



Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 6-8

Evolução tecnológica
nacional no segmento
de eficiência energética

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.cgEE.org.br>.

Boa leitura!



Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro

Volume 6-8

Evolução tecnológica
nacional no segmento
de eficiência energética



Brasília – DF
2017

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

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*

Catlogação na fonte

C389p

Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: Evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. v.6.

216 p.; il, 24 cm

ISBN: 978-85-5569-137-9 (eletrônico)

1. Energia Elétrica. 2. Eficiência Energética. 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 eficiência energética. Brasília, DF: 2017. 216 p.

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato Administrativo. Ação Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica. 7.32.51/Aneel/2015.

Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro - Volume 6-8 - Evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética

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)

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 do 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

Alessandra da C. B. P. de Souza (Cepel)
Ana Cristina B. Maia (EPE)
André Braga Galvão Silveira (Ministério das Cidades)
André da Silva Sardinha (Inmetro)
André Lopes Oliveira (ProEesa/ GIZ/Mcidades)
Andre Schramm Brandão (CAGECE)
Antonio César Silveira Baptista da Silva (UFPEL)
Caio Frederico e Silva (UnB)
Carlos Alberto Rosito (ABDIB)
Carlos Alexandre Principe Pires (MME)
Carlos Aparecido Ferreira (Eletrobras)
Claudia Naves David (UnB)
Edevar Luvizotto Junior (Unicamp)
Edson José Szyszka (Cepel)
Estefânia Neiva de Mello (Eletrobras)
George Alves Soares (MME)

Gustavo Haydt (EPE)
Henrique A. C. Braga (NIMO-UFJF)
Isac Roizenblatt (ABILUX)
Jairo Coura (MCTIC)
João Miguel Dias Pimenta (UnB)
José Roberto Muratori (Aureside)
Larissa Olivier Sudbrack (Atria)
Luiz Fernando Taboada Amaral (FIEB)
Marcel da Costa Siqueira (Eletrobras)
Marcelo Dominguez de Almeida (Inmetro)
Marcus Paes Barreto (Eletrobrás)
Nathan Mendes (PUC -PR)
Oswaldo Luiz Cramer de Otero (consultor)
Oswaldo Sanchez Júnior (IPT)
Patricia Messer (EPE)
Paula Roberta de Moraes Baratella (MME)
Paulo Capella (Cepel)
Paulo Cruz (Vale)
Paulo Miotto (CNI)
Peter B. Cheung (Optimale)
Rita Cavaleiro de Ferreira (ProEesa/ GIZ/Mcidades)
Roberta Vieira Gonçalves de Souza (UFMG)
Roberto Lamberts (UFSC)
Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo (MCTIC)
Victor Gomes (SENAI)

COLABORADORES - Contribuições nos Textos

Cláudia Naves David Amorim (UnB)
Marcos Antônio de Oliveira Cruz (SENAI)
Oswaldo Sanchez Junior (IPT)
Peter B. Cheung (Optimale)
Victor Gomes (SENAI)

Sumário

Resumo executivo	13
------------------	----

Capítulo 1

Introdução

1.1. Contexto	21
1.2. O Projeto	22
1.2.1. Objetivo do projeto	23
1.2.2. Metodologia do projeto	23
1.3. Governança do projeto	24
1.4. Objetivo do Livro	25
1.5. Conceitos das macrotemáticas	26
1.6. Abordagem dos capítulos	27
1.7. Análise geral do grupo (tendências do grupo)	28

Capítulo 2

Macrotemática sistemas de iluminação eficientes

2.1. Visão de futuro	35
2.1.1. Cenário setorial	35
2.1.2. Objetivo geral	36
2.1.3. Objetivo específico	36
2.1.4. Fundamentação	38
2.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	53

2.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	57
2.3.1. Temática: Novas soluções para iluminação nos vários segmentos de aplicação	57
2.3.2. Temática: Novos sistemas de iluminação, com ênfase para luminárias e suas interfaces	63
2.3.3. Temática: Componentes para novos sistemas de iluminação	66
2.4. Priorização	72

Capítulo 3

Macrotemática edificações eficientes

3.1. Visão de futuro	81
3.1.1. Cenário setorial	81
3.1.2. Objetivo geral	82
3.1.3. Objetivo específico	82
3.1.4. Fundamentação	84
3.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	84
3.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	86
3.3.1. Temática: Arquitetura bioclimática	86
3.3.2. Temática: Projeto eficiente integrado	89
3.3.3. Temática: Integração do usuário	94
3.3.4. Temática: Tecnologias ativas	97
3.3.5. Temática: Materiais, componentes e sistemas construtivos avançados	102
3.3.6. Temática: Ambiente urbano	105
3.3.7. Temática: Caracterização e certificação de edificações eficientes	109
3.4. Priorização	115

Capítulo 4

Macrotemática indústria

4.1. Visão de futuro	122
4.1.1. Cenário setorial	122
4.1.2. Objetivo geral	123
4.1.3. Objetivo específico	124
4.1.4. Fundamentação	125
4.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	126
4.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	129
4.3.1. Temática: Uso de energia	129
4.3.2. Temática: Gestão de energia	143
4.3.3. Temática: Tecnologias de integração	149
4.4. Priorização	153

Capítulo 5

Macrotemática saneamento

5.1. Visão de futuro	159
5.1.1. Cenário setorial	159
5.1.2. Objetivo geral	160
5.1.3. Objetivo específico	161
5.1.4. Fundamentação	162
5.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro	163
5.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas	164
5.3.1. Temática: Eficiência pelo lado da demanda	164

5.4. Temática: Eficiência pelo lado da oferta	174
5.5. Temática: Regulação	178
5.6. Temática: Eficiência operacional	183
5.7. Temática: Geração de energia	186
5.8. Priorização	189
Referências bibliográficas	195
Anexo - Planilha de indicadores	206
Lista de Figuras	209
Lista de Gráficos	210
Lista de Tabelas	213
Lista de siglas e abreviaturas	215



Resumo executivo

Entende-se por eficiência energética, em termos de conservação de energia, sistema ou processo eficiente que possibilite a redução das perdas e otimize o uso da energia. A eficiência energética relaciona-se a: redução de consumo de energia, conservação do meio ambiente (redução da emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes), segurança energética (redução de dependência de importação de fontes de energia de outros países), redução de custos (tanto para o fornecedor quanto para o usuário final), expansão econômica e criação de empregos (SCHNAPP et al., 2012).

