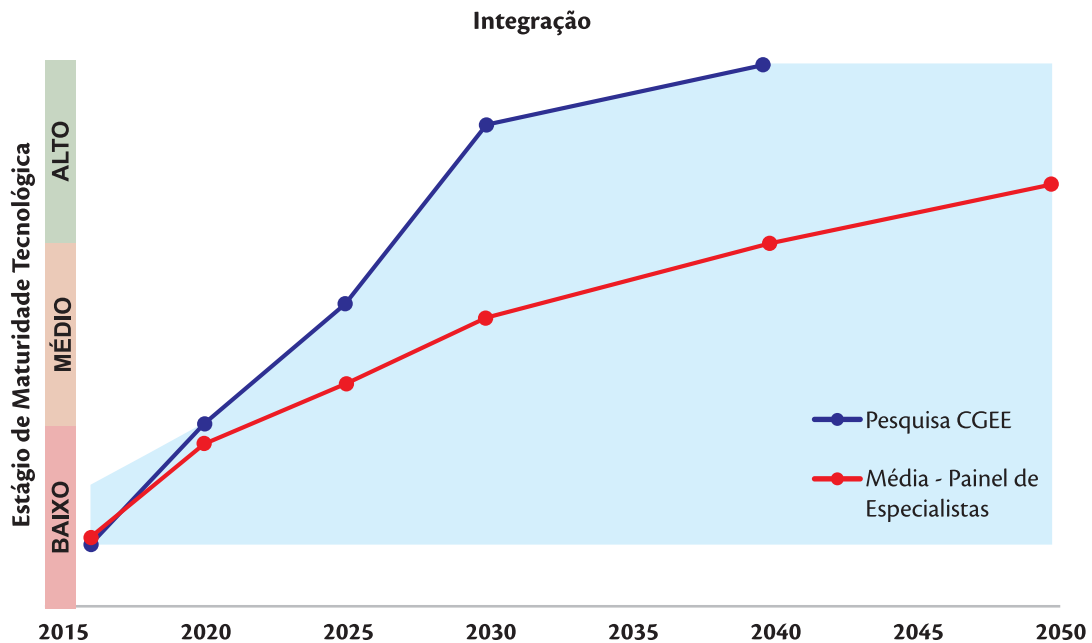
A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2050, a partir de quando imagina-se que sejam feitos novos e contínuos aperfeiçoamentos. Os especialistas veem o estágio alto de maturidade ser atingido já em 2025 e outros em 2030. Eles concordaram que, em

2050, a rota terá atingido o estágio mais alto de maturidade (curva Média - Painel de Especialistas). A questão do monitoramento é um processo contínuo que pode sempre ser aperfeiçoado.

### Rota 2 - Integração

A rota integração tem uma única linha de PD&I identificada: estudos das adaptações na política energética brasileira para facilitar uma eventual integração regional e mundial.

No Gráfico 84, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota integração.



**Gráfico 84** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Integração

Fonte: Elaboração própria.

A análise da curva Pesquisa CGEE mostra que a maturidade máxima é atingida em 2040. Para alguns especialistas, o estágio alto de maturidade da rota só será atingido em 2040 e, para outros, somente em 2050. Para alguns, mesmo nesse último horizonte, o nível alto não será atingido. Como foi dada baixa prioridade ao tema, possivelmente, esta seja a razão de se ver o estágio alto de maturidade só ser atingido em horizontes de tão longo prazo.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 48, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que





podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 48** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Internacionais da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Políticas internacionais	Monitoramento	Fatores portadores de futuro	Necessidade premente de consolidar políticas nacionais e internacionais. Existência de P&D estratégicos que impõem o monitoramento de políticas internacionais e parcerias para as áreas pesquisadas. Pouca prioridade dada à questão do monitoramento. Falta de compatibilidade nas diversas bases de dados existentes.		Perspectivas de integração energética regional e global. Eventualidade de um recrudescimento de políticas de cunho nacionalista.		Necessidade de aperfeiçoamentos. Banalização do uso das bases de megadados e integração das redes sociais em modelos de análise de impacto de políticas públicas.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Integração	Fatores portadores de futuro	Dada a baixa prioridade dada ao tema e uma visão de pouca maturidade, não se veem fatores facilitadores no curto prazo. Pouca prioridade ainda dada à integração regional e global. Pouca expressão de modelos de impactos de políticas transnacionais.		Necessidade de se pensar na integração energética regional. Prioridade limitada dada à questão da integração regional e global.		Necessidade de aperfeiçoamentos. Necessidade de se pensar na integração energética global. Visão de especialistas de que mesmo no longo prazo não haverá maturidade na questão de integração.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

## 11.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas,

com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 49.

**Tabela 49** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Setor de energia	Políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia
2	Ciência, tecnologia e inovação (CT&I)	Políticas públicas voltadas para pesquisas tecnológicas
3	Setor industrial	Políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia
4	Aspectos ambientais	Políticas públicas voltadas para aspectos sócio ambientais
5	Setor de economia	Políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia
6	Aspectos sociais	Políticas públicas voltadas para aspectos sócio ambientais
7	Monitoramento	Políticas internacionais
8	Integração	Políticas internacionais

Fonte: Elaboração própria.

O processo de ordenação de prioridades, efetuado quando do Painel de Especialistas, resultou em mudança no Mapa do Conhecimento (presente no Diagnóstico), introdução de novas temáticas e de novas rotas e consequente ordenamento. Como era esperado, a primeira prioridade foi alocada nas políticas públicas para o setor de energia (rota setor de energia), em que são listadas políticas para temas como *trade-off* entre modicidade tarifária, segurança energética e sustentabilidade, geração distribuída, armazenamento de energia e REI, Acordo de Paris, além de modelos para estudos de impactos de políticas para o setor e desenvolvimento de mecanismos de avaliação dessas políticas e seus instrumentos de consecução.

Outras rotas estão ligadas a políticas de CT&I (rota ciência, tecnologia e inovação - CT&I) e para o setor industrial (rota setor industrial), no segundo e terceiro patamar de prioridades respectivamente. Seguem-se políticas públicas voltadas para aspectos ambientais (rota aspectos ambientais), para o setor de economia (rota setor de economia) e voltadas para aspectos sociais (rota aspectos sociais). Num horizonte de mais longo prazo e menor prioridade, encontram-se as políticas internacionais, que carecem de ser monitoradas e, eventualmente, integradas no arcabouço nacional.

A prioridade um (rota setor de energia), constante da temática políticas públicas voltadas para setores da energia, indústria e economia, é composta de várias linhas de PD&I que podem e devem ser desenvolvidas concomitantemente. São elas:



- Desenvolvimento de modelos/uso de modelos formais para estudos de política energética (análise da interação estratégica entre os atores, impactos de diferentes mecanismos de difusão das tecnologias, cenários prospectivos etc.);
- Estudo dos determinantes e dos processos da política energética, na busca de instrumentos de compatibilização/avaliação de *trade-off* entre os objetivos dessa política e os instrumentos para consecução desses objetivos, com identificação dos atores e suas responsabilidades;
- Estudo de instrumentos para análise do *trade-off* entre modicidade tarifária, segurança energética e sustentabilidade;
- Estudo para analisar a consistência entre a política energética e as demais políticas (ambiental, climática, social etc.), com avaliação das consequências dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil no exterior (ex. Acordo de Paris) na formulação e condução da política energética;
- Estudo do impacto da introdução de inovação (geração distribuída, solar, armazenamento, eficiência energética, *smart-grid*) e seus reflexos na política energética.

Como se pode observar, as linhas identificadas e priorizadas estão entre temas que foram objeto de outras macrotemáticas ou temáticas do ponto de vista tecnológico e aqui ressaltadas do ponto de vista político. A questão do *trade-off* entre modicidade tarifária, segurança energética e sustentabilidade foi mencionada não apenas na visão de futuro dessa macrotemática, mas também no capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”). Os temas geração distribuída, armazenamento e REI estão sendo tratados com ênfase em outras macrotemáticas, e o Acordo de Paris deve pautar muitas das decisões políticas a serem tomadas pelo governo brasileiro para a área energética e já é objeto de vários estudos pela EPE. A Aneel vem dando prioridade aos estudos de impacto regulatório, algo que deve ser estendido para não apenas as resoluções da entidade, mas também para outros níveis decisórios afeitos à área energética. Todos esses temas devem pautar os estudos dos planos decenais e de longo prazo do MME/EPE.

Recentemente, a Aneel considerou o desenvolvimento de um P&D estratégico que tinha como título “Aprimoramento do Ambiente de Negócios do Setor Elétrico Brasileiro” e cujo objetivo era realizar uma ampla avaliação do atual ambiente de negócios do SEB em face da evolução nos segmentos de geração, transmissão, distribuição e, principalmente, comercialização. Apesar de o P&D não ter seguido em frente pela abordagem que foi dada em uma reforma de viés mais conjuntural, o estudo de políticas que venham a reformar o SEB de forma estrutural é indubitavelmente prioritário.

A segunda rota prioritária está ligada às políticas públicas para CT&I, que certamente é o foco do Programa de P&D da Aneel, mas aqui priorizado do ponto de vista de políticas, área que tem sido pouco explorada pelos P&D, mais enfatizada no caso dos P&D estratégicos, mas aí sempre com foco numa tecnologia específica. Entre as linhas propostas, percebe-se um viés grande pela

inovação com menção a *startups*, encomendas tecnológicas, tecnologias disruptivas, dentre outros, mas também uma linha focada na avaliação da efetividade dos recursos investidos pelo SEB, regulado pela Aneel.

A temática políticas internacionais, com suas duas rotas, surgiu na reunião de painel de especialistas da área. Dessa forma, foi pouco explorada, mas é evidente que num prazo maior também vai se revestir de grande importância na medida em que a integração regional e global se consolide. A ideia da temática surgiu do apontamento da necessidade dessa integração.



## Capítulo 12

---





## Capítulo 12

# Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

O levantamento das informações para a análise da macrotemática realizou-se de duas formas. Primeiramente, por meio das publicações disponibilizadas na internet sobre tecnologia industrial básica (TIB), metrologia, normalização e regulamentação técnica e avaliação de conformidade, destacando-se os sítios do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, do Inmetro e da ABNT. Paralelamente, foram realizadas entrevistas abertas com pesquisadores do Inmetro da metrologia e avaliação da conformidade para subsidiar a geração das linhas de PD&I associadas à macrotemática em questão. Depois, foi realizada, sob coordenação do CGEE, uma reunião de validação com especialistas, o que gerou insumos para o aperfeiçoamento dos resultados gerados.

As rotas tecnológicas da macrotemática foram separadas em quatro temáticas: metrologia, normalização e regulamentação técnica, avaliação da conformidade e governança e vigilância de mercado.

### 12.1 Visão de futuro

#### 12.1.1 Cenário setorial

Normalização, regulamentação e avaliação da conformidade devem contribuir para a confiança do sistema elétrico do Brasil, em alinhamento às práticas internacionais. Espera-se que o país seja capaz de prover rastreabilidade às medições aplicadas à cadeia de fornecimento de energia e que os equipamentos, processos e serviços dessa cadeia funcionem conforme o desempenho esperado, num ambiente regulatório em que a vigilância de mercado se demonstra efetiva para coibir irregularidades. Com isso, dá-se o suporte necessário à infraestrutura de avaliação da conformidade, à operação e gestão estratégica da rede elétrica e à tarifação justa da energia.

## 12.1.2 Objetivo geral

- O sistema de controle metrológico deverá prover a adequada rastreabilidade das medições realizadas, com base no desenvolvimento de métodos e processos de medição de referência nacional primária para as calibrações de instrumentos, com destaque às PMU e àqueles equipamentos aplicáveis ao fornecimento de energias renováveis, como anemômetros, sonômetros, acelerômetros e piranômetros. Novos métodos e processos devem ser criados para a calibração dos medidores elétricos inteligentes e para a medição aplicada em sinais não senoidais, contribuindo para a qualidade da energia elétrica brasileira. Além disso, o desenvolvimento de materiais de referência para a calibração de misturas gasosas, especialmente o biogás, proverá a base tecnológica para a consolidação da geração de termoeletricidade no país. Finalmente, pesquisas devem ser realizadas no âmbito da metrologia quântica, pois essa área do conhecimento é o pilar de sustentação de toda a metrologia elétrica;
- O desempenho esperado dos equipamentos, processos e serviços da cadeia de fornecimento de energia elétrica deverá ser padronizado por meio do estabelecimento de requisitos técnicos. Nesse contexto, deve ser desenvolvido, para a harmonização das relações de consumo, o referencial técnico para os medidores elétricos inteligentes e de outros equipamentos que impactam a tarifação, dando a sustentação para um eventual regulamento técnico metrológico, de caráter compulsório. Além disso, há de se definir critérios para a segurança cibernética do setor elétrico brasileiro, considerando as especificidades do Brasil e verificando a necessidade de desenvolver requisitos “genuinamente” nacionais. Finalmente, o desenvolvimento de referencial técnico também deve contribuir com a inserção da sustentabilidade na cadeia de fornecimento de energia;
- Para aumentar o grau de confiança de que os equipamentos, processos e serviços referenciados anteriormente atendam os requisitos técnicos estabelecidos, deverão ser desenvolvidas formas de determinação da conformidade (ensaios, inspeção, auditorias, verificações, medições etc.), que, por sua vez, podem dar subsídios, inclusive, a programas de avaliação da conformidade;
- Para que as diferentes frentes no âmbito dessa macrotemática se desenrolem de forma planejada e alinhada, por fim, há de se estabelecer a governança e a vigilância do mercado, com a definição do modelo de coordenação institucional entre os atores envolvidos na normalização e regulamentação técnica, desenvolvimento de modelos e ferramentas (inclusive computacionais) para análise de impacto e resultado regulatório, bem como para validação, aperfeiçoamento e revisão de normas e regulamentos técnicos, definição do modelo de vigilância do mercado adequado para garantir a regularidade do setor elétrico brasileiro e desenvolvimento de tecnologias de gestão aplicadas às empresas do setor elétrico para conformidade e *compliance* às normas e regulamentações técnicas.





### 12.1.3 Objetivo específico

#### Curto prazo (2017-2020):

- Estabelecer padrões, métodos e processos de medição para a rastreabilidade de medidas elétricas e outras aplicáveis ao fornecimento de energia renovável;
- Implantar soluções para o aperfeiçoamento da calibração de grandezas elétricas e ampliação da faixa de rastreabilidade das medidas elétricas;
- Desenvolver materiais de referência para a calibração de misturas gasosas, com destaque ao biogás;
- Desenvolver requisitos técnicos e métodos de determinação da conformidade (ensaios, inspeção, auditorias, verificações, medições etc.) para equipamentos, processos e serviços;
- Estabelecer critérios para instalação de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores;
- Estabelecer modelos de engenharia reversa para testes de programas embarcados;
- Implantar modelo de coordenação institucional entre os atores envolvidos na normalização e regulamentação técnica;
- Implantar modelo de vigilância do mercado adequado para garantir a regularidade do setor elétrico brasileiro;
- Desenvolver modelos e ferramentas (inclusive computacionais) para análise de impacto e resultado regulatório;
- Desenvolver tecnologias de gestão aplicadas às empresas do setor elétrico para conformidade e *compliance* às normas e regulamentações técnicas;
- Desenvolver modelos de validação, aperfeiçoamento e revisão de normas e regulamentos técnicos;
- Desenvolver métodos de ensaios e de infraestrutura laboratorial para componentes dos vários níveis de tensão e corrente aplicados a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

#### Médio prazo (2020-2030):

- Desenvolver método de calibração dos medidores elétricos inteligentes;
- Implantar métodos e processos de medição da qualidade do sinal elétrico;
- Determinar o comportamento em campo dos transformadores de instrumentação;
- Estabelecer critérios de sustentabilidade para o fornecimento, instalação e manutenção dos diferentes equipamentos, processos e serviços aplicados à cadeia de fornecimento de energia;
- Estabelecer formas de cálculo de eficiência e desempenho energético;
- Implantar requisitos técnicos e métodos de determinação da conformidade para os equipamentos que impactam mais diretamente à tarifação, como os medidores elétricos inteligentes;
- Implantar requisitos e métodos de determinação da conformidade para avaliação em segurança cibernética;

- Implantar requisitos técnicos para a aplicação dos materiais na transmissão e distribuição (ex. supercondutor)

#### **Longo prazo (2030-2050):**

- Desenvolver pesquisas na área da metrologia quântica;
- Desenvolver novos métodos e processos para a rastreabilidade de medidas;
- Desenvolver novos materiais de referência, conforme demanda;
- Promover novos desenvolvimentos de requisitos técnicos e métodos de determinação da conformidade;
- Desenvolver novos modelos e ferramentas para análise de impacto e resultado regulatório;
- Desenvolver novas tecnologias de gestão aplicadas às empresas do setor elétrico para conformidade e *compliance* às normas e regulamentações técnicas;
- Desenvolver novos modelos de validação, aperfeiçoamento e revisão de normas e regulamentos técnicos.

#### **12.1.4 Fundamentação**

Os aspectos levantados e que constam no capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”) foram cruzados com a potencial contribuição da TIB para o desenvolvimento do SEB. A TIB, conceito firmado na década de 1980, reúne as funções da metrologia, normalização, regulamentação técnica e avaliação da conformidade como a base tecnológica para a competitividade nacional. Pela TIB, é possível contribuir com a qualidade das medidas, com o desenvolvimento do “estado da técnica” de produtos, processos e serviços e com a proposição de programas de avaliação da conformidade que reduzem a assimetria de informação e agregam confiança de que determinados objetos atendem aos padrões ou requisitos técnicos estabelecidos.

O potencial uso da tecnologia de transmissão em ultra alta tensão em corrente contínua e corrente alternada, previsto pelo capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”), incorre na necessidade da expansão da rastreabilidade de medição para novos intervalos de medida, de forma a garantir a referência nacional primária para a calibração dos instrumentos e a autonomia nacional para a infraestrutura da qualidade do setor elétrico.