Embora se entenda que o termo “eficiência energética” abranja ações voltadas à mitigação do consumo de energia de forma geral, no contexto deste trabalho, o termo diz respeito à conservação da energia elétrica. A cogeração, portanto, é considerada, neste estudo, desde que aplicada à mitigação do consumo de eletricidade. Além dos processos de cogeração, o uso de fontes como solar fotovoltaica, biomassa, gás (natural e de síntese), hídrica e eólica de pequeno porte, por exemplo, emergem como meios colaborativos à mitigação do consumo de energia elétrica.

Considerando esses aspectos, é plausível caracterizar as possíveis temáticas em que as ações de eficiência energética fazem sentido neste estudo. São elas: indústria, saneamento, sistemas e iluminação eficiente e edificações eficientes.

No caso da indústria, por exemplo, a aplicação de fontes complementares de geração de energia elétrica e cogeração é uma realidade incipiente no Brasil. Estima-se que, até o ano de 2024, 13.445 GWh de energia elétrica sejam conservados nesse segmento. Isso representa 5,3% da energia total a ser conservada (EPE, 2016). Esse quadro poderia ser um pouco mais promissor se fossem aplicadas políticas corretas e eficazes de desenvolvimento de normas, leis, bem como da ciência, tecnologia e inovação (CT&I) e da cadeia produtiva para atenderem à demanda do setor.

Da mesma forma que na indústria, o país precisa desenvolver mecanismos de fomento eficazes para o desenvolvimento de ações de conservação da energia elétrica em todos os segmentos da economia.

Levando em conta o aporte da pesquisa e desenvolvimento (P&D), via programas como o P&D Aneel, apresenta-se, a seguir, o horizonte mais promissor para as tecnologias de conservação de energia nos segmentos industrial, de saneamento, sistemas de iluminação e edificações.

Indústria

- **Visão de futuro:** desenvolver, pesquisar e propor inovação para os setores industriais que tenham maior impacto na análise global do fluxo energético. Propor abordagem estratégica e sistematizada com métodos específicos para resolução dos problemas e aperfeiçoamento de processos focados na redução dos custos de manufatura, consequentemente, melhorando a eficiência no sistema energético do setor;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática indústria dizem respeito à otimização de processos, equipamentos, ganho com cogeração e geração de eletricidade via fontes renováveis. Nesse contexto, são consideradas tecnologias de motores eficientes, sistemas térmicos, sistemas de resfriamento e refrigeração, processos de separação química e de particulados, processos termo e eletroquímicos (acabamento superficial), sistemas de ar comprimido, reuso de resíduos industriais, sistemas de bombeamento, transporte de massa e ventilação. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias associadas à conservação da energia elétrica na indústria alcançará maturidade comercial na década de 2050. A evolução dessas tecnologias depende, principalmente, dos seguintes fatores:¹ normas e padrões avançados, desenvolvimento de novos materiais (conservação do calor, maior condutividade elétrica, leves, resistentes, dentre outras características), desenvolvimento de tecnologia de controle e operação eficientes, desenvolvimento de sistemas de integração entre tecnologias de cogeração, geração de eletricidade e equipamentos consumidores, novos métodos e tecnologias de mapeamento de oportunidade das ações de eficiência energética, novos modelos de gerenciamento industrial e fomento ao desenvolvimento de motores elétricos, sistemas térmicos e máquinas de fluxo mais eficientes;
- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por essa macrotemática, os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) devem priorizar, em curto e médio prazo, desenvolvimento de técnicas ou métodos de *benchmark*, normas, padrões e regulamentos, otimização de máquinas de fluxo, métodos de avaliação de resultados de programa de eficiência energética na indústria e desenvolvimento de sistemas de supervisão e controle de energia.

1 Fatores portadores de futuro.



Saneamento

- **Visão de futuro:** o foco principal dos investimentos em PD&I está pautado nos serviços de água e esgoto, dado que é um mercado maduro com alto impacto na matriz energética nacional e passível de conflitos no uso da água para geração de energia elétrica;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática saneamento dizem respeito ao desenvolvimento ou aprimoramento de tecnologias voltadas ao reuso dos efluentes industriais e domiciliar, aproveitamento de águas pluviais, desenvolvimento de normas e padrões de saneamento, metrologia avançada, tecnologias de tratamento e bombeamento de água e esgoto e tecnologias e métodos de operação e manutenção (O&M) e monitoramento. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias associadas a essa macrotemática alcançará maturidade comercial nas décadas de 2040 e 2050. A evolução dessas tecnologias depende, principalmente, dos seguintes fatores: estudos avançados sobre padrões e formulação de normas e leis, desenvolvimento de turbomáquinas mais eficientes e de motores elétricos de menor consumo elétrico e elevada confiabilidade, sistemas avançados de filtragem disponíveis, estudos avançados no contexto da disciplina química, sistemas de O&M e monitoramento avançados e comerciais, métodos de operação definidos e fomento contínuo ao aprimoramento de leis e tecnologias voltados à macrotemática;
- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por essa fonte, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, o desenvolvimento de modelos econômico-financeiros para eficiência energética, otimização de sistemas de água e esgoto, metodologias para projetos eficientes e algoritmos inteligentes pelo lado da demanda e pelo lado da oferta.

Sistemas de iluminação eficientes

- **Visão de futuro:** os investimentos em PD&I devem viabilizar a introdução de novas tecnologias para produtos e componentes e estimular novas concepções de projetos que atenderiam o setor de serviços, permitindo a superação de *gaps* tecnológicos e de conhecimento e promovendo a sua sinergia com os avanços tecnológicos de outras áreas;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas da macrotemática sistemas de iluminação eficientes dizem respeito a novas soluções para iluminação (arquitetura e tecnologias de iluminação), estudos sobre aspectos comportamentais, novas tecnologias de iluminação (lâmpadas, luminárias etc.), novos padrões para tecnologias OLED e desenvolvimento de materiais, componentes e dispositivos para serviços ancilares (complementam os serviços principais). Nesse contexto, a maior parte das tecnologias associadas à macrotemática alcançará maturidade comercial nas décadas de 2040 e 2050. A evolução dessas tecnologias depende, principalmente, dos seguintes fatores: desenvolvimento de novos padrões e normas de iluminação, novos materiais, CT&I e cadeia produtiva estruturados e novos métodos ou tecnologias de diagnóstico;
- **Rotas priorizadas:** para atender a demanda futura por essa fonte, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, desenvolvimento de modelos analíticos próprios e de tecnologias para agregar valor local (cadeia produtiva), identificação e aproveitamento de padrões internacionais, atualização de sistemas para tecnologia a LED.



Edificações eficientes

- **Visão de futuro:** o foco principal dos investimentos de PD&I está em otimizar a eficiência energética das edificações, objetivando torná-las sustentáveis energeticamente, mantendo condições adequadas de conforto ambiental, principalmente por meio de estratégias passivas, estratégias ativas eficientes e integração de ambas, além da produção de energia *in loco* a fim de suprir as próprias necessidades e eventualmente do entorno, reduzindo, assim, a demanda global. Portanto, o objetivo é produzir conhecimento inovador sobre estratégias passivas mais adequadas ao clima brasileiro, ferramentas para projeto integrado, desenvolver estratégias ativas mais eficientes, materiais, componentes e sistemas avançados, sistema de etiquetagem e, por fim, protótipos de edifícios de balanço energético nulo ou positivo (ZEB) que integram todas as estratégias mencionadas;
- **Evolução da maturidade tecnológica:** as pesquisas que subsidiam a caracterização da evolução tecnológica das rotas dessa macrotemática dizem respeito a: arquitetura bioclimática e tecnologias envolvidas (sistemas de condicionamento de ar, iluminação), projeto eficiente integrado (aborda aspectos de arquitetura e engenharias integradas no edifício eficiente), integração do usuário ao meio (abordar o usuário na edificação como balizador das condições internas de qualidade e conforto ambiental, além de agente no funcionamento do edifício, influenciando, portanto, o consumo energético), certificações, além de materiais, componentes e sistemas construtivos avançados. Nesse contexto, a maior parte das tecnologias associadas à macrotemática alcançará maturidade comercial nas décadas de 2040 e 2050. A evolução dessas tecnologias depende, principalmente, dos seguintes fatores: normas e leis avançadas ao contexto, novos materiais, tecnologias de condicionamento de ambientes e de iluminação eficientes e eficazes, sistema de O&M e monitoramento de parâmetros de conforto e de sistemas de segurança e transporte eficientes e novos desenhos de prédios que privilegiem a eficiência energética;
- **Rotas prioritizadas:** para atender a demanda futura por essa fonte, os investimentos em PD&I devem priorizar, em curto e médio prazo, metodologia para otimização de bases de dados, caracterização de materiais, qualidade ambiental, conforto térmico e luminoso, sistemas de certificação e operação, manutenção, automação e controles.



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 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. Com base neles, analisa-se a necessidade de investimento na infraestrutura do setor. No entanto, 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 com a intenção de 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 os vários realizados sobre temas específicos encomendados ao CGEE pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI) ao longo dos últimos anos. Todavia não há um processo definido e nem um estudo amplo setorial que identifiquem oportunidades e, desta forma, selecionem em qual área se deve aprofundar.

O planejamento da CT&I vem se tornando uma preocupação cada vez maior entre os agentes. Um levantamento anterior do CGEE (2015) mostra que as empresas do setor também reconhecem a importância dos estudos de prospecção focados na priorização de temáticas voltadas para a melhoria da eficácia do Programa de P&D regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (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%² para 2050. Isso impõe o desafio para o PD&I do setor que deverá estimular avanços e inovações, mas também grandes oportunidades de novos 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), preocupa-se em definir uma estratégia para o programa, visando gerar resultados mais eficientes. Para auxiliá-los com este objetivo, a própria equipe idealizou o projeto *Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica*.

Neste 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 do setor. Objetiva ainda identificar quais são as possíveis ações de CT&I necessárias para otimizar os recursos do Programa de P&D regulado pela Aneel no fomento ao desenvolvimento dessas temáticas.

A proposta foi apresentada às empresas do setor elétrico, que possuem recursos para aplicar no programa P&D regulado pela ANEEL, para que fossem identificados os possíveis interessados em financiar o projeto. Iniciou-se, então, um processo de articulação entre a CGEE, a Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica (Apine), que liderou o processo junto às empresas, e as empresas interessadas para desenhar a proposta final e o contrato de serviço. O resultado foi o estabelecimento de um contrato de 11 empresas³ do setor com as executoras, a Apine e o CGEE. A primeira ficou responsável pela interação das partes e a segunda, pela 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 não somente subsidiarão a definição de temas estratégicos e projetos prioritários para a Aneel, como também auxiliarão o MCTI e o Ministério

2 Ano base: 2015.

3 AES; Baesa; Cemig GT; Cesp; Copel DIS; Copel GeT; CPFL Piratininga; CPFL Sul Paulista; Enercan; e Light.



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 Projeto⁴ 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.