A perspectiva de expansão da geração de energia renovável ou de fontes mais sustentáveis, seja pela continuidade do desenvolvimento da fonte eólica, pelo crescimento de grandes centrais fotovoltaicas ou pelo posicionamento estratégico da fonte térmica na matriz energética brasileira, traz novos desafios para a rastreabilidade nas medições, na medida em que a confiabilidade dos novos instrumentos, como anemômetros, sonômetros, acelerômetros, piranômetros, entre outros, é determinante para a credibilidade do sistema de geração.

Especificamente quanto à termogeração, fundamental é criar os materiais de referência para a



calibração de misturas gasosas e, nesse sentido, tal como o desenvolvimento, pelo Inmetro, do gás natural padrão, há de se definir o padrão de outros compostos, com destaque ao biogás.

A ampliação de uso de PMU e sensores para monitoramento de equipamentos, por sua vez, evoca o desenvolvimento de métodos e processos de medição que servirão como referência primária no país para as calibrações dos PMU.

O fortalecimento das redes distribuídas e da microgeração imprime a necessidade de definição dos requisitos de instalação dos sistemas fotovoltaicos e eólicos, de forma a maximizar o desempenho energético.

A implementação de REI, especialmente decorrente do fortalecimento previsto da geração distribuída, faz da segurança cibernética um vetor essencial para a segurança energética do país. A utilização da tecnologia da informação nos sistemas elétricos incorre em novas vulnerabilidades associadas ao uso indevido e à manipulação das informações produzidas, podendo afetar a privacidade das pessoas e até a segurança nacional. Dessa forma, é mandatório o desenvolvimento do padrão tecnológico e dos requisitos específicos de segurança da informação em todos os objetos passíveis de normalização.

Além disso, no âmbito regulatório das REI, o desafio para o reconhecimento tarifário pode e deve se valer da estruturação do referencial técnico para a aprovação dos medidores elétricos inteligentes, conferindo confiabilidade para a eles.

A tendência do uso racional de energia e da preocupação com o meio ambiente traz desafios para a macrotemática, que deverá também se dedicar à formulação de critérios para a sustentabilidade e eficiência energética.

## 12.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

O cenário geral para a macrotemática normalização, regulamentação e avaliação de conformidade foi construído em torno das seguintes métricas, alinhadas aos objetivos específicos definidos na visão do futuro:

- 1) Desenvolvimento de métodos e processos de medição e calibração primária;
- 2) Desenvolvimento de material de referência;
- 3) Pesquisas básicas na área de metrologia quântica;
- 4) Desenvolvimento de requisitos técnicos e métodos de avaliação da conformidade para equipamentos, processos e serviços;
- 5) Desenvolvimento de métodos e avaliação da conformidade com foco em segurança cibernética;
- 6) Desenvolvimento de critérios de sustentabilidade para o setor elétrico;
- 7) Definição do modelo de coordenação institucional entre os atores envolvidos na normalização e regulamentação técnica;
- 8) Realização de estudos de apoio à regulamentação;
- 9) Definição do modelo de vigilância do mercado adequado para garantir a regularidade do SEB.

Também foram verificadas influências da evolução de outras macrotemáticas no cenário geral em questão. Primeiramente, a evolução tecnológica na geração, transmissão e distribuição determinará as prioridades de equipamentos, processos e serviços cujo referencial técnico deve ser desenvolvido pela normalização e regulamentação técnica. As macrotemáticas tecnologia da informação e segurança cibernética, também contempladas no Documento Executivo, por sua vez, definirão o grau de inserção das tecnologias da informação e comunicação nas tecnologias de operação da cadeia de fornecimento de energia, bem como a nacional para segurança cibernética no setor elétrico, influenciando o desenvolvimento do referencial técnico e o programa de avaliação com foco em segurança cibernética. A política pública a ser definida para o incentivo à geração distribuída e ao consumo inteligente de energia, por fim, gera também novas demandas aos serviços de tecnologia industrial básica (metrologia, normalização, regulamentação e avaliação da conformidade).

A estratégia setorial que influencia a cenarização da macrotemática em questão inclui a regulação ambiental e social mais rígida ao longo do tempo, a introdução do controle regulatório aos componentes críticos da infraestrutura do setor elétrico, passando a exigir um patamar mínimo de requisitos para certos equipamentos, processos e serviços, considerando também aspectos da segurança cibernética (parâmetros técnicos), a construção de uma agenda positiva para a normalização, regulamentação e avaliação da conformidade para atendimento às demandas do setor elétrico e a preocupação ambiental e social se tornando mais forte e refletindo nas demandas.

Finalmente, espera-se, por meio do investimento em PD&I, que os indicadores de produção científica, com a publicação de artigos nacional e internacionalmente, aumentem ao longo do tempo, especialmente na temática metrologia. Também se espera o aumento do número de recursos humanos especializados em metrologia e qualidade, com o fortalecimento da formação técnica e dos programas de pós-graduação existentes na área. Da mesma forma, espera-se a expansão e modernização da infraestrutura laboratorial e de organismos de avaliação da conformidade, de modo a gerar a capacidade e autonomia nacional para atender às demandas do setor elétrico, indicando a expansão, ao longo do tempo da infraestrutura de CT&I. Assim, gera-se o ambiente



propício para a colaboração e, portanto, fortalecimento das redes colaborativas, com maiores índices de colaboração entre autores e ampliação de projetos conjuntos. Por fim, haverá uma aproximação do SEB à infraestrutura de tecnologia industrial básica (metrologia, normalização, regulamentação e avaliação da conformidade).

Além dos fatores já listados na fundamentação teórica da visão de futuro na seção acima, outros aspectos complementaram a fundamentação da cenarização geral. Primeiramente, a preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade, que sugere regulação ambiental e social mais rígida e exige a definição contínua de critérios para sustentabilidade do SEB. Essa definição de critérios está pontuada no cenário geral para a métrica desenvolvimento de critérios de sustentabilidade para o setor elétrico e deve contemplar os direcionamentos da política energética listados no capítulo Cenário Setorial Geral (ver livro “Documento executivo”).

A modernização prevista para o sistema, em face de seu envelhecimento, ainda que incipiente em um primeiro momento, enfatiza a relevância da definição dos requisitos técnicos e métodos de avaliação da conformidade para equipamentos, processos e serviços do setor elétrico, de tal forma que a recapacitação seja aderente ao desempenho requerido. A perspectiva de introdução das REL, porém, torna crítica a construção do referencial teórico para a segurança cibernética, haja vista a integração entre as tecnologias da informação e as de operação do sistema.

## 12.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática normalização, regulamentação e avaliação de conformidade consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 85 ao Gráfico 88. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

### 12.3.1 Temática: Metrologia

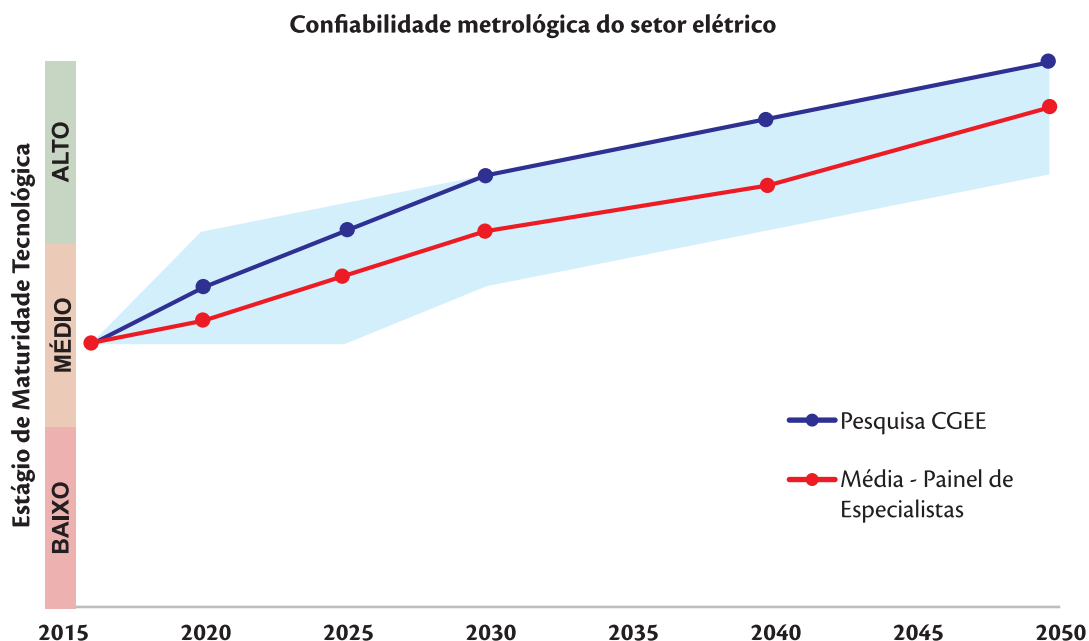
A temática metrologia foi desdobrada na rota confiabilidade metrológica do setor elétrico. Essa rota contempla linhas de PD&I relacionadas a processos e métodos de medição, material de referência e metrologia quântica. Como os três conjuntos traçam maturidade similar, para fins de facilitação da análise, foram encaixados em uma mesma rota.

## Roadmap tecnológico

### Rota 1 - Confiabilidade metrológica do setor elétrico

Essa rota contempla linhas de PD&I relacionadas a processos e métodos de medição, material de referência e metrologia quântica.

No Gráfico 85, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota confiabilidade metrológica do setor elétrico.



**Gráfico 85** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Confiabilidade Metrológica do Setor elétrico

Fonte: Elaboração própria.

As leis e os fundamentos que norteiam as atividades de metrologia foram introduzidas e desenvolvidas no Brasil, pelo menos, desde 1973, ano em que foi legalmente constituído o

Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro). Ao longo dos anos, o governo investiu na capacitação institucional nas áreas da TIB, firmando a competência técnica e a infraestrutura laboratorial necessária para as atividades de metrologia.



No curto prazo, a maturidade crescerá com o desenvolvimento de processos e métodos de medição para estabelecer a referência primária ainda não existente para calibração de instrumentos de medição elétrica e de outros aplicados à geração de energia renovável.

No médio prazo, o país crescerá em grau de maturidade, no que tange à metrologia aplicada ao setor elétrico, na medida em que métodos e processos de medição serão desenvolvidos para suprir demandas específicas da rede elétrica inteligente (calibração dos medidores elétricos inteligentes, medição da qualidade do sinal elétrico, comportamento em campo dos transformadores de instrumentação).

O alto grau de maturidade só será atingido em 2050, quando o país produzir os primeiros conhecimentos de ponta nas pesquisas na área de metrologia quântica.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 50, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 50** - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Metrologia da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de conformidade

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Temática Metrologia	Confiabilidade metrológica do setor elétrico	Fatores portadores de futuro	<p>As leis e os fundamentos que norteiam as atividades de metrologia foram introduzidas e desenvolvidas no Brasil há décadas. Ampla capacidade laboratorial e de recursos humanos no campus do Inmetro em Xerém. Pouca interação direta entre os laboratórios primários e o setor produtivo, dificultando o desenvolvimento de soluções aplicadas. Poucos recursos governamentais disponíveis para manutenção, expansão e modernização dos laboratórios primários.</p>			<p>Estabelecimento da referência primária para calibração de instrumentos aplicados à geração de energia renovável. Rede nacional de laboratório de calibração tem rastreabilidade à referência primária criada anteriormente. Consolidação de métodos e processos de medição da qualidade do sinal elétrico e determinação do comportamento em campo dos transformadores de instrumentação.</p>			<p>Continuidade no desenvolvimento de novos métodos e processos para a rastreabilidade de medidas. Novos materiais de referência (conforme demanda). Desenvolvimento continuado de pesquisas básicas na área de metrologia quântica e de aplicação de materiais.</p>		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO					

Fonte: Elaboração própria.

### 12.3.2 Temática Normalização e regulamentação técnica

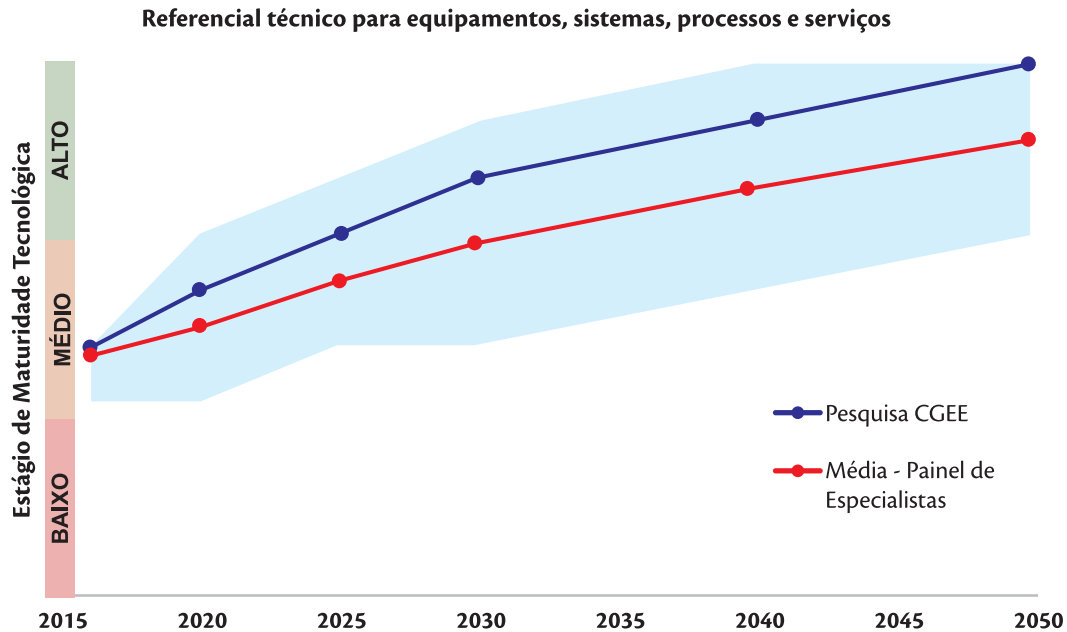
A temática normalização e regulamentação técnica foi desdobrada na rota referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços

Essa rota contempla linhas de PD&I relacionadas a temas necessários ao desenvolvimento da normalização e regulamentação técnica no Brasil.

No Gráfico 86, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços.



**Gráfico 86** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Referencial Técnico para Equipamentos, Sistemas, Processos e Serviços

Fonte: Elaboração própria.

Quanto à rota referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços, também se entende estarmos no nível médio de maturidade. As leis e os fundamentos que norteiam as atividades de normalização e regulamentação técnica estão consolidadas no país há décadas, seja





no âmbito da ABNT (foro nacional de normalização desde 1940) ou das agências reguladoras e órgãos de governo, que vêm, ao longo do tempo, consolidando seu fluxo normativo para o estabelecimento de regulamentos técnicos.

No curto prazo, espera-se avançar em maturidade com o estabelecimento dos requisitos técnicos para equipamentos, processos e serviços identificados como prioritários para o setor de energia elétrica.

No médio prazo, espera-se ter definido o referencial técnico para a avaliação dos medidores elétricos inteligentes, bem como para inserção da segurança cibernética e sustentabilidade na cadeia de fornecimento de energia.

O alto grau de maturidade nessa rota é alcançado em 2050, quando novos desenvolvimentos serão realizados.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 51, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 51** - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Normalização e Regulamentação Técnica da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de conformidade

Temática	Rota	Dado	Período								
			2016	2020	2025	2030	2040	2050			
Temática Normalização e Regulamentação Técnica	Referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços	Fatores portadores de futuro	As leis e os fundamentos que norteiam as atividades de metrologia foram introduzidas e desenvolvidas no Brasil há décadas. Ampla capacidade laboratorial e de recursos humanos no campus do Inmetro em Xerém. Pouca interação direta entre os laboratórios primários e o setor produtivo, dificultando o desenvolvimento de soluções aplicadas. Poucos recursos governamentais disponíveis para manutenção, expansão e modernização dos laboratórios primários.			Desenvolvimento do referencial técnico para os medidores inteligentes. Definição dos critérios para instalação de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores. Refinamento das formas de cálculo de eficiência e desempenho energético. Novos desenvolvimentos de requisitos técnicos para equipamentos, processos e serviços. Avanços na definição dos critérios para avaliação na segurança cibernética. Definição contínua de critérios para sustentabilidade do setor elétrico brasileiro.			Novos desenvolvimentos de requisitos técnicos para equipamentos, processos e serviços. Avanços na definição dos critérios para avaliação na segurança cibernética. Definição contínua de critérios para sustentabilidade do setor elétrico brasileiro.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO					

Fonte: Elaboração própria.

### 12.3.3 Temática: Avaliação da conformidade

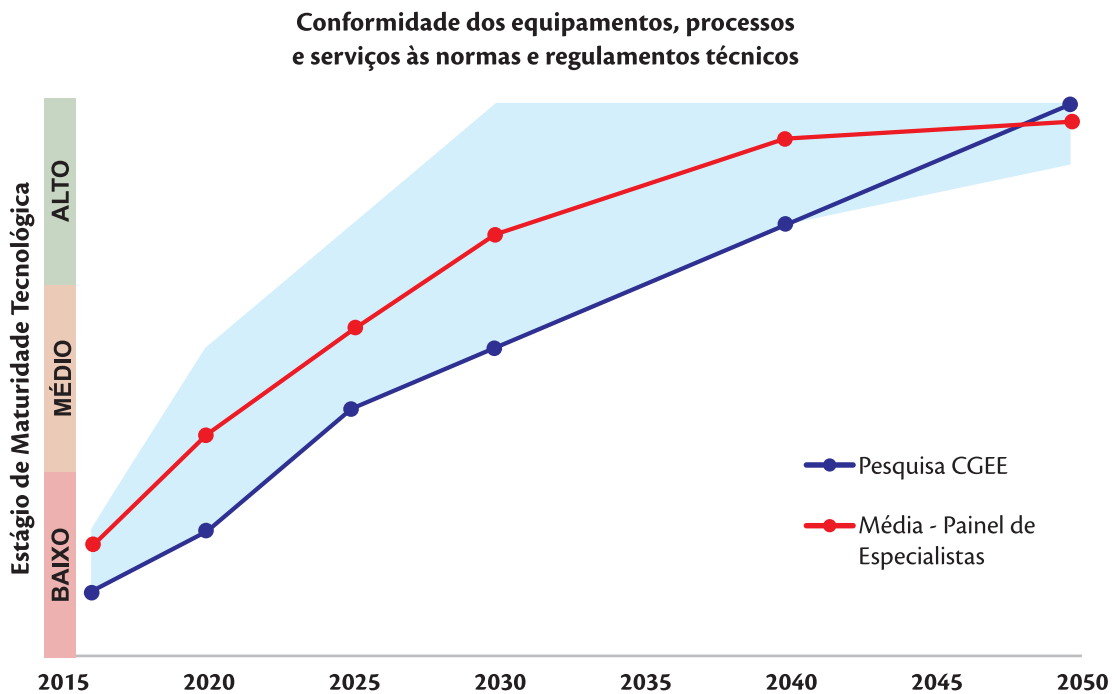
A temática avaliação da conformidade foi desdobrada na rota conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos

Essa rota contempla linhas de PD&I relacionadas a temas necessários para que se tenha uma análise do que é necessário ser desenvolvido no país para se atingir o objetivo de alcançar a conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos.

No Gráfico 87, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos.



**Gráfico 87** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Conformidade dos Equipamentos, Processos e Serviços às Normas e Regulamentos Técnicos

Fonte: Elaboração própria.



Assim como na metrologia, as leis e os fundamentos que norteiam as atividades de avaliação da conformidade foram introduzidas e desenvolvidas no Brasil, pelo menos, desde 1973, ano em que foi legalmente constituído o Sinmetro. Ao longo dos anos, o governo investiu na capacitação institucional nas áreas da TIB, firmando a competência técnica e a infraestrutura de organismos de avaliação da conformidade.

No curto prazo, espera-se ganho de maturidade com a definição racional para análise custo-benefício ou custo-efetividade da inserção da avaliação da conformidade para diminuir o risco regulatório na geração, transmissão e distribuição.

No médio e longo prazo, espera-se que o desenvolvimento de programas de avaliação da conformidade contribua para o avanço em maturidade da rota.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 52, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 52** - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Avaliação da Conformidade da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Avaliação da conformidade	Conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos	Fatores portadores de futuro	As leis e os fundamentos que norteiam as atividades de metrologia foram introduzidas e desenvolvidas no Brasil há décadas. Ampla capacidade laboratorial e de recursos humanos no campus do Inmetro em Xerém. Pouca interação direta entre os laboratórios primários e o setor produtivo, dificultando o desenvolvimento de soluções aplicadas. Poucos recursos governamentais disponíveis para manutenção, expansão e modernização dos laboratórios primários.		Desenvolvimento dos métodos de avaliação da conformidade para os medidores inteligentes. Avanços na definição dos métodos de ensaio ou teste para avaliação na segurança cibernética.		Novos desenvolvimentos de métodos de determinação da conformidade (ensaios, inspeção, auditorias, verificações, medições etc.) para equipamentos, processos e serviços. São geradas as primeiras avaliações no programa de avaliação em segurança cibernética. Continuidade das pesquisas em segurança cibernética.	
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

### 12.3.4 Temática: Governança e vigilância de mercado

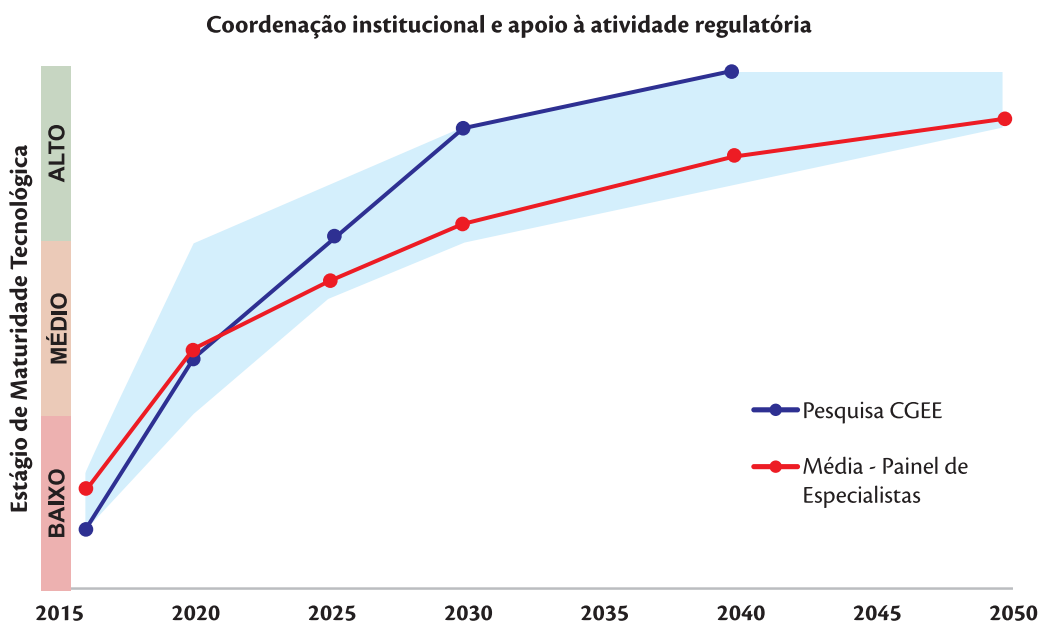
A temática governança e vigilância de mercado foi desdobrada na rota coordenação institucional e apoio à atividade regulatória.

#### Roadmap tecnológico

##### Rota 1 - Coordenação institucional e apoio à atividade regulatória

Essa rota contempla linhas de PD&I relacionadas a temas necessários para uma análise do que é necessário ser desenvolvido no país para que exista uma coordenação institucional com apoio à atividade regulatória.

No Gráfico 88, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota coordenação institucional e apoio à atividade regulatória.



**Gráfico 88** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação Institucional e Apoio à Atividade Regulatória

Fonte: Elaboração própria.

Entende-se o Brasil como situado no nível baixo de maturidade. O Comitê Brasileiro de Regulamentação (CBR) foi criado pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial



(Conmetro) em 2005, tendo como função aprimorar as práticas regulamentadoras nacionais, respeitando os objetivos, as especificidades e as diferenças estabelecidas nas leis que regem os órgãos e entes regulamentadores. O CBR é um comitê assessor do Conmetro, e o Inmetro, além de membro nato, exerce a secretaria executiva. Atualmente, porém, encontra-se praticamente inativo.

No curto prazo, espera-se que as principais definições sejam tomadas: modelo de coordenação institucional, modelo de vigilância, modelos de análise de impacto regulatório e modelos de validação, aperfeiçoamento e revisão de normas e regulamentos técnicos. Espera-se também que as empresas do setor elétrico tenham desenvolvido tecnologias de gestão para conformidade e *compliance* às normas e regulamentações técnicas.

A maturidade dessa rota cresce ao longo do tempo, atingindo seu ápice em 2040, quando alguns ciclos de melhoria contínua já tiverem sido rodados para os modelos formulados.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 53, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 53** - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Governança e Vigilância de Mercado da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Governança e vigilância de mercado	Coordenação institucional e apoio à atividade regulatória	Fatores portadores de futuro	As leis e os fundamentos que norteiam as atividades de metrologia foram introduzidas e desenvolvidas no Brasil há décadas. Ampla capacidade laboratorial e de recursos humanos no campus do Inmetro em Xerém. Pouca interação direta entre os laboratórios primários e o setor produtivo, dificultando o desenvolvimento de soluções aplicadas. Poucos recursos governamentais disponíveis para manutenção, expansão e modernização dos laboratórios primários.		Ativação do Comitê Brasileiro de Regulamentação. São desenvolvidos modelos de estudo de impacto e novas tecnologias de gestão aplicadas às empresas do setor elétrico para conformidade e <i>compliance</i> às normas e regulamentações técnicas. O modelo de vigilância do mercado adequado para garantir a regularidade do setor elétrico brasileiro.		Os primeiros estudos de impacto são realizados, balizando a criação de novos regulamentos técnicos. Implementação da vigilância de mercado. Monitoramento e aperfeiçoamento do modelo de vigilância.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

## 12.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 54.

**Tabela 54** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Coordenação institucional e apoio à atividade regulatória	Governança e vigilância de mercado
2	Confiabilidade metrológica do setor elétrico	Metrologia
3	Referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços	Normalização e regulamentação técnica
4	Conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos	Avaliação da conformidade

Fonte: Elaboração própria.

Primeiramente, há de se garantir a governança e a vigilância de mercado para o desenvolvimento da macrotemática. Depois, seguindo a lógica estruturante da TIB, as linhas de PD&I da rota confiabilidade metrológica do setor elétrico deverão ser priorizadas, já que constituem a base da cadeia. Em seguida, devem ser priorizadas as linhas de PD&I da rota referencial técnico para equipamentos, sistemas, processos e serviços, para que se estabeleça o referencial técnico. Como o desenvolvimento da atividade de avaliação da conformidade depende da estrutura metrológica e dos padrões técnicos definidos, as linhas de PD&I associadas à rota conformidade dos equipamentos, processos e serviços às normas e regulamentos técnicos foram colocadas em quarta prioridade.



## Capítulo 13

---







## Capítulo 13

# Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

Essa macrotemática é responsável por mapear as rotas tecnológicas e linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação direcionadas à produção de mão de obra capacitada e treinada, conforme os requisitos do sistema elétrico brasileiro. Pelos resultados apontados no estudo dessa macrotemática, é possível estabelecer as prioridades em investimentos e aplicações de projetos de PD&I no país para favorecer a área, de forma a produzir recursos humanos de nível técnico e superior aptos a trabalhar e contribuir para a evolução do setor elétrico. Devido à sua multidisciplinaridade, à quantidade de conceitos associados e às várias particularidades do SEB, a produção de recursos humanos se torna assunto complexo, que demanda, desde uma completa investigação a respeito dos tipos de perfis profissionais necessários para o setor, observando habilidades e requisitos básicos da mão de obra, até uma série de adaptações em currículos já existentes nas áreas de engenharia e tecnologia, novas metodologias de ensino e aprendizagem, além de várias tecnologias e ferramentas de apoio ao processo de formação, treinamento e capacitação.

A quantidade e a qualidade dos recursos humanos são parte fundamental para o sucesso e a prevalência de uma empresa, instituição ou serviço. A análise da macrotemática tecnologia para capacitação de recursos humanos, no âmbito do Projeto de Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica, é detalhado a seguir para refletir as preocupações quanto à oferta de mão de obra qualificada para o setor de energia elétrica brasileiro, considerando o atual estado e as perspectivas do desenvolvimento econômico e social do país.

Dessa forma, a macrotemática tecnologia para capacitação de recursos humanos foi dividida em duas temáticas, a saber:

- Perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico;
- Metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos.

A temática perfil do profissional visa prospectar, estudar e estabelecer os requisitos atuais e futuros dos profissionais que vão trabalhar com o produto “energia elétrica” no país. Além de identificar locais, serviços e aplicações da mão de obra, a análise leva em conta as habilidades necessárias desses profissionais, o nível de sua capacitação (técnica ou superior) e a evolução desses conceitos com base no desenvolvimento tecnológico, econômico e cultural.

A temática de metodologias e tecnologias de capacitação objetiva identificar, analisar, reformar ou criar métodos e ferramentas de apoio às atividades de ensino e treinamento, para que seja possível transmitir de forma mais simples, mais barata e mais eficiente todos os conceitos necessários, além de avaliar o desempenho do profissional antes e depois da capacitação, para auxiliar no processo de educação como um todo.

## 13.1 Visão de futuro

### 13.1.1 Cenário setorial

Observa-se hoje que a área de capacitação de recursos humanos, responsável por prover mão de obra especializada para o SEB, é constituída por diversas instituições de ensino técnico e superior, além de outras instituições de treinamento e capacitação. Tais entidades encontram-se localizadas em todos os estados da Federação, mas, de forma mais concentrada, nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, com caráter privado ou público, ministrando currículos para formação de recursos humanos com conhecimentos de interesse para o SEB. Tais currículos são elaborados conforme várias demandas requisitadas pelas indústrias, concessionárias e entidades no setor. São ainda constantemente renovados em função da atualização tecnológica que ocorre, não somente nas áreas de sistemas de potência, mas também nas áreas relacionadas a eletricidade, eletrônica, computação, telecomunicações e de outras engenharias. Em geral, a formação de recursos humanos das instituições de ensino técnico e superior é feita com base em currículos generalistas, com algum grau de especialização. Mais tarde, dependendo dos requisitos de um posto de trabalho ou colocação, ou por conta de aspirações pessoais, os profissionais do setor realizam complementação por meio de especializações, capacitações e treinamentos. Nesse cenário, é importante ressaltar que, apesar da diversidade de instituições existentes, a demanda por profissionais é reprimida e seus métodos e ferramentas podem se tornar defasados ou ultrapassados diante de constantes desenvolvimentos e convergências de tecnologias provenientes de outras áreas.

A visão de futuro da macrotemática tecnologia para capacitação de recursos humanos pode ser estabelecida em diversos horizontes nas próximas décadas, até próximo de 2050. Como há perspectiva de aumento da penetração de novas tecnologias no SEB, a demanda por recursos humanos especializados será ainda maior, principalmente no setor de serviços técnicos e de engenharia. Atendendo a essa expectativa, vislumbra-se que até 2050 a área de capacitação de recursos humanos para o SEB apresente redes nacionais de pesquisa, desenvolvimento e inovação,



integrada por empresas e instituições estabelecidas no país, capazes de inventar, desenvolver, comercializar, implantar e realizar pós-venda de ferramentas, tecnologias, cursos e metodologias, com foco em educação, treinamento, especialização e avaliação dos recursos humanos. Nessa perspectiva, tais empresas e instituições serão capazes de gerar produtos, patentes e prestar serviços, com mão de obra, tecnologia e engenharia nacionais, para suprir as demandas por recursos humanos, tanto para as empresas do setor elétrico do país quanto para o exterior.

### 13.1.2 Objetivo geral

A capacitação de recursos humanos deverá prover mão de obra especializada, capacitada e treinada para dar suporte à área de serviços nas seguintes atividades: planejamento, projeto, implantação, comercialização, manutenção e operação de redes elétricas e seus equipamentos. São também necessários recursos humanos nas áreas de engenharia, pesquisa, desenvolvimento de novos produtos e tecnologias para o setor, considerando as questões relacionadas ao meio ambiente e ao ciclo de vida dos ativos. Esse pessoal será destinado para trabalhar em redes elétricas existentes (em expansão, repotenciação e reforma) e em projeto de novos empreendimentos, com requisitos de nível superior e técnico ímpares e conhecimentos multidisciplinares.

Para alcançar esses objetivos gerais, serão necessárias melhorias técnicas, ferramentas de ensino e treinamento e o estudo de novos currículos de formação superior e técnica. Será necessário também otimizar a estrutura educacional no país para fomentar a interligação de instituições capazes de realizar essa capacitação, levando em conta metas de qualificação de recursos humanos nas empresas, principalmente em níveis de mestrado e doutorado.

### 13.1.3 Objetivo específico

Os objetivos específicos para atingir os objetivos gerais podem ser vistos em níveis micro e macro. Para desenvolver o setor em nível micro, são desejáveis pequenos projetos, não só para criar laboratórios e centros de treinamento, com uso de tecnologias existentes adaptadas às necessidades do SEB, mas principalmente desenvolvendo metodologias de treinamento e de ensino. Em nível macro, são desejáveis projetos de médio e grande porte que permitam desenvolver tecnologias próprias desse setor, com ênfase em metodologias e ferramentas nacionais. Isso pode ser feito por meio dos seguintes desenvolvimentos tecnológicos, resultados de investimentos em PD&I.

#### **Curto prazo (2017-2020):**

- Identificar demandas por capacitação de recursos humanos em função de especificidades do SEB, suas necessidades atuais e o estado da arte das tecnologias e conceitos aplicados;
- Identificar mudanças nas faixas etárias de recursos humanos em face de perspectivas de evolução das faixas etárias da população, com vistas a mapear os empregados por área de atuação e grau de capacitação;

- Desenvolver técnicas e metodologias de ensino, treinamento, avaliação e certificação à distância;
- Desenvolver novas técnicas e ferramentas analíticas para gestão do conhecimento no ambiente de ensino e aprendizagem, com apoio de técnicas de *Big Data*, *data mining* etc.

#### **Médio prazo (2020-2030):**

- Desenvolver técnicas e metodologias avançadas de ensino, treinamento e avaliação, incluindo recursos avançados de imersão, telepresença, realidade virtual e/ou aumentada, jogos sérios, ensino *peer-to-peer* (aula sem professor), entre outros;
- Fomentar novos cursos e programas de atualização tecnológica, com currículos para técnicos, alunos de graduação e pós-graduação, para capacitação e recapacitação, com novas rotinas de treinamento, novos métodos de avaliação e acompanhamento.

#### **Longo prazo (2030-2050):**

- Pesquisar novas ferramentas e recursos para a capacitação, como instrumentos, dispositivos, ambientes de imersão sensorial, simuladores em tempo real, plataformas computacionais de apoio, sistemas de aquisição e síntese de dados, ferramentas de apoio ao ensino assistido e à distância;
- Estruturar centros e redes de treinamento, capacitação e certificação de recursos humanos no Brasil e no exterior, agregando institutos, escolas, universidades e empresas, alinhadas por linha temática e competências.

### **13.1.4 Fundamentação**

A temática de capacitação de recursos humanos é multidisciplinar em sua natureza, uma vez que engloba uma série de tópicos, como: aspectos culturais e organizacionais da força de trabalho, questões de segurança pessoal e operacional, tipos de instituições responsáveis por ensino, treinamento e certificação de pessoal, composição da matriz energética, estrutura e requisitos do SEB, grande variabilidade de tecnologias associadas ao setor e sua constante evolução tecnológica.