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 elétrica⁵. 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 temáticos⁶: 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*.

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

5 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.

6 A proposta inicial descrita no contrato 001/2014 foi alterada e retificado 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.

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.

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 empresas⁷: Formado por representantes das empresas parceiras que financiam o projeto, tem o objetivo de acompanhar tecnicamente e comandar a parte de gestão do projeto;

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



- b) Comitê estratégico⁸: 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 consultivo⁹: 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 04 macrotemáticas pertencentes ao grupo temático Eficiência Energética 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
- 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.

8 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).

9 Formado por representantes de três instituições de pesquisa de diferentes regiões.

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 Eficiência Energética contempla linhas de pesquisa com foco no aumento da eficiência energética por meio do aprimoramento de processos já existentes e com desenvolvimento de novas tecnologias, objetivando melhor performance pelo lado do consumo. São abordadas tecnologias que buscam a melhoria de desempenho e integração das formas de consumo de energia elétrica no contexto de edificações, sistemas de iluminação, saneamento e indústria.

As macrotemáticas relativas ao Grupo Eficiência Energética são conceituadas a seguir.

1.5.1. Sistemas de iluminação eficientes

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética no setor de iluminação. São apresentados os seguintes pontos prioritários para P&D: tecnologias de iluminação semicondutora, fabricação de semicondutores, sensores e integração de sistemas inteligentes, sistemas de controle, gestão e monitoramento para iluminação.

1.5.2. Edificações eficientes

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética de edificações. São apresentados os seguintes pontos prioritários para P&D: arquitetura bioclimática, projetos eficientes integrados, integração do usuário, tecnologias ativas, ambiente urbano, caracterização, certificação de edificações eficientes, materiais, componentes e sistemas construtivos avançados.

1.5.3. Indústria

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética no setor da indústria. As tecnologias concentram-se nos meios e dispositivos de integração de sistemas consumidores de energia e de sistemas promotores de eficiência energética. Também são considerados os sistemas



de operação e manutenção, além de dispositivos como motores, caldeiras, sistemas de recuperação de calor, dentre outros, que se destacam como pontos de P&D.

1.5.4. Saneamento

A macrotemática diz respeito às possibilidades de PD&I aplicadas à eficiência energética no saneamento. São apresentados os seguintes pontos prioritários para P&D: eficiência pelo lado da demanda, tecnologias para geração de energia elétrica, otimização de sistemas de água e de esgoto e aproveitamento de águas pluviais.

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 na seção 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,¹⁰ associados aos seus fatores portadores de futuro.¹¹ 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 (tendências do grupo)

As ações de eficiência energética têm papel fundamental em uma sociedade. Evidências mostram que a eficiência energética influencia vários setores da economia, sociedade e meio ambiente de forma substancial, indo muito além do simples foco na redução na demanda de energia elétrica.

Na economia, as ações de eficiência energética permitem agregar valores à produção industrial (por meio do uso dos recursos financeiros evitados em melhorias nos processos de manufatura), mitigar os custos com operação e manutenção (O&M) na geração de energia elétrica, incentivar as cadeias de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) e produtiva no desenvolvimento de novas tecnologias e métodos para as ações de eficiência energética, fomentar a produção de recursos humanos especializados, além de evitar a emissão de carbono.

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

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



Os setores com maior necessidade das ações de eficiência energética dizem respeito ao industrial e de saneamento, pelo montante de energia demandada e principalmente pelas possibilidades de se realizarem ações de eficiência. Além desses setores, estima-se que os gastos de energia elétrica devem ser mitigados a partir de projetos civis dedicados à economia de energia e por meio de sistemas de iluminação mais eficientes.

No contexto industrial, as ações de eficiência energética tem assumido papel fundamental à sobrevivência do empreendimento dos países mais competitivos, dada a abertura do mercado mundial. Esse fato contribui para que países como EUA e Alemanha assumissem o posto de desenvolvedores e produtores mundiais. As ações de eficiência energética na indústria migraram da simples substituição de equipamentos obsoletos à melhor configuração de processos na manufatura, por exemplo. Atualmente, o setor industrial tem investido no desenvolvimento de soluções computacionais com foco no gerenciamento de processos (produção, saneamento, cogeração e geração de energia elétrica), no desenvolvimento e otimização de sistemas de integração entre equipamentos (conexões e atuadores), além do uso de motores e sistemas termodinâmicos mais eficientes. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos materiais, como ligas metálicas de elevada resistência à fadiga térmica e mecânica têm permitido o uso de caldeiras e motores de combustão interna de elevada performance na indústria, tanto para os processos de manufatura quanto para a produção de energia elétrica. Os processos de cogeração e trigeração também emergem como importantes questões às ações de eficiência energética. A melhor forma de aproveitamento do calor de rejeito tem sido foco de vários estudos. A possibilidade da geração de potência de eixo e frio tem possibilitado agregar valor à produção, conforme mencionado. Além dessas questões, as tecnologias de saneamento têm evoluído com foco não só em economizar energia elétrica, como, também, em realizar o uso mais adequada da água de processos e dos efluentes. A P&D está em busca de soluções para o reuso da água e para a recuperação da água presente nos efluentes de forma economicamente viável. O uso do gás natural e de insumos como a biomassa têm elevado o leque de opções das ações de eficiência energética. A P&D busca permitir o uso de recursos energéticos locais para a geração de energia elétrica, de forma sustentável. Sob esses aspectos, o uso de fontes energéticas como a solar fotovoltaica e heliotérmica e energia eólica também apresentam alternativas na promoção da eficiência energética.