Uma visão de futuro bem estabelecida e aceita pelas empresas integrantes do SEB permite ampliar o leque de oportunidades e investimentos no setor. Caso contrário, os investimentos serão priorizados apenas para projetos pequenos que, apesar de propiciar retorno rápido, têm menor valor agregado, baixo fator de impacto no setor, além de menor possibilidade de inovação. Deve-se, portanto, apresentar uma perspectiva clara, que favoreça o desenvolvimento constante de projetos de todos os portes (pequenos, médios e grandes), com impactos de curto, médio e longo prazo, permitindo alcançar os objetivos gerais e específicos comentados. Os projetos de PD&I para essa macrotemática são responsáveis por mobilizar investimentos para o setor e devem ser capazes de detectar demandas específicas do SEB, conquistar os avanços científicos e tecnológicos necessários, disseminar metodologias e produtos desenvolvidos, ampliar o parque de formação de recursos



humanos de forma a atender a demanda reprimida do país, além de estender o mercado de serviços, cursos, educação e treinamento ao exterior, criando novas cadeias produtivas nacionais no fornecimento de mão de obra, serviços e ferramentas de apoio.

Os projetos de PD&I de pequeno porte, para horizontes de um a dois anos, devem ser focados em demandas imediatas de uma ou outra empresa ou instituição relacionada ao SEB. O objetivo inicial é criar ferramentas de apoio à educação, ensino e treinamento de pessoal, utilizando tecnologias já existentes e consagradas, mesmo importadas, prospectando produtos e metodologias para verificar seus resultados e suas aplicabilidades às demandas do SEB. Mais tarde, tais projetos de curto prazo devem continuar a realizar tais desenvolvimentos, mas com o uso de tecnologias desenvolvidas no país. Um exemplo de projeto de curto prazo é a criação de um ambiente para treinamento de usuários para um centro de operação de subestações de uma concessionária, envolvendo simuladores em tempo real, *softwares* de modelagem e dispositivos eletrônicos nacionais ou importados. Nesse tipo de projeto, além do experimento com a tecnologia, o objetivo seria estabelecer cenários de aplicação e metodologias de ensino e capacitação de recursos humanos.

Por outro lado, os projetos de médio porte, para períodos entre dois e quatro anos, devem se concentrar em desenvolvimento e nacionalização dessas ferramentas. Além de atender o objetivo de capacitação de recursos humanos para as demandas gerais do SEB, esses projetos devem estimular o desenvolvimento de componentes eletrônicos básicos, plataformas computacionais, *softwares*, arquiteturas e sistemas com engenharia nacional. Esses projetos requerem ainda desejável atualização dos serviços de tecnologia e engenharia no país, bem como do seu ensino técnico e superior. Nesses tipos de projeto, por exemplo, devem ser desenvolvidos os próprios simuladores, ferramentas e *softwares* com a engenharia nacional. O objetivo é criar, aplicar e analisar os méritos de novas ferramentas, tecnologias, cursos, currículos e métodos de avaliação, customizados às demandas de recursos humanos do SEB.

Finalmente, com projetos de grande porte, de duração superior a quatro anos, é possível alcançar um grau ainda maior de nacionalização, tanto dos serviços de engenharia quanto de toda a tecnologia e materiais empregados no setor. Projetos maiores, com maiores requisitos e demandas compromissadas de maior prazo, podem justificar o investimento nas cadeias produtivas de insumos para a área, além de estimular o surgimento de novas empresas e indústrias, com vistas aos mercados nacional e internacional. Por meio de tais projetos, é possível aumentar a massa crítica de conhecimentos em torno do tema e criar redes de serviços, pesquisa, capacitação e treinamento por todo o país, com impacto também em outras áreas, como os setores automotivo, naval, aeroespacial e prospecção de gás e petróleo, por exemplo. Tais conhecimentos também devem resultar em aumento no interesse do mercado externo pelas tecnologias de capacitação de recursos humanos desenvolvidas, bem como da própria mão de obra especializada produzida no processo.

Além da mobilização de projetos para estimular o desenvolvimento do setor, a fim de alcançar os resultados citados, são necessários iniciativas, estratégias e incentivos nas dimensões política,

financeira e institucional. Pela observação desses fatores, será possível priorizar e aplicar esforços nas direções desejadas, para que os objetivos sejam alcançados dentro dos prazos estimados.

Em termos políticos, é desejável apoio e auxílio no mapeamento de demandas e capacidades, na prospecção e incentivos aos financiamentos, desburocratização no estabelecimento de acordos e parcerias, tanto nacionais quanto internacionais, além de trabalho ativo no suporte e na defesa da propriedade intelectual nacional. Além disso, são desejáveis ações para estímulo da participação de profissionais do SEB nas instituições de ensino e capacitação para maior contato do meio empresarial e industrial com a área de educação, com inspiração nos modelos educacionais de países como Coreia do Sul e Estados Unidos. Também são importantes ações políticas para o estímulo e a valorização da especialização dos recursos humanos, principalmente na área de pós-graduação, nas empresas e instituições participantes do SEB.

Em termos financeiros, são necessárias linhas de fomento de agências de pesquisa, empresas e instituições, via aplicação de incentivos fiscais ou outros atrativos, para favorecer a captação e continuidade de investimentos para o setor.

No tocante às instituições, devem-se estimular o surgimento e a manutenção de parcerias entre empresas do SEB, centros de pesquisa, instituições de ensino técnico e superior e empresas do setor privado e estatal, principalmente nacionais. Entretanto, como boa parte do estado da arte de tecnologias atualmente é importada, acordos e parcerias com empresas e instituições estrangeiras também são importantes e determinantes para que seja possível atingir grau mais avançado de nacionalização e transporte tecnológico às empresas nacionais do setor. Tais parcerias podem ser meramente comerciais, mas devem ser primordialmente de intercâmbio de professores, pesquisadores, técnicos e engenheiros, permitindo a atualização dos recursos humanos atuais e a transferência de tecnologia e informação para o país.

Devido às próprias características de diversidade natural e cultural, extensão territorial e certa variabilidade de seus recursos energéticos, o Brasil tem competência para se tornar referência mundial nessa temática. Por exemplo, com a maior penetração de fontes renováveis, geração distribuída e popularização das redes inteligentes no SEB, a demanda será crescente por serviços técnicos e de engenharia com maior capacitação, bem como por ampla gama de equipamentos e tecnologias. Para atender essa demanda, são necessários laboratórios certificados, centros de treinamento e ensino, metodologias de teste, avaliação e qualificação, tecnologias das mais diversas, além de normas regulamentadoras da atividade profissional e políticas públicas para o setor. Esses fatos justificam a organização do setor para o fortalecimento ou o surgimento de novas redes de pesquisa e treinamento, que atuem com base nas necessidades específicas do país.

Do ponto de vista do desenvolvimento de tecnologias e ferramentas para a capacitação, também já existem competências no país, por vezes aplicadas a outros setores da indústria, ou com baixo valor agregado e dependente de equipamentos e insumos importados. Observando o SEB, nota-se que são



importantes para a capacitação de recursos humanos, por exemplo, sistemas de aquisição de dados, *softwares* de modelagem e simulação, sistemas de visualização científica, computação gráfica, sistemas de realidade virtual e imersão sensorial, prototipagem rápida de componentes, veículos não tripulados como drones, dispositivos autônomos como robôs, arquiteturas de simulação e controle em tempo real, sistemas de supervisão e controle, estratégias de ensino e avaliação, entre outros métodos, dispositivos e tecnologias. Vários centros de pesquisa e empresas no país demonstram o domínio desses tópicos, algumas, inclusive, com projetos de vanguarda tecnológica mundial, mas pouco difundidos. Todos esses conhecimentos devem ser popularizados e estimulados com desenvolvimentos nacionais para uso no treinamento de recursos humanos de empresas e cenários do SEB.

O SEB representa um grande mercado de produtos e serviços e, com uma visão clara de futuro e objetivos, tem potencial para desenvolver soluções próprias, criativas e eficientes. Para se tornar essa referência, no entanto, são necessárias prioridades e níveis de investimento em PD&I, com estímulo de pesquisas multidisciplinares, projetos supra e multi-institucionais, intercâmbio de pesquisadores, docentes e discentes no país e no exterior, e a criação de novos, ou a consolidação dos existentes, centros de pesquisa e treinamento.

## 13.2 Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral dessa macrotemática, considerando os aspectos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I e indústria e mercado. O esquema resumido desse capítulo encontra-se na Planilha de Indicadores (ver Anexo).

Inicialmente, é feita uma caracterização circunstanciada do estado da macrotemática tecnologia para capacitação de recursos humanos no país.

O sistema elétrico brasileiro é uma grande rede elétrica, interligada, de dimensões continentais, responsável por obter, transmitir e distribuir energia elétrica para uso nos âmbitos residenciais, comerciais e industriais. O país tem grande variedade de fontes, com matriz energética com sólida base hídrica, apoiada em usinas térmicas e complementada por usinas eólicas e solares.

Devido à amplitude geográfica entre as fontes e os centros de consumo, as redes elétricas do país são interligadas por milhares de quilômetros de linhas de transmissão, com variados perfis e naturezas de tensão elétrica, em corrente alternada ou em corrente contínua.

Principalmente na última década, o SEB convive também com uma importante convergência tecnológica: o advento da popularização dos sistemas computacionais e a disseminação das telecomunicações e redes de computadores. Por um lado, os sistemas digitais de computação

têm se tornado cada vez mais potentes, compactos, baratos e eficientes, permeando desde a vida pessoal até o ambiente industrial e corporativo. Por outro lado, os avanços nas tecnologias de comunicação, com novos meios de transmissão de dados, codificações e protocolos, possibilitaram novos tipos de conectividade, com fio ou sem fio, com características de banda e velocidade cada vez maiores, com cada vez maior alcance e menor custo. O impacto dessas tecnologias é importante para o setor, uma vez que modifica a forma como a eletricidade pode ser produzida, transmitida, manipulada e empregada em seu uso final, como pode ser visto ou vislumbrado nas REI, na próxima (quarta) revolução industrial, na internet das coisas etc.

Hoje, os profissionais que atuam no SEB estão inseridos em um ambiente bastante diferente do passado. Esse ambiente requer conceitos multidisciplinares para o trabalho cotidiano, com tópicos de outras áreas da ciência, além da eletricidade, como física, química, materiais, obras civis, estruturas e artefatos mecânicos, entre outros.

Ainda, com os efeitos da ocupação humana desordenada nos ecossistemas, com o esgotamento dos recursos naturais não renováveis e com a clara percepção das alterações climáticas ocasionadas no planeta, os profissionais devem estar preocupados com sua postura com respeito às questões de sustentabilidade e meio ambiente.

Nesse contexto, o *status quo* dos recursos humanos no setor elétrico é caracterizado por um ambiente de demanda reprimida por mão de obra especializada e treinada. Essa demanda só não é um problema mais grave devido aos fatos recentes decorrentes da recessão econômica e da fuga de investimentos em todos os setores produtivos. Entretanto, é sabido que a condição fundamental para que se possa sustentar qualquer perspectiva de crescimento econômico e social é uma maior oferta de recursos humanos capacitados e a renovação dos existentes, com habilidades e conceitos para pesquisar, desenvolver e inovar.

Em termos de evolução tecnológica é importante estabelecer o *status quo* para o setor de forma a entender requisitos profissionais, requisitos operacionais e tecnologias e métodos aplicados. Essas etapas devem ser realizadas rotineiramente para acompanhar a evolução do setor.

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de cursos, currículos, treinamentos e especializações, bem como de métodos e ferramentas de ensino, é fundamental para a macrotemática.

Como há forte sinergia do SEB com todas as empresas do setor industrial do país, é necessário um acompanhamento também desses outros setores e suas peculiaridades.

Em termos gerais, é importante ter uma base de conhecimentos sólida, mantida por ações periódicas de prospecção, a respeito dos problemas do SEB, dos requisitos da mão de obra e de ferramentas e métodos empregados para treinamento e especialização.





Em termos de regulação, é importante que as instituições sejam avaliadas e acompanhadas pela sociedade para se verificarem a aplicabilidade das habilidades e as funções construídas nos profissionais do futuro em seu exercício profissional no setor, com participação fundamental das agências normativas e conselhos profissionais de classe.

Quanto a políticas e governanças, devem ser incentivados programas de aperfeiçoamento profissional, intercâmbio institucional, principalmente de profissionais de ensino e capacitação, nas instituições nacionais e estrangeiras. Deve-se ainda fortalecer o uso e a aplicação de uma língua universal, como o inglês, nos procedimentos de ensino e treinamento para dirimir quaisquer barreiras linguísticas, e incentivar o domínio de outras línguas para permitir maior comunicação com culturas globais em franca expansão econômica e comercial. Para favorecer o desenvolvimento tecnológico na área, são necessárias linhas para importação de insumos e componentes de forma facilitada, a fim de empreender inovações e nacionalização de produtos e serviços na área de ensino e capacitação.

Dentro da estratégia setorial, é fundamental apresentar planejamentos de médio e longo prazo para que instituições participantes possam se programar e estabelecer estratégias de desenvolvimento e evolução.

Em questões socioambientais, o papel das mudanças climáticas é marcante para a educação e o ensino para o futuro. Mais do que conhecer e assimilar o papel de cada profissional em termos da sustentabilidade de suas ações, os novos recursos humanos devem ser protagonistas em ações de melhoria de eficiência, diminuição e mitigação de impacto ambiental, políticas de reciclagem e cadeia reversa. As questões ambientais mais relevantes serão peculiares para cada região brasileira.

Em termos gerais, a disposição de mão de obra qualificada é um fator importante para o desenvolvimento humano, uma vez que estimula a inclusão social e a melhoria nos índices de renda nas famílias, constituindo-se como fator amplificador para a criação de novos negócios e serviços.

Quanto à distribuição dos recursos humanos, deve-se notar que sua demanda é sempre maior nas regiões de maior desenvolvimento econômico. No SEB, entretanto, devido a sua amplitude geográfica, a demanda é mais distribuída. Essa demanda atualmente é reprimida e a emergência nesse atendimento vai requerer a formação de várias gerações de profissionais até 2030. Como abordado na cenarização, essa demanda deve diminuir para os setores do SEB a partir desse período, mas deve-se atentar que existe oportunidade de exportação de recursos humanos, produtos e serviços para outros países em desenvolvimento.

Na Planilha de Indicadores (ver Anexo), são mostradas métricas com relação a produção e estrutura de CT&I para a macrotecânica. Quanto à produção, são importantes revistas, congressos e *workshops* para disseminação de práticas e conhecimentos, principalmente em âmbito nacional. Espera-se que, ao atingir certa maturidade em termos de produtos e métodos, simultaneamente ao surgimento de novas patentes e inovações na área de ensino, as publicações aumentem em caráter internacional em termos de qualidade e quantidade.

Quanto à estrutura de CT&I, os principais indicadores para o desenvolvimento do setor são quantidade, qualidade e número de redes de cooperação e intercâmbio estabelecidas entre instituições, sejam elas dedicadas ao ensino ou à pesquisa, sejam as próprias indústrias e empresas participantes do SEB, tanto nacionais quanto internacionais.

Quanto à indústria e ao mercado na macrotemática, em geral, a própria necessidade e quantidade de postos de trabalho com mão de obra qualificada é o melhor indicador para a macrotemática, seja em âmbito nacional quanto na indústria e no mercado global. No tocante à metrificação da cadeia produtiva para o setor, deve ser baseada na quantidade e no valor agregado (financeiro ou tecnológico) em recursos e bens produzidos para a área de ensino, capacitação e treinamento de recursos humanos.

### 13.3 Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

Nesse capítulo, são abordadas as métricas de desenvolvimento e as curvas de evolução da maturidade tecnológica das rotas da macrotemática tecnologia para capacitação de recursos humanos consideradas no projeto. Tais pontos são apresentados, por temática, nos itens subsequentes.

Considerando os seguintes cenários e métricas, apresenta-se a evolução da maturidade tecnológica das rotas consideradas. Graficamente, a evolução será apresentada do Gráfico 89 ao Gráfico 91. Ressalta-se, conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), que, para elaboração das faixas de variação e curva média, foi realizado um painel de especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança.

#### 13.3.1 Temática: Perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico

O perfil ideal do profissional para trabalhar no setor elétrico é fundamental para estabelecer qualquer estratégia de produção de recursos humanos para o futuro. É importante entender as atuais demandas de recursos humanos no país, bem como verificar quais são os requisitos dessa formação, seja em nível médio (convencional ou técnico profissionalizante), em nível superior (engenheiros e tecnólogos) e em pós-graduação (*lato e stricto sensu*).