Países como Alemanha, Inglaterra, Japão e Coreia do Sul possuem sistemas de saneamento em 100% das regiões de suas cidades principais. Tal qual na indústria, as ações de eficiência no setor de saneamento tem focado no uso eficiente da água e no tratamento dos efluentes. Nesse contexto, são desenvolvidos motores elétricos de elevada eficiência, sistema de bombeamento eficiente (novos rotores de bomba para fluidos não newtonianos), sistemas avançados de controle e monitoramento de ativos, além de sistemas tecnológicos de O&M. A tendência no uso de sistemas de geração de energia elétrica via fontes renováveis ainda é uma questão incipiente, porém, apresentam-se como

tecnologias possíveis ao em sistemas de saneamento. Em boa parte das estações de tratamento de efluentes, o uso do gás metano para a produção de calor e energia elétrica é uma tendência. A aplicação do gás produzido nesse ambiente é viável como fonte alternativa de energia e exige uma configuração simples de sistemas de geração, fato que proporciona o uso economicamente viável desse recurso. O uso de sistemas de armazenamento de energia promoveria maior despachabilidade da eletricidade gerada, porém ainda há de se avaliar a sua aplicação.

O consumo de energia elétrica para iluminação artificial no mundo tem sido alvo de medidas de eficiência. As ações basicamente focaram no desenvolvimento de novos sistemas de iluminação com tecnologias que promovem uma integração com o usuário. Além do uso dessas tecnologias, a aplicação de sistemas de monitoramento e controle de iluminação tem proporcionado elevada economia de energia elétrica.

O desenvolvimento de edificações com o conceito de sustentabilidade é comum na maioria dos países. O uso de novos desenhos aliado à aplicação de materiais tecnológicos tem demonstrado eficácia nos novos projetos. A arquitetura das edificações possui papel fundamental na promoção do conforto ambiental dos ocupantes e da saúde dessas pessoas. As novas e futuras construções apresentarão soluções adequadas para mitigar o uso de iluminação artificial e reduzirão os gastos com demais serviços, como o de condicionamento de ar e de tratamento de efluentes. No que diz respeito à manutenção da temperatura e umidade ambiente, estão sendo desenvolvidos novos materiais com a capacidade de manutenção das propriedades psicrométricas por mais tempo, além de elementos dos sistemas de condicionamento de ar com maior eficiência (compressores, trocadores de calor, tubulações, umidificadores e filtros). Para o controle dos serviços do empreendimento, a P&D tem atuado em sistemas de controle e monitoramento e em sistemas de O&M mais eficientes. A energia elétrica e calor serão produzidos, em boa parte, no próprio empreendimento por meio, principalmente, dos sistemas de geração fotovoltaico e heliotérmico. O uso de células solares moldáveis às superfícies dos edifícios já é uma realidade, porém, essa tecnologia ainda precisa ser aperfeiçoada para garantir a sua sustentabilidade econômica. Também há interesse da P&D nos processos de coleta e geração de energia e captura e armazenamento de água. A expectativa por edificações com estrutura de cidades é uma realidade. Nesse contexto, não só as questões energéticas como, também, a questão produção de alimentos é pensada (hortas aéreas ou suspensas). Outro importante item diz respeito às questões construtivas dos empreendimentos. O uso de materiais reciclados é uma tendência e o desenvolvimento de novas ligas metálicas e compostos agregados ao concreto estão sendo desenvolvidos para permitirem a construção de edificações cujo compromisso entre segurança, tamanho e custos seja cada vez mais apreciável.



A eficiência dos processos e máquinas é limitada. As ações de eficiência energética podem atuar para mitigar os gastos energéticos de um mesmo serviço, contudo, não são capazes de eliminar o consumo energético. Nesse aspecto, embora a tecnologia exerça fundamental papel na promoção da eficiência energética, o comportamento do usuário é o item principal para o sucesso dessas ações de eficiência e a conscientização passa a ser a tecnologia promotora e promissora para a conservação da energia no mundo.



Capítulo 2



Capítulo 2

Macrotemática sistemas de iluminação eficientes

O foco dessa etapa recai sobre a visão de futuro presente nas políticas públicas e nos diagnósticos de desafios tecnológicos a serem enfrentados para a área de iluminação. Estabeleceu-se uma proposta de temas prioritários para a realidade brasileira, com sua respectiva justificativa, para melhor elucidação da macrotemática envolvida.

2.1. Visão de futuro

2.1.1. Cenário setorial

Os serviços de iluminação são parte dos setores macroeconômicos considerados nos estudos da Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia (EPE/MME) que constituem o Plano Nacional de Energia 2050 (EPE, 2016). O uso final de energia elétrica para serviços de iluminação está presente nos setores industrial, comercial, residencial e público, correspondendo atualmente ao consumo estimado de 118 TWh anuais, ou aproximadamente 20% da energia gerada. Considerando um crescimento moderado do PIB nacional até 2050, puxado principalmente pelo setor de serviços, e crescimento da população (pelo menos até a década de 2040), prevê-se aumento da capacidade instalada de até 480 GW em todos os setores e o correspondente consumo para os serviços de iluminação.

Em face da necessidade e dos compromissos assumidos pelos governos, a racionalização do uso de energia elétrica nesse setor (serviços de iluminação), além de mitigar a necessidade de oferta futura de energia elétrica, poderá oferecer parte das soluções para os compromissos de diminuição de emissões de gases de efeito estufa (GEE) (vide COP 21).

Pelo lado da cadeia produtiva nacional que atua no setor, há um cenário que aponta para a existência de cerca de 625 indústrias que empregam em torno de 10.226 funcionários, com faturamento anual de cerca de R\$ 4,15 bilhões (ABILUX, 2015). Estima-se que, em 2014, o mercado demandou a fabricação de 120 M de unidades de luminárias, 85 M de lâmpadas halógenas, 150 M de lâmpadas incandescentes, 250 M de lâmpadas fluorescentes compactas, 100 M de lâmpadas tubulares, 11 M de lâmpadas VS e VM e 25 M de lâmpadas a LED (~US\$ 70 M FOB) (ABILUX, 2015). Esse setor deve ser amplamente dinamizado.