#### **Roadmap tecnológico**

##### *Rota 1 - Identificação dos requisitos e habilidades profissionais*

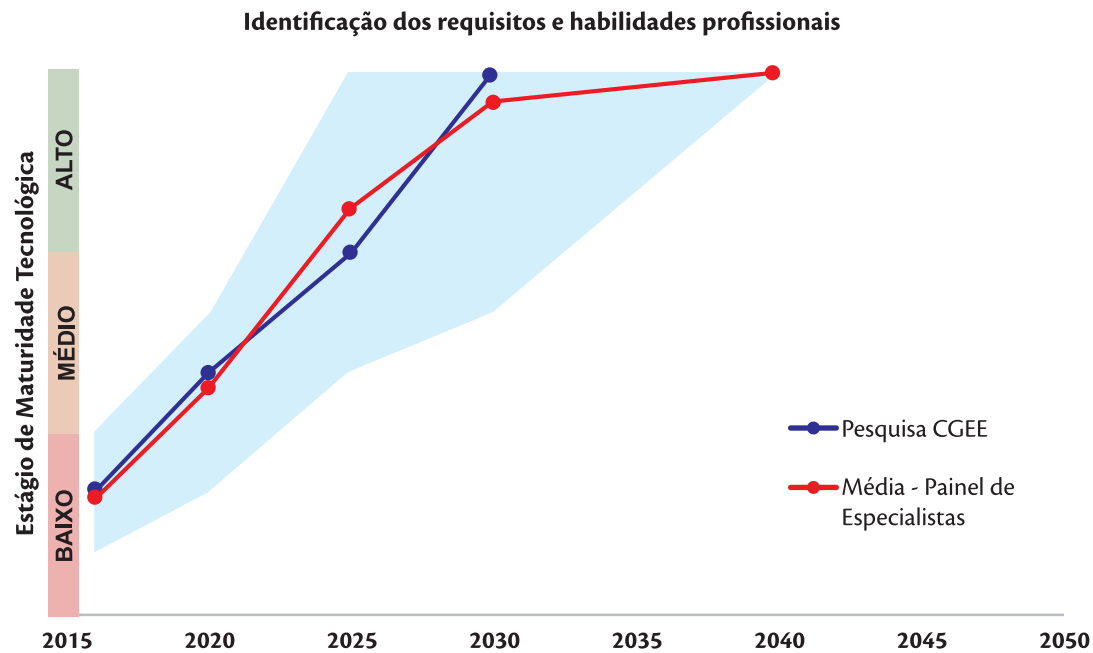
Essa rota foi estabelecida para identificar, prospectar, avaliar e categorizar requisitos e competências em cada tipo de atividade profissional e em cada local de aplicação no SEB, por exemplo, nos setores de projeto, implantação, operação, manutenção, comercialização e descarte de tecnologias e serviços.



Uma das linhas de pesquisa vislumbrada para o setor é a de desenvolvimento de metodologias e ferramentas para essa finalidade. Dessa forma, é possível identificar e mapear habilidades desejadas, problemas e preocupações típicas associadas a cada atividade profissional, regiões do país em que tais postos são mais ou menos necessários, além de barreiras econômicas, culturais e sociais para esse ensino. Esses fatores devem ser contemplados em face dos requisitos crescentes impostos pela rápida evolução tecnológica do SEB e devido a questões normativas, certificações e qualificações exigidas pelo mercado nacional e internacional, e outras questões.

Além disso, é importante ter linhas de PD&I para criar bases de dados de conhecimento e experiências, incluindo questões sobre o gerenciamento e manutenção dessas informações associadas às atividades do SEB e do seu profissional.

No Gráfico 89, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota identificação dos requisitos e habilidades profissionais.



**Gráfico 89** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Identificação dos Requisitos e Habilidades Profissionais

Fonte: Elaboração própria.

Deve-se criar ampla base de conhecimentos a respeito dos profissionais desejados para trabalho no setor elétrico, seja num horizonte próximo, para atendimento às demandas emergenciais, seja

nos horizontes de longo prazo, para que seja possível lidar com novos conceitos e tecnologias para o setor. Essa base de conhecimentos, competências e qualidades deve também ser mantida, rotineiramente, com novas prospecções e análises. Essas informações já são de conhecimento específico de empresas e prestadores de serviço e podem ser disseminadas e compartilhadas por meio de publicações, congressos e seminários para que as instituições responsáveis pela formação de novos recursos possam direcionar seus esforços nesse sentido.

Espera-se que, até 2025, haja alguma estabilidade na produção científica no âmbito dessa rota, com alguma estagnação no longo prazo. Por outro lado, uma vez que a identificação esteja amadurecida e mantida, deve-se perceber aumento substancial nas patentes e produções tecnológicas.

Sobre as políticas e governanças relacionadas a essa temática, é importante frisar o papel dos organismos e instituições de pesquisa, desenvolvimento e inovação na promoção de eventos, congressos e seminários sobre temas específicos para o setor, além de incentivar e valorizar a presença de mão de obra especializada nas empresas, como incentivo à participação de funcionários em programas de pós-graduação e especialização, bem como à participação de mestres e doutores da academia em postos nas iniciativas pública e privada e vice-versa.

Devido à demanda reprimida, é esperado grande aumento na quantidade de instituições de ensino, treinamento e capacitação no médio prazo. No longo prazo, espera-se crescimento menor, mas com maior estabelecimento de redes de cooperação e intercâmbio de recursos humanos e serviços.

Verifica-se que há quase um consenso sobre a envoltória de metas ao longo dos anos, com evolução quadrática ou exponencial. Entretanto, é importante ressaltar que boa parte dos especialistas indica que já existe maior maturidade nos anos atuais e que, devido à importância dessa temática no estabelecimento de outras temáticas, rotas e projetos, seu amadurecimento completo se dê de forma antecipada, entre 2025 e 2030.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 55, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.



**Tabela 55** - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Identificação dos Requisitos e Habilidades Profissionais da Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Temática Perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico	Identificação dos requisitos e habilidades profissionais	Fatores portadores de futuro	Desaquecimento ou recessão do mercado e da economia.		Maiores incentivos para promover a troca de informações, experiências e o intercâmbio de profissionais e tecnologias no setor.  Desaquecimento ou recessão do mercado e da economia. Sistemas e tecnologias para gerenciamento de informação e bases de conhecimento, como <i>softwares</i> e bases de dados. Eventualmente, com disponibilização pública para quaisquer instituições.			Fortalecimento ou criação de novas redes de cooperação entre empresas e instituições públicas e privadas.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				

Fonte: Elaboração própria.

### 13.3.2 Temática: Metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos

Na capacitação de recursos humanos, é importante ter métodos e ferramentas de apoio, de forma a tornar ensino, treinamento e aprendizado mais eficientes. As questões sobre quais métodos ou ferramentas devem ser usados são recorrentes desde a formação das academias e não têm qualquer tipo de resposta definitiva, devendo ser analisadas em seu contexto de aplicação.

No caso específico do SEB, como o rito de educação deve tratar de assuntos e conceitos diversos, relacionados a múltiplas áreas da ciência, com instrumentos e aparatos tecnológicos em constante desenvolvimento, tais métodos e ferramentas devem estar em contínuo aperfeiçoamento, evolução e, às vezes, acabam em natural obsolescência. Entretanto, na atualidade, devido a contribuições de outras áreas, por exemplo, graças à disponibilização na internet de recursos multimídia, vídeos e áudios, várias dessas ferramentas podem ser reinventadas para se adaptarem a novos contextos.

## Roadmap tecnológico

### *Rota 1 - Metodologias de treinamento, ensino e experimentação*

Essa rota foi estabelecida para agrupar linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas de métodos aplicados à capacitação de recursos humanos. Nesse contexto, estão inseridos quaisquer procedimentos, técnicas, meios para planejamento e execução de atividades, processos e sistemáticas, aplicáveis à área de ensino, treinamento, capacitação, experimentação, especialização. Utilizando-se esses métodos de aprendizagem, serão ensinados, testados e avaliados competências, habilidades e conhecimentos profissionais desejados para um indivíduo.

Uma das linhas de PD&I vislumbradas é a prospecção e análise de metodologias para capacitação e formação profissional, no Brasil e no exterior. A partir do *benchmarking* de experiências já existentes, por exemplo, em países como Coreia do Sul e Estados Unidos, podem ser desenvolvidos novos métodos para a educação técnica e superior em face dos desafios no século XXI.

Como a gama de opções para o ensino de engenharia elétrica é vasta, a partir de demandas identificadas na rota tecnológica anterior, também é possível ter linhas de PD&I para criação de novos modelos e programas de formação e capacitação no país, com currículos exclusivos, generalistas ou especializados, para as áreas relacionadas às atividades no SEB, ou prover adaptações e flexibilidades em currículos existentes em instituições já consagradas para o setor.

Podem ser desenvolvidos e implantados ainda modelos em sistemas de treinamento, capacitação e experimentação via recursos de simulação, como aplicações de simuladores em tempo real e *off-line*, cossimulação e aplicações com sistemas cyberfísicos e recursos da indústria 4.0. Nessas linhas podem ser consideradas experiências e aplicações com recursos de imersão digital e sensorial, com aplicações de realidade virtual e realidade aumentada.

Utilizando recursos de imersão e realidade virtual, podem ser criados ambientes de treinamento para equipes de campo, cenários de equipamentos para manutenção, salas de situação para operação e comando de sistemas elétricos, entre outros cenários, que envolvam compromisso e responsabilidade nas ações e tomadas de decisão, incluindo circunstâncias de urgência e pressão. Tais recursos devem ser aplicados não somente às áreas de operação e manutenção, mas também a todas as etapas em que são empregados recursos humanos com capacitação específica no SEB, desde projeto, implantação, operação, manutenção, até comercialização e descarte.

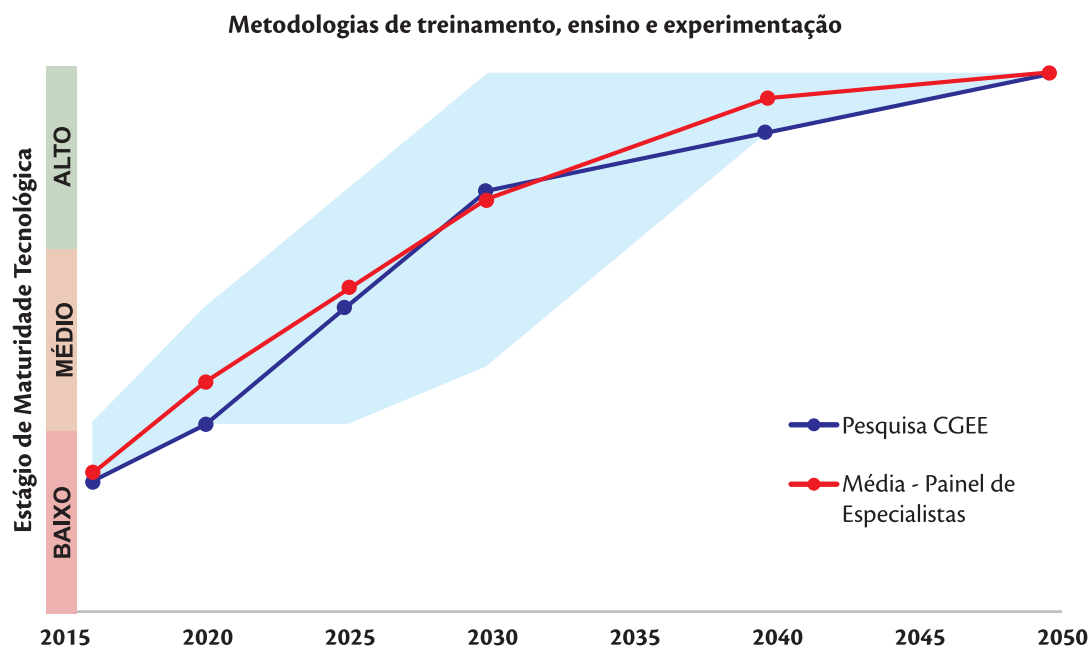
Ainda, é importante que sejam exploradas outras formas de ensino e formas diferenciadas de avaliação e análise dos processos de ensino e aprendizagem, usando metodologias de jogos sérios, esquemas de aprendizado baseado em projetos, entre outros.

Outras linhas de interesse na área de metodologias podem ser enumeradas, como o desenvolvimento de interfaces humano-máquina e sistemas SCADA para treinamento no controle, comando



e operação de sistemas de potência, métodos para determinação dos requisitos e objetivos da capacitação de recursos humanos diante do contexto de REI e cenários contemporâneos no SEB, emprego de metodologias com uso de modelos em escala e maquetes feitas em impressão 3D, métodos com bases de conhecimento em *Big Data*, aplicações de ensino a distância e na nuvem, metodologias de ensino para uso de veículos autônomos e operados remotamente e técnicas e métodos de gestão de bases de dados de conhecimento.

No Gráfico 90, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota metodologias de treinamento, ensino e experimentação.



**Gráfico 90** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias de Treinamento, Ensino e Experimentação

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se notar consenso a respeito da maturidade inicial da rota metodologias de treinamento, ensino e experimentação entre os especialistas. Entretanto, percebe-se que seu amadurecimento é creditado como menos veloz ao longo dos anos, alcançando a maturidade plena apenas em 2050. Essa evolução é corroborada por várias observações dos especialistas quanto ao atraso do país com relação à quantidade de instituições e à qualidade de seus métodos de ensino. Para suplantar esse atraso, há maior inércia para maturação da rota.

## Rota 2 - Tecnologias de simulação, emulação, treinamento e experimentação

Essa rota foi estabelecida para agrupar linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas de ferramentas e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos. Uma vez que o argumento tecnológico é peça-chave para o desenvolvimento dos sistemas elétricos de potência modernos, nesse contexto, estão inseridos quaisquer instrumentos, *softwares*, *hardwares*, sistemas e recursos tecnológicos utilizados como meios para o ensino, seja como facilitadores para o processo de educação, para suporte e apoio a treinamentos e capacitações, na exemplificação de conceitos e tópicos, na avaliação de alunos, na avaliação dos cursos ou no ensino presencial ou a distância.

Inicialmente, na área de ferramentas para capacitação de recursos humanos foram destacados projetos de PD&I para criação de aplicações e produtos para auxílio nos ambientes de realidade virtual e caverna digital, como projetores, sistemas computacionais, *softwares*, rastreadores de movimento, atuadores mecânicos, sistemas de som, entre outros, permitindo a imersão e a vivência de experiências, incluindo sensações visuais, hápticas, auditivas e sensoriais das mais diversas.

Nesses cenários, podem ser aplicadas tecnologias de realidade virtual, providas por sistemas de hardware e software dedicados, usando recursos de *Big Data*, *cloud computing*, processamento paralelo simétrico e assimétrico, que devem ser temas de projetos de PD&I exclusivos para essa finalidade. As tecnologias de realidade virtual podem ser aplicadas ainda nos estágios iniciais de treinamentos com pilotagem de drones, veículos não tripulados controlados remotamente, robôs de manipulação e montagem, sem que haja necessidade de uso real desses equipamentos.

Outros recursos que devem ser desenvolvidos são sistemas para emulação de telepresença, incluindo desenvolvimento de tecnologias de telecomunicações e sistemas digitais, bem como todos os recursos de interação entre os participantes. Desdobramentos dos sistemas de telepresença também são importantes para as áreas de ensino a distância e para as áreas de salas de aula e laboratórios didáticos virtuais e de acesso remoto.

Além do desenvolvimento desses produtos, é necessário o desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados, computadores e simuladores digitais de sistemas dinâmicos, sejam *off-line* ou em tempo real, sistemas eletrônicos de atuadores e amplificadores, interfaces gráficas projetadas, *videowall* e sistemas para salas de situação, que permitam representar cenários de treinamento, emulação, vivência e experiência pelos alunos e professores durante as aulas e atividades de ensino. Nesse contexto, os próprios sistemas de interface humano-máquina e sistemas SCADA podem ter desenvolvimento de *softwares* específicos para a criação de simuladores em tempo real e emuladores de eventos reais capturados na operação cotidiana do sistema elétrico.

Devido à grande variedade de tecnologias e conceitos necessários para ensino, treinamento e simulação, a macrotemática deve ter várias linhas de pesquisa, desenvolvimento e inovação com o intuito de produzir modelos em escala, maquetes, montagens didáticas, bancadas de teste e

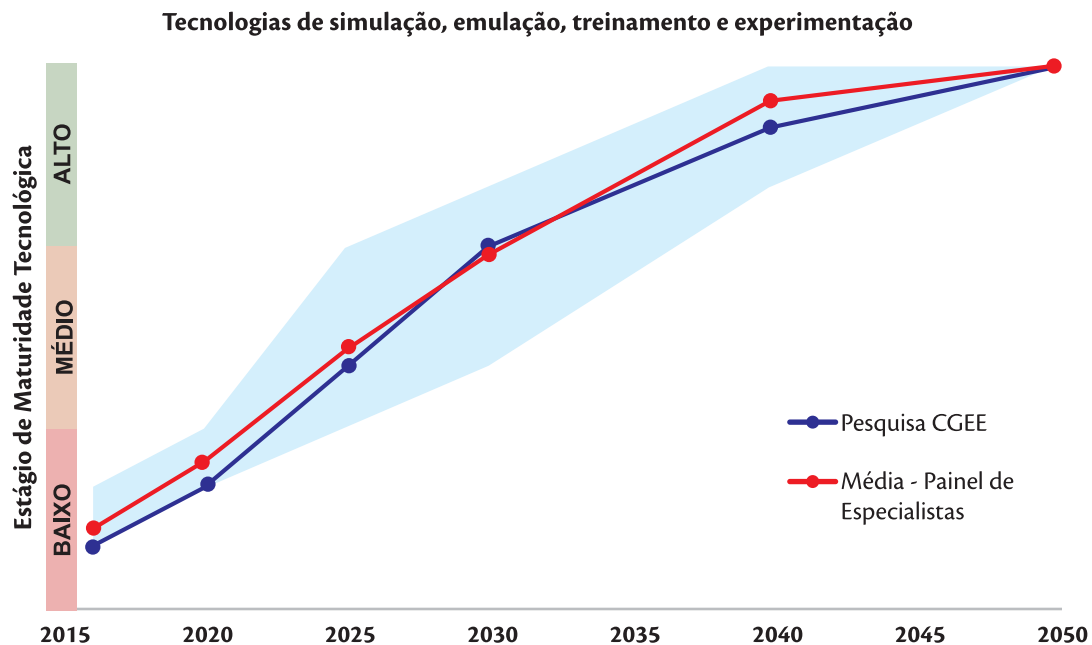




laboratórios para experimentação das tecnologias em ambientes reais, mas controlados, com maior segurança de operação e manipulação de seus componentes e para a realização de ensaios e atividades práticas.

Nessa área, também são importantes ferramentas e sistemas para apoio e gerenciamento de bases de dados de conhecimento, provenientes da experiência prévia de usuários e profissionais ligados ao SEB, mas também para concentração e busca de trabalhos e publicações técnicas nacionais e internacionais.

No Gráfico 91, é apresentada a evolução da maturidade tecnológica da rota tecnologias de simulação, emulação, treinamento e experimentação.



**Gráfico 91** - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Tecnologias de Simulação, Emulação, Treinamento e Experimentação

Fonte: Elaboração própria.

Como observa-se no Gráfico 91, há boa correlação entre as expectativas de quase todos os especialistas com respeito à maturidade inicial dessa rota tecnológica e a evolução de sua maturidade com o passar dos anos. Entretanto, considerando os apontamentos de alguns especialistas, deve-se prever que a maturidade dessa rota deverá ser alcançada de maneira um pouco mais tardia do que originalmente estipulado, sendo a maturidade plena atingida apenas entre os horizontes de 2040 e 2050.

Para que a evolução das rotas tecnológicas se dê como proposto, são elencados, na Tabela 56, os respectivos fatores portadores de futuro, isto é, as condicionantes de desenvolvimento que podem acelerar ou retardar as curvas de evolução. Os fatores de cada uma das rotas tecnológicas supracitadas são apresentados para os períodos considerados neste estudo, relacionando-os com o respectivo grau de maturidade tecnológica das rotas.

**Tabela 56** - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Metodologias e Tecnologias Aplicadas à Capacitação de Recursos Humanos da Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Temática Metodologias e Tecnologias aplicadas à capacitação de Recursos Humanos	Metodologias de treinamento, ensino e experimentação	Fatores portadores de futuro	Crescimento econômico deve ser real para as próximas décadas. Aumento do nível de renda e ao acesso à educação de nível técnico e superior. Falta de incentivo e promoção de projetos colaborativos entre indústria e academia. Falta de incentivo e promoção do intercâmbio de professores e pesquisadores, tanto em âmbito nacional quanto internacional, com promoção de eventos, seminários e <i>workshops</i> para comunicação e troca de experiências. A disponibilidade e o acesso a ferramentas e recursos tecnológicos para apoio ao ensino. A não valorização da formação continuada dos profissionais nas empresas e instituições.			Crescimento econômico deve ser real para as próximas décadas. Falta de incentivo e promoção de projetos colaborativos entre indústria e academia.		Ausência ou diminuição nos investimentos no setor de educação em geral, seja em infraestrutura, no estabelecimento de novas instituições e centros ou na disposição de verbas de apoio a projetos de pesquisa, intercâmbio de professores, pesquisadores e alunos.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			
	Tecnologias de simulação, emulação, treinamento e experimentação	Fatores portadores de futuro	Incentivo à produção de protótipos, lotes pioneiros e tecnologias nacionais. Dificuldades para compra de componentes e recursos importados para finalidades de pesquisa e desenvolvimento.		Incentivo à produção de protótipos, lotes pioneiros e tecnologias nacionais. Aumento de parcerias para promover a nacionalização de tecnologias. Dificuldades para compra de componentes e recursos importados para finalidades de pesquisa e desenvolvimento.		Incentivo à produção de protótipos, lotes pioneiros e tecnologias nacionais. Aumento de parcerias para promover a nacionalização de tecnologias. Falta de incentivos à instalação de empresas multinacionais no país para a produção de insumos e produtos para uso nessa rota.		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.



## 13.4 Priorização

Neste item é apresentada a ordem de prioridade dos investimentos em PD&I para as rotas tecnológicas abordadas na macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos. Conforme explanado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), a priorização foi feita em um Painel de Especialistas, com representantes de instituições de pesquisa, laboratórios, cadeia produtiva, empresas do SEB e governança. Para tanto, foram levados em consideração a visão de futuro da macrotemática, a evolução do desenvolvimento tecnológico de cada rota e seus respectivos elementos facilitadores e limitadores.

O resultado da priorização é apresentado na Tabela 57.

**Tabela 57** - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Identificação de requisitos e habilidades profissionais	Perfil do profissional para trabalhar no setor elétrico
2	Metodologias de treinamento, ensino e experimentação	Metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos
3	Tecnologias de simulação, emulação, treinamento e experimentação	Metodologias e tecnologias aplicadas à capacitação de recursos humanos

Fonte: Elaboração própria.

Durante a apresentação das temáticas e rotas da macrotemática tecnologia para capacitação de recursos humanos, o grupo de especialistas também discutiu a priorização de cada uma das rotas em função do cenário brasileiro.

Foi estipulado que a primeira prioridade para a macrotemática é referente à rota identificação de requisitos e habilidade profissionais. Antes de se desenvolver qualquer metodologia ou tecnologia de ensino, é necessário conhecer exatamente as demandas do mercado e as carências atuais na formação dos recursos humanos para o SEB.

Em segundo lugar, foi estipulado que a segunda prioridade seja dada à rota metodologias de treinamento, ensino e experimentação, em que os atuais meios e técnicas de ensino serão repensados, adaptados e reinventados para dar suporte à demanda reprimida de recursos humanos qualificados no país. As metodologias podem utilizar, num instante inicial, recursos e produtos importados para provar a aplicabilidade e o valor dessas adaptações ou dos novos métodos de ensino e treinamento desenvolvidos.

Finalmente, foi sugerido que a rota com menor prioridade seria tecnologias e produtos para simulação, emulação, ensino e experimentação. Apesar de permitir a criação de novas cadeias produtivas no país e empreender a geração de novos empregos e negócios, não será fácil prover todos os subsídios necessários para seu pleno desenvolvimento. Como apontado, o país tem demanda reprimida de mão de obra qualificada que impede que a indústria nacional se expanda, por exemplo, para atendimento a mercados (no exterior, por exemplo) com produtos de maior valor agregado. Faltam também componentes, insumos e tecnologias para o setor. As empresas que fabricam tais elementos não conseguem se estabelecer no território nacional justamente pela ausência de profissionais qualificados. Assim, antes de criar tecnologias e produtos em território nacional, é preciso ofertar profissionais diferenciados, com especializações, que tenham participado de intercâmbios e parcerias no exterior que transportem a propriedade intelectual para dentro do país.



## Referências bibliográficas

---





## Referências bibliográficas

---

ABDI, S.U.; IQBAL, K.; AHMED, J. Development of PC-based SCADA training system. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), Taipei, 2016, Proceedings... Taipei, 2016, p. 1192-1197.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Site. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 15 Mai. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética - SPE. Chamada nº 020/2016 Projeto Estratégico: Aprimoramento do ambiente de negócios do Setor Elétrico Brasileiro. Brasília, DF: 2016.

ALMEIDA JR, C.R.S. Proposta metodológica para o cálculo do custo marginal de expansão do sistema interligado nacional. PESC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

ANDERSSON, R.; BOHMAN, M. Short- and long-run marginal cost pricing: on their alleged equivalence. Energy Economics, v. 7, n. 4, p. 279-288. 1985.

ANGUITA, D.; GHELARDONI, L.; GHIO A. Long-term energy load forecasting using auto-regressive and approximating support vector regression. In: ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, 2012. Proceedings... 2012.

ARAÚJO, J.L.R.H. de. The case of Brazil: reform by trial and error. In: Sioshansi, F.P.; Pfffenberger, W. (ed), Competitive electricity markets: design, implementation, performance. Oxford: Elsevier, 2006. p. 543-72.

ARAÚJO, J.L.R.H. de; OLIVEIRA, A. de. Questão teóricas e práticas da regulação por preço teto. In: ARAÚJO, J.L.R.H. org. Diálogos de Energia. Viveiros de Castro Ed. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSCIENTIZAÇÃO PARA OS PERIGOS DA ELETRICIDADE - ABRACOPEL. Site. Disponível em: <<http://abracopel.org>>. Acesso em: mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - ABENGE. Site. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br>>. Acesso em: mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. ABNT participa do Workshop de Certificação Profissional. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/noticias/3813-abnt-participa-do-workshop-de-certificacao-profissional>>. Acesso em: mar. 2017.

\_\_\_\_\_. Site. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: jan. a mar. 2017.

BARALDI, L.; PACI, F.; SERRA, G.; BENINI L.; CUCCHIARA, R. Gesture recognition using wearable vision sensors to enhance visitors' museum experiences. *IEEE Sensors Journal*, v. 15, n. 5, p. 2705-2714, May 2015.

BARATA, P.N.A.; FILHO, M.R.; NUNES, M V.A. Consolidating learning in power systems: virtual reality applied to the study of the operation of electric power transformers. *IEEE Transactions on Education*, v. 58, n. 4, p. 255-261, Nov. 2015.

BARRUCHO, L.G. Conheça dez áreas com escassez de mão de obra. *BBC Brasil*, Set. 2014. Disponível em: [http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/09/140903\\_salasocial\\_eleicoes2014\\_profissoes\\_escassez\\_lgb](http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/09/140903_salasocial_eleicoes2014_profissoes_escassez_lgb)>. Acesso em: mar. 2017.

BASTOS, B.Q.; SOUZA, R.C.; CYRINO OLIVEIRA, F.L. Bottom-up long-term forecasting of Brazilian commercial class electricity consumption: First results. *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 388-394. 2015.

BEAM, C.; SEGEV, A. Automated negotiations: a survey of the state of the art. *Wirtschaftsinformatik*, v. 39, n. 3, p. 263-268, 1997.

BELHOT, R.V. A didática no ensino da engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 33., COBENGE, Campina Grande/PB: set. 2005. Anais.. Campina Grande, PB: 2005.

BOßMANN, T.; STAFFELL, I. The shape of future electricity demand: Exploring load curves in 2050s Germany and Britain. *Energy*, v. 90, n.2, p. 1317-1333. 2015.

BONANNO, F.; CAPIZZI G.; TINA, G. Long-term energy performance forecasting of integrated generation systems by recurrent neural networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLEAN ELECTRICAL POWER. 2009. Proceedings... 2009.

BRASIL. Lei da política nacional de mudanças climáticas, Lei Federal nº 12187, 29 de Dezembro de 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Brazil's second National communication to the United Nations framework convention on climate change. Brasília, Nov. 2010.





\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. CNI; SENAI/DN; IEL/NC. Tecnologia industrial básica: trajetória, desafios e tendências no Brasil. Brasília: 2005. 177p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Coordenação de Política Tecnológica Industrial. Programa tecnologia industrial básica e serviços tecnológicos para a inovação e competitividade. Brasília, 2001. 100p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Site. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br>>. Acesso em: mar. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação - MEC, Site. Disponível em: < <https://www.mec.gov.br>>. Acesso em: mar. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério das Minas e Energia. Balanço de energia útil. Brasília, 2006.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. MCTI. MDIC. EPE. NOS. CCEE. ANEEL. Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica - cenarização geral do setor. Brasília: CGEE, 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Trabalho - MTR. Normas Regulamentadoras, Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>>. Acesso em: fev. 2017.

\_\_\_\_\_. Senado Federal. Formação em engenharia no Brasil: engenheiros para ciência e inovação tecnológica. Revista eletrônica "Em discussão!". Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/inovacao/ensino-formacao-em-engenharia-no-brasil-faltam-engenheiros-ciencia-e-inovacao-tecnologica.aspx>>. Acesso em: mar. 2017.

BRAUNGARDT, S.; ELSLAND, R.; EICHHAMMER, W. The environmental impact of eco-innovations - The case of EU-residential electricity use, In: Environmental Economics and Policy Studies (EEPS), Special issue on Green growth, eco innovation and sustainable transitions, Turin, 2015.

BRITO, C.R.; CASTRO, M.A.; BARROS, V.A.; CIAMPI, M.M.; SANTOS, H.D. Engineering education: balancing generalist and specialist formation in technological carriers: A current challenge. In: IEEE WORLD ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUNINE), Santos, SP: 2017, Proceedings... Santos, SP: 2017, p. 1-8.

CABRAL, J.D.A.; LEGEY, L.F.L.; FREITAS CABRAL, M.V.D. Electricity consumption forecasting in Brazil: A spatial econometrics approach. Energy, v. 126, p. 124-131. 2017.

CALLAGHAN, M.J.; MCCUSKER, K.; LOSADA, J.L.; HARKIN, J.; WILSON, S. Using game-based learning in virtual worlds to teach electronic and electrical engineering. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 9, n. 1, p. 575-584. 2013.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. Site. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 15 Mai. 2017.

CARVALHO, D.M.; PEREIRA A.A.F.; OLIVEIRA, V.F. Formação em engenharia no Brasil: distribuição regional de vagas e cursos comparados à população e ao PIB.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. Manual de referência modelo Newave. 106p. Disponível em: <[http://simsee.org/simsee/biblioteca/Brasil/NW201203/ManualReferencia\\_Newave\\_comentado.pdf](http://simsee.org/simsee/biblioteca/Brasil/NW201203/ManualReferencia_Newave_comentado.pdf)>.

\_\_\_\_\_. Modelo DECOMP, manual de referência. out. 2004. 59p. Disponível em: <[http://simsee.org/simsee/biblioteca/Brasil/DC201203/Decomp\\_comentado.pdf](http://simsee.org/simsee/biblioteca/Brasil/DC201203/Decomp_comentado.pdf)>

CHENGCHENG, Z.; ZIGANG, X.; SHIYING G.; FEI, W. Broaden the knowledge of college students for general education purpose in the context of climate change and renewable energy development. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION SOFTWARE AND NETWORKS, 3rd., Xi'an, 2011. Anais... Xi'an: 2011. p. 28-31.

CHO, Y.; DAIM, T. Technology forecasting methods. In: DAIM, T.; OLIVER, T.; KIM, J. (Eds.) Research and technology management in the electricity industry: methods, tools and case studies. London: Springer-Verlag, 2013.

COBENGE, CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2012. Anais.. 2012.

COCHRAN, J.; MILLER, M.; MILLIGAN, M.; ELA, E.; ARENT, D.; BLOOM, A. Market evolution: wholesale electricity market design for 21 st century power systems. Oct. 2013, p. 1-57, 2013.

COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CIGRÉ-BRASIL. Site. Disponível em: <<http://www.cigre.org.br>>. Acesso em: abr. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS - CNI. Indústria precisa qualificar 13 milhões de trabalhadores até 2020. Notícia do portal da CNI. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2016/10/industria-precisa-qualificar-13-milhoes-de-trabalhadores-ate-2020/>>. Acesso em mar. 2017.

CONGER, A.J.; GILCHRIST, B.; HOLLOWAY, J.P.; HUANG-SAAD, A.; SICK, V.; ZURBUCHEN, T.H. Experiential learning programs for the future of engineering education. IEEE Transforming Engineering Education: Creating Interdisciplinary Skills for Complex Global Environments, Dublin: 2010. Proceedings... Dublin: 2010.



CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA - CITENEL, Site. Disponível em: <<http://www.citenel.gov.br>>. Acesso em: mar. 2017.

CONGRESSO DOS CENTROS DE OPERAÇÃO E CONTROLE DAS EMPRESAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CENOCON, Site. Disponível em: <<http://www.rpmbrazil.com.br/palestras.aspx?eventoID=72>>. Acesso em: fev. 2017.

CRENSHAW, T.L.A. Using robots and contract learning to teach cyber-physical systems to undergraduates. IEEE Transactions on Education, v. 56, n. 1, p. 116-120, Feb. 2013.

CREW, M.A. Regulation under increasing competition, Kluwer Academic Publisher 1999.

DAIM, T.; OLIVER, T.; KIM, J. (Eds.) Research and technology management in the electricity industry: methods, tools and case studies. London: Springer-Verlag, 2013.

DAMANPOUR, F. Organizational complexity and innovation: developing and testing multiple contingency models. Manage. Sci. v. 42, n. 5, p. 693-716, 1996.

D'ARAUJO, R.P. Setor elétrico brasileiro: uma aventura mercantil, CONFEA/ CREA. 2009.

DA SILVA, F.L.C.; SOUZA, R.C.; CYRINO OLIVEIRA, F.L.; LOURENÇO, P.M.; FAGUNDES, W.D.C. Forecast of long-term electricity consumption of the industrial sub-sector of pulp and paper in Brazil using a bottom-up approach. Procedia Computer Science, v. 55, p. 514-522. 2015.

DEBEIR, J.C.; DELÉAGE, J.P.; HÉMERY, D. Les Servitudes de la puissance, Paris: Ed. Flammarion, 1986.

DENG, C.; LU, J.; LAM, T.L. Real-time vision-based telepresence robot hand control. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND BIOMIMETICS (ROBIO 2014), Bali, 2014, Proceedings... Bali, 2014, p. 463-468.

DUTRA, J.; GONÇALVES, E.; SANCHES, A. Valoração do custo de escassez de energia elétrica e gestão de Riscos, 2014.

EFE, M.Ö. Technopolises, SMEs, funding agencies and IT—roles in engineering education. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY BASED HIGHER EDUCATION AND TRAINING, 15th., ITHET, Istanbul, 2016, Proceedings... Istanbul, 2016, p. 1-4.

ELSEVIER EDUCATIONAL RESEARCH PROGRAMME. International Journal of Computers & Education. Disponível em: <<https://www.journals.elsevier.com/computers-and-education>>. Acesso em: mar. 2017.

ELSLAND, R.; WIETSCHER, M. Long-term energy demand modelling - Analyzing the impact

of myopic technological knowledge, Helmholtz Association - Alliance ENERGY-TRANS. In: CONFERENCE ON ENERGY SYSTEMS IN TRANSITION: Inter- and Transdisciplinary Contributions, Karlsruhe. 2013. Proceedings... 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço Energético nacional 2016: Ano base 2015. Rio de Janeiro, RJ: 2016, p. 292, 2016.

\_\_\_\_\_. Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/14. 2015. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>

\_\_\_\_\_. Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/15, Série Estudo da Demanda de Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2016c.

\_\_\_\_\_. Nota técnica DEA 26/14 Avaliação da eficiência energética e geração distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023). Rio de Janeiro: 2014.

\_\_\_\_\_. Plano decenal de energia 2023. Rio de Janeiro: 2014.

\_\_\_\_\_. Plano nacional de energia 2030. Rio de Janeiro: 2007.

\_\_\_\_\_. Plano decenal de expansão de energia 2024. Rio de Janeiro: 2015.

EYDELAND, A.; WOLYNIEC, K. Energy and power risk management. Wiley and Sons, 2003,

FAJRI, P.; FERDOWSI, M.; LOTFI, N.; LANDERS, R. Development of an educational small-scale hybrid electric vehicle (HEV) Setup. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, v. 8, n. 2, p. 8-21. 2016.