2.1.2. Objetivo geral

Considerando o cenário setorial, os investimentos em PD&I devem viabilizar a introdução de novas tecnologias para produtos e componentes e estimular novas concepções de projetos que atenderiam o setor de serviços, permitindo a superação de *gaps* tecnológicos e de conhecimento e promovendo a sua sinergia com os avanços tecnológicos de outras áreas. A promoção de novas abordagens, que assumem o usuário do serviço como foco principal, resultarão em melhor aproveitamento do potencial do setor para economizar energia, reduzir custos de projeto, produção, instalação, uso, manutenção e desmobilização de sistemas de iluminação e mitigar impactos ambientais associados a estas fases de seu ciclo de vida.

O objetivo geral do trabalho é propor linhas de investimento em PD&I que, em sua ação coordenada e complementar, levarão à economia estimada de pelo menos 50% do consumo de energia em iluminação em todos os nichos, até o ano de 2050, considerando os níveis atuais de demanda para os usos finais vigentes.

2.1.3. Objetivo específico

Curto prazo (2017-2020):

- Critérios de projeto que envolvam promoção à saúde, produtividade, satisfação e bem-estar do usuário com acuidade (não somente eficiência energética, nível de iluminação, uniformidade etc.);
- Efeitos de sistemas de iluminação com semicondutores na qualidade de energia e desempenho de sistemas e redes;
- Modelos preditivos para identificar necessidades dinâmicas em função da insolação local (horário, estações etc.) e ritmo circadiano de usuários;



- Conceitos de intercambialidade prevendo versatilidade, adaptabilidade, interoperabilidade e configuração de sistemas de iluminação para diferentes ambientes e aplicações.

Médio prazo (2020-2030):

- Padronização de metodologia para comando, controle e troca de dados entre sistemas de iluminação e fornecedor de energia (protocolos de comunicação e controle);
- Desenvolvimento de padrões (*software* e *hardware*) para constituição de plataforma única compartilhada com outros serviços públicos (cidades inteligentes e Internet das Coisas - IoT);
- Padronização de requisitos e métodos de avaliação para iluminação mesópica;
- Interface de comunicação com celulares, *tablets* e outras utilidades para controle, avaliação e medição da iluminação ambiente (incluindo iluminação natural);
- Parâmetros de controle para sensoriamento virtual (taxa de ocupação, tráfego, fatores associados ao comportamento do usuário, mudança de contextos etc.);
- Modelos de avaliação e emissão de *report* sobre ecoeficiência (desempenho econômico e ambiental) de diferentes soluções para sistemas de iluminação, com foco na qualidade do serviço ao usuário;
- Bases de dados e modelos de avaliação do custo do ciclo de vida e avaliação de impactos ambientais de sistemas de iluminação (convencionais e inovadores);
- Interfaces avançadas para interação com usuários (modelos, protocolos, sensores e controladores), incluindo reconhecimento e análise do comportamento de usuários e identificação de falhas de operação;
- Sensores e técnicas para medição e diagnóstico da demanda (usuário), comparação com a iluminação ambiente e integração com controles (incluindo para uso em iluminação pública).

Longo prazo (2030-2050):

- *Softwares* mais intuitivos, baratos, de fácil utilização, com incorporação de novas tecnologias, para modelamento de sistemas de iluminação e visualização de diferentes soluções;
- Critérios e normas para avaliação de controladores avançados de sistemas de iluminação para facilitar e estimular especificação, venda, compra, instalação, programação, comissionamento e operação (autocomissionamento, avaliação da usabilidade, medição de desempenho, nível de integração a controles e interoperabilidade);

- Novos critérios de avaliação de instalações de iluminação externa baseados em níveis de otimização da percepção de segurança e proteção aos usuários, incluindo avaliação da aceitação de níveis padronizados para iluminação de ambientes não ocupados;
- Identificação de oportunidades para atuação em inovações para fabricação de LED (*quantum dots, laser* para iluminação, fósforos, materiais para substratos etc.).

2.1.4. Fundamentação

Neste item, são apresentadas as razões que tornaram o setor de iluminação importante para a estrutura da economia brasileira e as justificativas que levaram à sua escolha como objeto deste trabalho.

Dada a provável expansão da demanda devido ao crescimento considerado do PIB de 2,5% ao ano, estima-se que essa meta poderá ajudar a reduzir a demanda de energia elétrica em 10% até 2030, conforme compromisso assumido pelo comitê estratégico do projeto, composto pela governança do setor: Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Câmara de Comercialização da Energia Elétrica (CCEE) e Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

A formação do setor elétrico teve início na segunda metade do século XIX, quando o uso da eletricidade para fins de iluminação pública, iluminação residencial e transporte coletivo tornou-se tão popular que causou impacto econômico sem precedentes (RUTTER; KEIRSTEAD, 2012). Atualmente, os recursos e serviços de iluminação são responsáveis pelo consumo médio de cerca de 20% de toda a energia elétrica gerada, transmitida e distribuída, padrão mundial para praticamente todas as matrizes energéticas elétricas (EPE, 2008). Trata-se de um uso final presente em todos os segmentos da sociedade brasileira (indústria, comércio, residências e gestão pública) e constitui uma cadeia produtiva com um parque industrial nacional de luminárias composto por 625 unidades fabris distribuídas em 21 estados, empregando 10.226 trabalhadores e gerando massa salarial anual de R\$ 249,1 milhões, segundo dados de 2015 da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego (ABILUX, 2017). Estima-se um faturamento que chegou a R\$ 4 bilhões em 2012 (ABILUX, 2013).