FLEITER, T.; FEHRENBACH, D.; WORRELL, E.; EICHHAMMER, W. Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials. Energy, v. 40, n.1, p. 84-99. 2012.

FORTUNATO, L.A.M.; ARARIPE NETO, T.A.; ALBUQUERQUE, J.C.R.; PEREIRA, M.V.F. Introdução ao planejamento da expansão e operação de sistemas de produção de energia elétrica. Niterói, RJ: Ed. EDUFF. 1990.

FOTOUHI GHAZVINI, M.A.; SOARES, J.; ABRISHAMBAF, O.; CASTRO, R.; VALE, Z. Demand response implementation in smart households. Energy and Buildings, v. 143, p. 129-148. 2017.

FRÓES LIMA, C.A.; PORTILLO NAVAS, J.R. Smart metering and systems to support a conscious use of water and electricity. Energy, v.45, n. 1, p. 528-540. 2012.



FU, C.; NGUYEN, T. Models for long-term energy forecasting. In: POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING, IEEE. 2003. Proceedings... 2003.

GAMA, J.A.P. et al. Work in progress — New education model based on competencies of higher education and iMIS with architectures. In: IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON), Abu Dhabi, 2016, Proceedings... Abu Dhabi: 2016, p. 1065-1070.

GANDELMAN, D.A. Uma Metodologia para o planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro considerando incertezas. Tese (Doutorado) - PEP/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2015.

GEORGHIOU, L. et al. (eds.). The handbook of technology foresight: concepts and practice. Paperback. London : Edward Elgar Pub., 2009.

GEORGHIOU, L.; KEENAN, M. Evaluation of national foresight activities: assessing rationale, process, and impact. Technological Forecasting and Social Change, v.73, n.7, p. 761-77, 2006.

GHODS, L.; KALANTAR, M. Different methods of long-term electric load demand forecasting: A comprehensive review. Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, v. 7, p. 249-259. 2011.

GRZYBOWSKI, M. Educational technologies in South Korea, General and Professional Education n. 1, 2013 p. 3-9 jan. 2013.

HART, O.; HOLMSTRÖM, B. The theory of contracts. Advances in Economic Theory, 1987, p. 71-156.

IEEE POWER AND ENERGY SOCIETY EDUCATION PROGRAMS - IEEE\_PES. Site. Disponível em: <<http://www.ieee-pes.org/professional-development/education>>. Acesso em: mar. 2017.

IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION - IEEE\_TE. IEEE Xplore digital library, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=13>>. Acesso em: mar. 2017.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE, Site. Disponível em: <<http://www.ieee.org>>. Acesso em: mar. 2017.

THE INSTITUTION OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY - IET, Site. Disponível em: <<http://www.theiet.org>>. Acesso em: fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - INBEP. NR-10: Trabalhador qualificado, habilitado e capacitado. Disponível em: <<http://blog.inbep.com.br/qualificacao-habilitacao-e-capacitacao-do-trabalhador-na-nr-10/>>. Acesso em: fev. 2017.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. O futuro da matriz elétrica brasileira: em busca de novos caminhos. *Energiaeambiente*, Informe técnico. n. 2, São Paulo, jul 2016.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - IEDI. O futuro em ciência, tecnologia e inovação. Carta IEDI, Ed.775, jan. 2017. Disponível em: <[http://www.iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_775.html](http://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_775.html)>. Acesso em: mar. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Site. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: jan.a mar. 2017.

\_\_\_\_\_. Vocabulário INMETRO de avaliação da conformidade. 2015. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/pai/pdf/PAI000182.pdf>>. Acesso em: jan.a mar. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC Climate change 2014 mitigation of climate change summary for policymakers and technical summary. Working group III contribution to the assessment report of the IPCC. 2015. 161 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5\\_SPM\\_TS\\_Volume.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2017.

INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION - IJEEE. Site. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/loi/ijee>>. Acesso em: mar. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. Site. Disponível em: <<https://www.iso.org/home.html>>. Acesso em: mar. 2017.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA REmap: roadmap for a renewable energy future. Abu Dhabi: 2016.

\_\_\_\_\_. REthinking energy 2017: Accelerating the global energy transformation. Abu Dhabi: 2017.

ISER-EURASIA, Special issue on past, present, and future of science, mathematics, engineering, and technology education research and practice in South Korea. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. apr. 2016.

JAKOB, M.; CATENAZZI, G.; FLEITER, T. Ex-ante estimation of the EU Ecodesign Directive's impact on the long-term electricity demand of the tertiary sector. In: *ECEEE summer study 2013*, June 3-8, Presqu'île de Giens. 2013. *Proceedings...* 2013.

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH IN HIGHER EDUCATION - JARHE. Site. Disponível em: < <http://www.emeraldgroupublishing.com/products/journals/journals.htm?id=jarhe>>. Acesso em: mar. 2017.

KAZAY, H.F. Planejamento da expansão da geração do setor elétrico brasileiro utilizando os



algoritmos genéticos. Tese (Doutorado) - PEP/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

KEENAN, M. P.; POPPER, R. Research infrastructure foresight: practical guide for integrating foresight in research infrastructures policy formulation. European Community: ForeIntegra. 2007.

KOTSAMPOPOULOS, P.; KLEFTAKIS, V.; HATZIARGYRIOU, N. Laboratory education of modern power systems using PHIL simulation. IEEE Transactions on Power Systems , v.PP, n.99, p.1.

KRISHNASWAMY, V.; STUGGINS, G. Closing the electricity supply-demand gap. World bank, 2007.

KUOSA, T. Evolution of futures studies. Futures, v. 43, p.327-336, 2011.

\_\_\_\_\_. The evolution of strategic foresight: navigating public policy making. Farnham, UK: Gower Publishing Ltd. 2012.

LAOUAFI, A.; MORDJAOUI, M.; HADDAD, S.; BOUKELIA, T.E.; GANOUCHE, A. Online electricity demand forecasting based on an effective forecast combination methodology. Electric Power Systems Research, v. 148, p. 35-47. 2017.

LA ROVERE, E.L. et al. Implicações econômicas e sociais de cenários de mitigação de gases de efeito estufa no Brasil até 2050. Projeto IES Brasil. Rio de Janeiro: COPPE. 2016.

LA ROVERE, E.L. Política ambiental e planejamento energético. PPE/COPPE/ UFRJ, 2016.

LEE, Y.K.; SUE-CHAN, C.; HUI, T.Y. Getting more than grades out of supplemental instructions: Examining the effect of coaching styles on undergraduate students' entrepreneurial intentions and creativity. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING, ASSESSMENT, AND LEARNING FOR ENGINEERING (TALE), Bangkok: 2016, Proceedings... Bangkok: 2016, p. 190-193.

LI, Y.; CAI, W. Consistency-aware zone mapping and client assignment in multi-server distributed virtual environments. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, v. 26, n. 6, p. 1570-1579, Jun. 2015.

LOBO, R. Por que é preciso mudar o ensino de Engenharia. Jornal O Estado de São Paulo, Caderno Educação, nov. 2015. Disponível em: < <http://educacao.estadao.com.br/blogs/roberto-lobo/por-que-e-preciso-mudar-o-ensino-de-engenharia/>>. Acesso em mar. 2017.

LORENZO, H.C. O setor elétrico brasileiro: passado e futuro. Revista Perspectivas, v. 25, n. 25, p.147-170, 2001-2002.

LOUREIRO, P.G.C. Custo marginal do déficit de energia elétrica: histórico, avaliação e proposta de uma nova metodologia. Dissertação (Mestrado) - PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.

LUCENA, A.F.P.; SZKLO, A.S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R.R.; BORBA, B.S.M.C.; COSTA, I.V.L.; PEREIRA JR, A.O.; CUNHA, S.H.F. The Vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. *Energy Policy*. v.37, 2009. p. 879-889.

MAÇAIRA, P.; CASTRO SOUSA, R.; CYRINO OLIVEIRA, F.L. Forecasting Brazils electricity consumption with Pegels Exponential Smoothing Techniques. *IEEE Latin America Transactions*, v. 14, n.3, p. 1252-1258. 2016.

MAÇAIRA, P.M.; SOUZA, R.C.; CYRINO OLIVEIRA, F.L. Modelling and forecasting the residential electricity consumption in Brazil with pegels exponential smoothing techniques. *Procedia Computer Science*, v. 55, p. 328-335. 2015.

MARINHO, E. et al. Modelos de maturidade de BPM mais comumente usados. In: SIMPÓSIO GESTÃO ESTRATÉGICA: Tecnologia e o Impacto nas Organizações. Ponta Grossa, 21 a 25 set. 2015. Anais... Ponta Grossa, 2015.

MARJANI, M. et al. Big IoT data analytics: architecture, opportunities, and open research challenges. *IEEE Access*, v. 5, p. 5247-5261, 2017.

MARKOPOULOS, A.P.; FRAGKOU, A.; KASIDIARIS, P.D.; DAVIM, J.P. Gamification in engineering education and professional training. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, v. 43, Is.2, p. 118-131.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M.D.; GREEN, J.R. *Microeconomic theory*. Oxford University Press, 1995.

MATOS FILHO, A.B.; BICALHO R. Uma visão sobre a formação profissional nas empresas do novo setor elétrico de energia elétrica brasileiro. (Monografia) - UFRH, 2001.

MATSUTOMO, S.; MANABE, T.; CINGOSKI, V.; NOGUCHI, S. A computer aided education system based on augmented reality by immersion to 3-D magnetic field. *IEEE Transactions on Magnetics*, v. PP, no.99, p.1.

MILES, I. The development of technology foresight: a review. *Technological Forecasting and Social Change*, v.77, n.9, p.1448 -1456, 2010.

MILGROM, P.R. Putting auction theory to work: the simultaneous ascending auction. *Journal of Political Economy*, v. 108, n. 2. 2000.

MINGHAO, A. et al. A *Big Data* analysis based new method for power grid dispatch and control training simulation. CHINA INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION





(CICED), Xi'an, 2016, Proceedings... Xi'an, 2016, p. 1-4.

MONTOYA, A.H. The future of the electric utility industry: Opportunities for power engineering education. In: IEEE POWER AND ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING - Conversion and delivery of electrical energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, 2008, Proceedings... Pittsburgh, PA: 2008, p. 1-5.

NEWBERY, D.M. Privatization, restructuring and regulation of network utilities. The Walras-Pareto Lectures, 1995, 2000, p. 466-xvi.

NG, J. et al. Smart learning for the next generation education environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ENVIRONMENTS, Shanghai, 2014, Proceedings... Shanghai, 2014. p. 333-340.

NIKOLIC, S.; LEE, M.J.W. Special session: Exploring learning opportunities in engineering education using 2D, 3D and immersive video augmented online technologies. In: IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), Eire, PA: 2016, Proceedings... Eire, PA: 2016, p. 1-2.

NORDIC POWER. Site. Disponível em: < <http://www.nasdaqomx.com/commodities/markets/power/nordic-power>>.

ODUM, E.P. Ecologia. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1988.

OLIVEIRA V.F.; ALMEIDA, N.N.; CARVALHO, D.M.; PEREIRA F.A.A. Um estudo sobre a expansão da formação em engenharia no Brasil. Revista de Ensino de Engenharia Abenge, v.32, n.3, 2013.

OLIVEIRA, A. de. Liberalização Interrompida. In: Dossiê Energia Elétrica, Revista USP, fev. 2015.

\_\_\_\_\_. Mercado elétrico: centralizar a gestão de risco? In; SALGADO, L.H.; SEROA DA MOTTA, R. Regulação e concorrência no Brasil, IPEA, 2007.

\_\_\_\_\_. Political economy of the Brazilian power industry reform. In: VICTOR, D. The Political economy of power sector reform. Cambridge University Press, 2007.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - NOS. Site. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 15 Mai. 2017.

ORITI, G.; JULIAN, A.L.; ZULAICA, D. Doubly fed induction machine drive hardware laboratory for distance learning education. IEEE Transactions on Power Electronics, v. 29, n. 1, p. 440-448, Jan. 2014.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC. Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro

Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. BUSTAMANTE, M.M.C.; ROVERE E.L.L. (eds.). COPPE. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: UFRJ, 463 p. Disponível em: <[http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1\\_completo\\_vol3.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol3.pdf)>.

PALAZO A.; BUEDKE C.; SILVA C.C. DA; TOLEDO L.; GALDINO M.A.; MASSAMBANI, O.; COSTA, R.S.; RUTHER, R.; ZILLES R. In: WORKSHOP IEE. A qualificação profissional e formação de mão de obra para atendimento a demanda de instalações de geração distribuída com sistemas fotovoltaicos. set. 2015. IEE - Instituto de Energia e Ambiente da USP. Apresentações.. São Paulo: 2015. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/?q=pt-br/evento/workshop-qualifica%C3%A7%C3%A3o-profissional-e-forma%C3%A7%C3%A3o-de-m%C3%A3o-de-obra-para-atendiAlemen-to-da-demanda-de>>. Acesso em: fev. 2017.

PEPE, G.; SATLER, M.; TRIPICCHIO, P. Autonomous exploration of indoor environments with a micro-aerial vehicle. In: WORKSHOP ON RESEARCH, EDUCATION AND DEVELOPMENT OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS (RED-UAS), Cancun, 2015, Proceedings... Cancun: 2015, p. 43-52.

PEREIRA JR, A.O.; SOARES, J.B.; OLIVEIRA, R.G.; QUEIROZ; R.P. Energy in Brazil: toward the sustainable development? Energy Policy. v. 36, 2008. p. 73-83.

PEREIRA JR, A.O.; DAVID, P.M.; SPERA, M.R. Análise das metodologias de cálculo do custo do déficit de energia elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. 13., Rio de Janeiro, 2010. Anais.. Rio de Janeiro, RJ, 2010, p. 257-265.

PEREIRA JR, A.O.; DAVID, P.M. Metodologia de cálculo do custo marginal de expansão do sistema elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. 8., Curitiba, 2012. Anais.. Curitiba, 2012.

PESSANHA, J.F.M.; LEON, N. Forecasting long-term electricity demand in the residential sector. Procedia Computer Science, v. 55, p. 529-538. 2015.

PICKLES, M. University opens without any teachers. BBC News, out. 2016. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/business-37694248>>. Acesso em: fev. 2017.

PJM. Site. Disponível em: <<http://www.pjm.com>>.

POPP, D. Induced innovation and energy prices. Am. Econ. Rev., v. 92, n. 1, p. 160-180, 2002.

POPPER, R. Foresight methodology. In: GEORGHIOU, L. et al. (eds.). The Handbook of technology foresight: concepts and practice. Paperback. London : Edward Elgar Pub., 2009.

PORTER, A.L. Technology foresight: types and methods. International Journal of Foresight and Innovation Policy, v.6, n. 1/2/3, p. 36-45, 2010.



POYRAZOGLU, G.; OH, H. The impacts of electric power market simulation on engineering education. In: IEEE/PES TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE AND EXPOSITION (T&D), Dallas, TX: 2016, Proceedings... Dallas, TX: 2016, p. 1-5.

PUPULIN, C. Setor eólico precisa de mão de obra qualificada. *Jornal da Bioenergia*. mar. 2017. Disponível em: <http://www.canalbioenergia.com.br/profissionais-capacitados-para-trabalhar-no-setor-eolico-ganham-espaco-no-mercado/>. Acesso em: mar. 2017.

ROGLINGER, M.J.; BECKER, P.J. Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal*, v.18, p. 328-346, 2012.

ROSA FERNANDES, L. da; LOBO E SILVA FILHO, R.L. Strengthening engineering education in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING (ICL), Florence: 2015, Proceedings... Florence, 2015, p. 487-494.

RUIZ ESTRADA, M.A.; YAP, S.F. The origins and evolution of policy modeling. *Journal of Policy Modeling*. v. 35, p 170-182. 2013.

SAGAR A.D.; VAN DER ZWAAN, B. Technological innovation in the energy sector: R&D, deployment, and learning-by-doing. *Energy Policy*, v. 34, n.17, p. 2601-2608, 2006.

SCAVARDA, L.C.; OLIVEIRA, V.F. de; ALMEIDA, N.N. de. Engineering education in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING (ICL), Florence: 2015, Proceedings... Florence, 2015, p. 1178-1180.

SCHMIDT, C.A.J.; LIMA, M.A.M. A demanda por energia elétrica no Brasil. *Rev. Bras. Econ.*, v. 58, n. 1, p. 68-98, 2004.

SE4All. Energy for All. Sustainable. 2017. Disponível em: <http://www.se4all.org/>. Acesso em: 01 abr. 2017.

SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI, Site. Disponível em: <http://www.sendi.org.br/>. Acesso em: mar. 2017.

SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SNPTEE, Site. Disponível em: <http://xxivsnptee.com.br>. Acesso em: mar. 2017.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE, Site. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae>. Acesso em: abr. 2017.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI; Confederação Nacional da

Indústria - CNI. Site. Disponível em: < <http://www.portaldaindustria.com.br/senai>>. Acesso em: mar. 2017.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI; Fundação das Indústrias do Estado de Santa Catarina - FIESC. Capacitação para energia renovável pede metodologias também alternativas. Disponível em: <http://sc.senai.br/senai/capacitacao-para-energia-renovavel-pede-metodologias-tambem-alternativas>>. Acesso em: mar. 2017.

SHARMA, B.; STEWARD, B.; ONG, S.K.; MIGUEZ, F.E. Evaluation of teaching approach and student learning in a multidisciplinary sustainable engineering course. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 4032-4040. 2017.

SMITH, K.A.; STREVELER, R.; GUERRA, R.C.C. Connecting and expanding the emerging engineering education research & innovation (EER&I) communities. In: IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE), El Paso, TX, 2015. Proceedings... El Paso, TX, 2015.

SOFT, S. *Power system economics*, IEEE Press, 2002.