Apesar de a cadeia produtiva de iluminação constituir um setor dinâmico (lança mais de 1.500 produtos e componentes por ano), enfrenta problemas como produção informal e importação ilegal de produtos e componentes. Além disso, a indústria de iluminação como um todo tem dificuldades para competir com a China e os EUA no mercado nacional e exportar para



mercados em fase de formação, principalmente África e América Latina (ABILUX, 2005; GLOBAL COMPASS, 2011).

Um grupo de empresas, associadas da Associação Brasileira da Indústria da Iluminação (Abilux), constituiu, em 2012, um projeto (Projeto Expo-lux) visando fixar presença nesses últimos mercados para divulgar a marca Brasil ou o *design* brasileiro. O projeto é apoiado pela Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil). Esse esforço tem gerado respostas promissoras e tem se tornado modelo para os demais fabricantes (GLOBAL COMPASS, 2011). Um dos motores do setor é a substituição tecnológica que busca a eficiência energética.

Eficientização como estratégia em iluminação

Segundo Goldemberg (2000), a maioria dos equipamentos e processos utilizados até o final dos anos 2000 nos setores de transporte, industrial e residencial foi desenvolvida numa época de energia abundante e barata e quando as preocupações ambientais ou não existiam ou eram pouco compreendidas. Tais são os motivos pelos quais se verificam tantas oportunidades ainda hoje para melhorias na economia de energia para aumentar a competitividade das empresas, ou para reduzir custos ou melhorar a oferta futura de energia, ou para melhorar a imagem das empresas perante a sociedade.

Nos países em desenvolvimento, a indústria foi estabelecida tardiamente: nas antigas colônias, a maior parte dos produtos industrializados era importada da Europa ou dos EUA, com exceção de alguns bens produzidos localmente, sobretudo por métodos artesanais. Ao longo dos anos, à medida que os mercados locais cresciam, máquinas ou fábricas inteiras foram transferidas para os países em desenvolvimento e serviram como base para o desenvolvimento local. Geralmente, o equipamento era usado ou obsoleto, mas servia à finalidade de produzir bens de consumo, mesmo que estes não atendessem a novos requisitos de qualidade. Na maioria dos casos, o equipamento era ineficiente e apenas recentemente as melhorias feitas nos países industrializados começaram a chegar aos países em desenvolvimento.

A integração de muitos deles na economia internacional e o aumento no comércio e nas exportações estão levando a uma modernização do desenvolvimento industrial de muitos desses países, com consequente aumento da demanda por energia elétrica (GRÜBLER, 2004).

Medidas como incentivo ao uso de equipamentos eficientes, melhoria em processos produtivos e adoção de hábitos que provocam menor uso da energia receberam o nome de medidas de eficiência energética - MEE. A diversidade das medidas disponíveis e a análise correta das oportunidades de

implementação ensejaram o surgimento, a partir do início da década de 1980, de uma indústria chamada indústria de ESCO (empresas de serviços energéticos ou *energy service companies*). O serviço típico de uma ESCO se dá por meio de um contrato de performance, em que cabe a ela análise, sugestão e implementação de uma MEE, remunerada pela economia proporcionada.

Apesar dos grandes benefícios que uma MEE pode trazer a seu usuário e à sociedade como um todo, muitas barreiras impedem sua disseminação: dificuldade para financiamento, percepção dos riscos envolvidos, falta de informação, conscientização, treinamento, conhecimento das regras de um contrato de performance, acesso a tecnologias e equipamentos de uso eficiente da energia, altos custos de transação, falta de confiança no resultado das medidas etc. Essas barreiras demandam políticas adequadas para serem quebradas, incluindo desenvolvimento e fortalecimento de agentes promotores como as ESCO.

Uma visão geral dos usos finais de energia elétrica no Brasil e sua evolução pode ser obtida pela análise da Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo por Classe - Brasil em GWh

	2008	2009	2010	2011	2012	▲ % (2012/11)	Part. % (2012)
Brasil	388.472	384.306	415.683	433.034	448.117	3,5	100,0
Residencial	94.746	100.776	107.215	111.971	117.646	5,1	26,3
Industrial	175.834	161.799	179.478	183.576	183.475	-0,1	40,9
Comercial	61.813	65.255	69.170	73.482	79.238	7,8	17,7
Rural	17.941	17.304	18.906	21.027	22.952	9,2	5,1
Poder Público	11.585	12.176	12.817	13.222	14.077	6,5	3,1
Iluminação pública	11.429	11.782	12.051	12.478	12.916	3,5	2,9
Serviço Público	12.853	12.898	13.589	13.983	14.525	3,9	3,2
Próprio	2.270	2.319	2.456	3.295	3.288	-0,2	0,7

Fonte: EPE, 2013a

Pela Tabela 1, iluminação pública é um setor consumidor bem configurado. Segundo um estudo da Confederação Nacional das Indústrias (CNI) de 2010, numa abordagem estritamente econômica, deve-se dar-lhe importância, pois, no planejamento energético nacional, o setor representa uma parcela de aproximadamente 2,9% do consumo da matriz elétrica nacional ou 4,5% da demanda (EPE, 2013a).



Por outro lado, pela Tabela 2, observa-se que o uso final de iluminação tem custo de eficientização significativo (R\$ 89,00 por MWh), apesar de não ser um dos maiores consumidores da matriz, isso sem considerar as novas tecnologias que estão chegando ao mercado e que podem ser até três vezes mais caras (caso de vapor de sódio x LED).