SOUZA K.B. DE; DOMINGUES E.P. Mapeamento e Projeção da demanda por engenheiros por categoria, setor e microrregiões brasileiras. *Revista Pesquisa e Planejamento Econômico PPE, IPEA*, v. 44, n. 2, Ago. 2014. Disponível em: <<http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/view/1522/1153>>. Acesso em: mar. 2017.

STOCKRAHM, A.; KANGAS, J.; KOTIUGA, P.R. Tools for visualizing cuts in electrical engineering education. *IEEE Transactions on Magnetics*, v. 52, n. 3, p. 1-4, Mar. 2016.

STRASSER, T.; STIFTER, M.; ANDRÉN, F.; PALENSKY, P. Co-simulation training platform for *smart grids*. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 29, n. 4, p. 1989-1997, jul. 2014.

STUCHLIKOVA, L. Challenges of education in the 21st century. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING ELEARNING TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (ICETA), Vysoke Tatry: 2016, Proceedings... Vysoke Tatry: 2016, p. 335-340.

SURREY, J. *The British electricity experient*, Earthscan Macrotemática Regulação. 1996.  
TANAKA, E.H. et al. Immersive virtual training for substation electricians. *IEEE Virtual Reality (VR)*, Los Angeles, CA: 2017, p. 451-452. doi: 10.1109/VR.2017.7892374.

TAO, J.; ZHANG, S.; YUAN Y.; WEN X. Extending engineering specialty course concepts in electrical engineering education. *International Journal of Electrical Engineering Education*, v. 52, ls. 1, p. 39 - 51.

TARHAN, A.; TÜRETKEN, Business process maturity models: a systematic literature review.



Information and Software Technology, v.75, p.54- 67, 2016.

TIROLE, J. The Theory of industrial organization. p. 207, aug.1988.

TOMALSQUIM, M.T. The energy sector in Brazil: policy and perspectives. *Revistas Estudos Avançados*, São Paulo, v. 26, n.74, 2012.

TORRES, J.P.A.; MORALES, M.A.V. Remotely operated flight immersion laboratory: A low cost alternative for the aeronautical engineering undergraduate courses. In: IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON), Abu Dhabi: 2016, Proceedings... Abu Dhabi: 2016, p. 6-10.

TORRINI, F.C.; SOUZA, R.C.; CYRINO OLIVEIRA, F.L.; MOREIRA PESSANHA, J.F. Long term electricity consumption forecast in Brazil: A fuzzy logic approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 54, p. 18-27. 2016.

TROTTER, I.M.; BOLKESJØ, T.F.; FÉRES, J.G.; HOLLANDA, L. Climate change and electricity demand in Brazil: A stochastic approach. *Energy*, v. 102, p. 596-604. 2016.

TURVEY, R. Optimal pricing and investment in electricity supply. Cambridge, MA: MIT Press, 1968.

UNITED NATIONS - UN-FCCC. Adoção do acordo de Paris. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acordodeparis/>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

US Department of Energy. DoE. Technology readiness assessment guide. Washington DC: US DoE, 2011.

U.S. Energy Information Administration. Independent statistics & analysis. Disponível em: <<https://www.eia.gov>>. Acesso em: 15 Mai. 2017.

VALSAMMA, K.M. Engineering the twenty first century educational architecture. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION: INNOVATIVE PRACTICES AND FUTURE TRENDS (AICERA), Kottayam, 2012, Proceedings... Kottayam: 2012, p. 1-4.

\_\_\_\_\_. *Smart grid* as a desideratum in the energy landscape: Key aspects and challenges. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION: INNOVATIVE PRACTICES AND FUTURE TRENDS (AICERA), Kottayam, 2012, Proceedings... Kottayam, 2012, p. 1-6.

VARIAN, H.R. Microeconomic analysis. Cram101 Incorporated, 2006.

WESTIN, F.F.; LA ROVERE, E.L.; WILLS, W.; GOODWARD, J. Panorama atual da energia eólica e perspectivas para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 13., Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2010. Anais... Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2010. v.II, p. 551 - 566.

WILLIAMSON, O.E. Peak-load pricing and optimal capacity constraints under indivisibility constraints. *The American Economic Review*, v. 56, n. 4, p.810-827. 1966.

WILSON, R.B. *Nonlinear pricing*. Oxford University Press, 1993.

YADAV, A.; SUBEDI, D.; LUNDEBERG, M.A.; BUNTING, C.F. Problem-based learning: influence on students' learning in an electrical engineering course. *Journal of Engineering Education*, v. 100, n. 2, p. 253-280. 2011.

YILDIZ, B.; BILBAO, J.I.; SPROUL, A.B. A review and analysis of regression and machine learning models on commercial building electricity load forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, p. 1104-1122. 2017.

YUKSELTAN, E.; YUCEKAYA, A.; BILGE, A.H. Forecasting electricity demand for Turkey: Modeling periodic variations and demand segregation. *Applied Energy*, v. 193, p. 287-296. 2017.



## **Anexo - Planilha de indicadores**

---







## Anexo - Planilha de indicadores

---

Ver documento em formato digital disponível em <https://www.cgee.org.br/energia>.





## Lista de gráficos

---





## Lista de gráficos

---

Gráfico 1 - Evolução da maturidade tecnológica da rota modelos híbridos integrando métodos quantitativos e qualitativos e abordagens exploratórias e normativas para estudos de prospecção do sistema setorial de inovação	66
Gráfico 2 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos para Estudos Prospectivos do Sistema Setorial de Inovação	67
Gráfico 3 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Combinação de Modelos e Métodos Conhecidos de Prospecção Tecnológica	71
Gráfico 4 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos para Estudos de Prospecção Tecnológica	72
Gráfico 5 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Combinação de Modelos e Métodos Conhecidos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I/Tecnologias	76
Gráfico 6 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I/Tecnologias	77
Gráfico 7 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Métodos Híbridos de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I	81
Gráfico 8 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Modelos e Métodos de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I	82
Gráfico 9 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Comportamento	99
Gráfico 10 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Inovação/Aprendizagem Tecnológica	101
Gráfico 11 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Evolução do Sistema (incluindo recursos e sustentabilidade)	102
Gráfico 12 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Transição de Desenho do Mercado	103
Gráfico 13 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Definição de Produtos	105
Gráfico 14 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Formação de Preços e Remuneração (tarifas)	106
Gráfico 15 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Desenho de Subsídios	107

Gráfico 16 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Arquitetura	109
Gráfico 17 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Interação entre os Agentes (negócios)	110
Gráfico 18 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Interações Intersetoriais	112
Gráfico 19 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Coevolução (incluindo institucional, tecnológica, econômica, ambiental e social)	113
Gráfico 20 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Determinantes da Demanda	130
Gráfico 21 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Previsão de Demanda	134
Gráfico 22 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Técnicas de Resposta à Demanda	137
Gráfico 23 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Gerenciamento da Demanda	140
Gráfico 24 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Geração Distribuída	142
Gráfico 25 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Previsão (informações básicas para os modelos)	155
Gráfico 26 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelo de Pré-despacho Baseado na Mesma Metodologia Atual	156
Gráfico 27 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Estudos Elétricos	157
Gráfico 28 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novas Fontes de Produção de Energia	159
Gráfico 29 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelo de Pré-despacho Baseado nas Ofertas dos Agentes (oferta de preços)	160
Gráfico 30 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Melhoria da Representação das Incertezas das Afluências	162
Gráfico 31 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Evolução da Metodologia Atual na Temática Modelo de Curto Prazo (semana seguinte)	163
Gráfico 32 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Inserção da Representação de Gás Natural	164
Gráfico 33 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Consideração das Restrições de Atendimento da Carga de Ponta	166
Gráfico 34 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Melhoria na Representação das Incertezas sobre a Carga de Energia	167
Gráfico 35 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Evolução da Metodologia Atual na Temática Modelo de Planejamento de Médio Prazo (mês seguinte)	169



Gráfico 36 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Estudo de Metodologia para Representar o Sistema Hidrelétrico de Forma Individualizada	170
Gráfico 37 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Representação do Atendimento da Ponta de Carga no Modelo de Planejamento de Médio Prazo	171
Gráfico 38 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos Integrados na Temática Modelos de Curto e Médio Prazo	184
Gráfico 39 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Representação Apurada da Operação nos Modelos de Expansão na Temática Modelos de Curto e Médio Prazo	186
Gráfico 40 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimentos de Modelos de Expansão com Decisão sob Incerteza na Temática Modelos de Curto e Médio Prazo	188
Gráfico 41 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos Integrados na Temática Modelos de Longo Prazo	191
Gráfico 42 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Representação Apurada da Operação nos Modelos de Expansão na Temática Modelos de Longo Prazo	177
Gráfico 43 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimentos de Modelos de Expansão com Decisão sob Incerteza na Temática Modelos de Longo Prazo	194
Gráfico 44 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Regulador na Temática Coordenação	207
Gráfico 45 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Coordenação	208
Gráfico 46 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Operador na Temática Coordenação	209
Gráfico 47 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Concorrência	211
Gráfico 48 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Regulador na Temática Concorrência	212
Gráfico 49 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Operador na Temática Confiabilidade	214
Gráfico 50 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Confiabilidade	215
Gráfico 51 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Regulador na Temática Competitividade	217

Gráfico 52 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Planejador na Temática Competitividade	218
Gráfico 53 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Transporte e Armazenagem	229
Gráfico 54 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Transporte e Armazenagem	230
Gráfico 55 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Mercado Atacadista	232
Gráfico 56 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Mercado Atacadista	233
Gráfico 57 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Mercado Varejista	236
Gráfico 58 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Mercado Varejista	236
Gráfico 59 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação e Confiabilidade na Temática Inovação	238
Gráfico 60 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Concorrência e Competitividade na Temática Inovação	239
Gráfico 61 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias e Ferramentas Computacionais para Coleta de Dados	252
Gráfico 62 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Infraestrutura de Processamento e Comunicação	255
Gráfico 63 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Segurança e Arquitetura de Sistemas	257
Gráfico 64 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias e Padrões de Desenvolvimento e Gestão de TIC	259
Gráfico 65 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos de Avaliação	271
Gráfico 66 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Impactos da Hidroeletricidade	274
Gráfico 67 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Impactos do Uso de Petróleo, Gás e Derivados	276
Gráfico 68 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Nuclear	277
Gráfico 69 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Solar	279
Gráfico 70 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Eólica	281





Gráfico 71 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energia Biomassa	282
Gráfico 72 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Armazenamento de Energia	285
Gráfico 73 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Geração Distribuída	286
Gráfico 74 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Redes Elétricas Inteligentes ( <i>Smart grid</i> )	288
Gráfico 75 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Padrões de Consumo de Energia	290
Gráfico 76 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Cogeração de Energia	291
Gráfico 77 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I)	303
Gráfico 78 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Setor Industrial	305
Gráfico 79 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Setor de Energia	306
Gráfico 80 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Setor de Economia	307
Gráfico 81 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aspectos Ambientais	284
Gráfico 82 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aspectos Sociais	310
Gráfico 83 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Monitoramento	313
Gráfico 84 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Integração	314
Gráfico 85 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Confiabilidade Metrológica do Setor elétrico	328
Gráfico 86 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Referencial Técnico para Equipamentos, Sistemas, Processos e Serviços	330
Gráfico 87 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Conformidade dos Equipamentos, Processos e Serviços às Normas e Regulamentos Técnicos	332
Gráfico 88 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Coordenação Institucional e Apoio à Atividade Regulatória	334
Gráfico 89 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Identificação dos Requisitos e Habilidades Profissionais	349
Gráfico 90 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias de Treinamento, Ensino e Experimentação	353
Gráfico 91 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Tecnologias de Simulação, Emulação, Treinamento e Experimentação	355





## Lista de tabelas

---





## Lista de tabelas

Tabela 1 - Macrotemáticas do Grupo Assuntos Sistêmicos: Quadro Analítico	51
Tabela 2 - Macrotemáticas do Grupo Assuntos Sistêmicos: Matriz de Influências	53
Tabela 3 - Principais Condicionantes do Cenário Setorial nos Horizontes de Curto (2020), Médio (2030) e Longo prazo (2050)	58
Tabela 4 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos para Estudos Prospectivos do Sistema Setorial de Inovação da Macrotemática Planejamento de CT&I	68
Tabela 5 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos para Estudos de Prospecção Tecnológica da Macrotemática Planejamento de CT&I	73
Tabela 6 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos para Seleção e Priorização de Linhas de PD&I e Tecnologias da Macrotemática Planejamento de CT&I	78
Tabela 7 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Metodologias de Monitoramento e Avaliação de Resultados e Impactos de PD&I da Macrotemática Planejamento de CT&I	83
Tabela 8 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Planejamento de CT&I	85
Tabela 9 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Evolução da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado	104
Tabela 10 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Desenho de Mercado da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado	108
Tabela 11 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Desenho de Mercado da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado	111
Tabela 12 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Interação da Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado	114
Tabela 13 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos Econômicos e de Mercado	115
Tabela 14 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Determinantes e Previsão da Demanda por Energia Elétrica da Macrotemática Demanda por Energia Elétrica	135

Tabela 15 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Gerenciamento pelo Lado da Demanda da Macrotemática Demanda por Energia Elétrica	143
Tabela 16 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Demanda por Energia Elétrica	145
Tabela 17 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Modelo de Pré-despacho (dia seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	158
Tabela 18 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Modelo de Pré-despacho (dia seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	161
Tabela 19 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Modelo de Planejamento de Curto Prazo (semana seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	165
Tabela 20 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Modelo de Planejamento de Curto Prazo (semana seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	168
Tabela 21 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelo de Planejamento de Médio Prazo (mês seguinte) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	172
Tabela 22 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos de Planejamento da Operação	163
Tabela 23 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos de Curto e Médio Prazo (5 a 15 anos) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão	189
Tabela 24 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos de Longo Prazo (acima de 20 anos) da Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão	195
Tabela 25 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos de Planejamento da Expansão	197
Tabela 26 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Coordenação da Macrotemática Modelos Institucionais	210
Tabela 27 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Concorrência da Macrotemática Modelos Institucionais	213
Tabela 28 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Confiabilidade da Macrotemática Modelos Institucionais	216
Tabela 29 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Competitividade da Macrotemática Modelos Institucionais	219



Tabela 30 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos Institucionais	219
Tabela 31 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Transporte e Armazenagem da Macrotemática Regulação	231
Tabela 32 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Mercado Atacadista da Macrotemática Regulação	234
Tabela 33 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Mercado Varejista da Macrotemática Regulação	237
Tabela 34 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Inovação da Macrotemática Regulação	240
Tabela 35 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Regulação	240
Tabela 36 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Estruturação de Bases de Dados da Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística	253
Tabela 37 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Gestão de Bases de Dados da Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística	260
Tabela 38 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Sistemas de Informação e Estatística	261
Tabela 39 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos de Avaliação dos Impactos Econômicos, Sociais e Ambientais das Tecnologias do Setor Elétrico da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	272
Tabela 40 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Impactos das Fontes de Geração de Energia Elétrica sobre as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	278
Tabela 41 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Impactos das Fontes de Geração de Energia Elétrica sobre as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	283
Tabela 42 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas I da Temática Impactos do Uso e do Armazenamento de Energia e as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	289
Tabela 43 - Fatores Portadores de Futuro do Agrupamento de Rotas II da Temática Impactos do Uso e do Armazenamento de Energia e as Tecnologias da Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	292
Tabela 44 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Análise dos Impactos das Tecnologias	293

Tabela 45 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Públicas Voltadas para Pesquisas Tecnológicas da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	304
Tabela 46 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Públicas Voltadas para Setores da Energia, Indústria e Economia da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	308
Tabela 47 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Públicas Voltadas para Aspectos Socioambientais da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	312
Tabela 48 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Políticas Internacionais da Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	315
Tabela 49 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Modelos de Avaliação de Políticas Públicas	316
Tabela 50 - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Metrologia da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de conformidade	329
Tabela 51 - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Normalização e Regulamentação Técnica da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de conformidade	331
Tabela 52 - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Avaliação da Conformidade da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	333
Tabela 53 - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Governança e Vigilância de Mercado da Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	335
Tabela 54 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Normalização, Regulamentação e Avaliação de Conformidade	336
Tabela 55 - Fatores Portadores de Futuro da Rota I da Temática Identificação dos Requisitos e Habilidades Profissionais da Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	351
Tabela 56 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Metodologias e Tecnologias Aplicadas à Capacitação de Recursos Humanos da Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	356
Tabela 57 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Tecnologia para Capacitação de Recursos Humanos	357





## Lista de siglas e abreviaturas

---





## Lista de siglas e abreviaturas

---

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABRAGET	Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BT	Baixa Tensão
CBR	Comitê Brasileiro de Regulamentação
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CERI/FGV	Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura, da Fundação Getulio Vargas
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIGRÉ	Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
CME	Custo marginal de expansão
CMO	Custos marginais de operação
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
COP	Conferência das Partes da Convenção
CSP	<i>Concentrated Solar Power</i>
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DETRAN	Departamento de Trânsito
DOE	Departamento de Energia dos Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLD	Gerenciamento pelo lado da demanda
HEPG	<i>Harvard Electricity Policy Group</i>
IA	Inteligência artificial
IAEA	Agência Internacional de Energia Atômica
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	Agência Internacional de Energia
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIASA	Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento E Inovação
PDE	Plano Decenal de Energia
PMO	Programa Mensal de Operação
PMU	<i>Phasor measurement unit</i>
PNE	Plano Nacional de Energia
PPH	Pesquisa de Posse e Hábitos
REI	Redes Elétricas Inteligentes
SE4All	<i>Sustainable Energy for All</i>
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SSI	Sistema Setorial de Inovação
TIB	Tecnologia Industrial Básica
TIC	Tecnologias de informação e comunicação
UHE	Usina hidrelétrica
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
VaR	<i>Value at Risk</i>
WoS	<i>Web of Science</i>





Acesse [www.cgee.org.br/energia](http://www.cgee.org.br/energia)



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
*Ciência, Tecnologia e Inovação*

MINISTÉRIO DA  
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