Tabela 2 - Custo da Energia Conservada por Uso Final

Ação e Uso Final	CEC (R\$/MWh)
Cogeração/Recuperação de calor	113
Ar comprimido	108
Inversor	96
Fornos/Caldeiras/Estufas	95
Iluminação	89
Correção de Fator de Potência	72
Motor	63
Refrigeração Frigorífica	53
Bombas	47
Gerenciamento/Automação	39

Fonte: CNI, 2010

Para subsidiar o planejamento de vários segmentos da sociedade na busca da eficientização energética, o Ministério de Minas e Energia publica regularmente o Balanço Energético Nacional (BEN) e o Balanço de Energia Útil (BEU), este último um modelo que permite processar as informações setoriais do BEN para obter estimativas da energia final destinada a diferentes usos finais (força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação, eletroquímica e outros usos) e, com base nos rendimentos do primeiro processo de transformação energética, estimar a energia útil.

A energia útil é apurada considerando os sete diferentes usos finais, 18 diferentes formas de energia final e 16 setores de atividades contemplados no BEN. Em particular, considerando-se o consumo por tipo de uso final, a iluminação artificial foi responsável por 16,6% do consumo final de energia elétrica no Brasil em 2005 (último dado disponível), conforme mostra a Tabela 1, que combina dados do relatório do BEN (EPE, 2005) com dados do BEU (MME, 2005).

A tabela 3 apresenta uma estimativa dos potenciais para eficiência nos vários segmentos de uso final.

Tabela 3 - Consumo Final de Energia Elétrica para Iluminação por Setor

Setores	En. total	Destinação	En. Final	Coef. EE	Coef. Ref.	En. Útil	Potencial
	GWh/a	[1]	GWh/a	[1]	[1]	GWh/a	GWh/a
Setor Energético	12.818,0	0,068	871,6	0,245	0,290	213,5	135,3
Setor Residencial	78.577,0	0,240	18.858,5	0,090	0,172	1.697,3	8.990,7
Setor Comercial	50.082,0	0,418	20.949,8	0,240	0,280	5.028,0	2.992,8
Setor Público	30.092,0	0,497	14.961,7	0,250	0,300	3.740,4	2.493,6
Setor Agropecuário	14.895,0	0,037	551,1	0,090	0,172	49,6	262,7
Setor de Transportes	1.039,0	0,000	0,0	-	-	0,0	0,0
Setor Industrial	172.061,0	0,021	3.594,4	0,243	0,286	873,6	540,6
Total	359.564,0	0,166	59.787,2	0,194	0,261	11.602,4	15.415,7

Fonte: EPE, a partir de dados do BEN 2005 (EPE, 2005) e BEU 2005 (MME, 2005)

OBS 1: Para comparar, utilizam-se as seguintes definições:

- En. total: consumo anual em eletricidade para todas as destinações;
- Destinação: parcela da energia total consumida no uso final em análise (iluminação), ou razão entre energia final e energia total;
- En. final: energia total consumida no uso final, inclusive perdas;
- Coef. EE: rendimento médio apurado para o uso final, ou razão entre energia útil e energia final;
- Coef. Ref.: indica máxima eficiência alcançável pelo uso final em análise e serve para indicar potencial de economia estimado para o uso final;
- En. útil: energia de que dispõe o consumidor depois da última conversão feita nos seus próprios equipamentos. Trata-se da energia final (a energia fornecida aos equipamentos) diminuída das perdas na conversão;
- Potencial: potencial de economia de energia calculado pelo modelo BEU em que se soma a contribuição de cada fonte energética por setor, ponderando-se com o rendimento da conversão da energia útil em energia final e com o rendimento de referência para cada fonte considerada.



Como se vê pela Tabela 3, o potencial técnico de conservação é grande.

No entanto, esses dados demandam constante atualização, uma vez que há outros fenômenos, como processo de urbanização, mudança de hábitos de consumo, alterações no setor de serviços e crescimento (ou inibição) da economia, que tornam a análise dependente de certa volatilidade da base de análise.

As técnicas de iluminação têm sustentado um progresso acelerado em termos de eficiência energética nas últimas décadas, não só em termos de lâmpadas mais eficientes, mas também em reatores, luminárias e controles (GRUBLER, 2004). Maior eficiência energética em iluminação pode-se conseguir por meio de:

- Iluminação natural: o Brasil tem uma das abóbadas celestes mais claras do mundo, com baixa nebulosidade em muitos pontos de seu território. Aproveitar bem a iluminação natural é um princípio que deve nortear cada processo de efficientização de iluminação;
- Controle do acendimento: em muitas instalações, o comando das lâmpadas é feito pelo disjuntor de proteção do circuito - é comum, assim, haver um pequeno ponto de trabalho sendo usado com uma imensa área acesa. Hoje existem vários dispositivos -, sensores de presença, *timers* etc. - que podem promover o uso racional da iluminação artificial;
- Uso de lâmpadas, reatores e luminárias eficientes: processo mais conhecido e empregado de efficientização que consiste na troca por equipamentos (*retrofit*) que proporcionarão o mesmo ou maior índice luminotécnico com menor gasto de energia elétrica.

A iluminação pública merece destaque por ser um setor em que vários investimentos de efficientização têm sido feitos nos últimos anos, com participação, inclusive, nos programas de efficientização energética (PEE) das distribuidoras de energia elétrica e no Programa Reluz, da Eletrobrás.

A obtenção de eficiência energética em serviços que consomem eletricidade evidentemente leva a ganhos financeiros para o tomador desses serviços, no entanto implica criteriosa avaliação das vantagens dessa economia em face dos custos de investimento na implantação das soluções tecnológicas com esse objetivo.

Na Figura 1, pode-se observar um quadro comparativo com medidas de efficientização energética - independentemente do setor de uso final - e seus respectivos custos associados (custos de implantação da medida ou investimento inicial anualizado acrescido dos custos de operação e manutenção, pela energia anual economizada). Os custos são calculados em dólares americanos (US\$) para favorecer uma mesma base de comparação para valores praticados no mercado internacional.

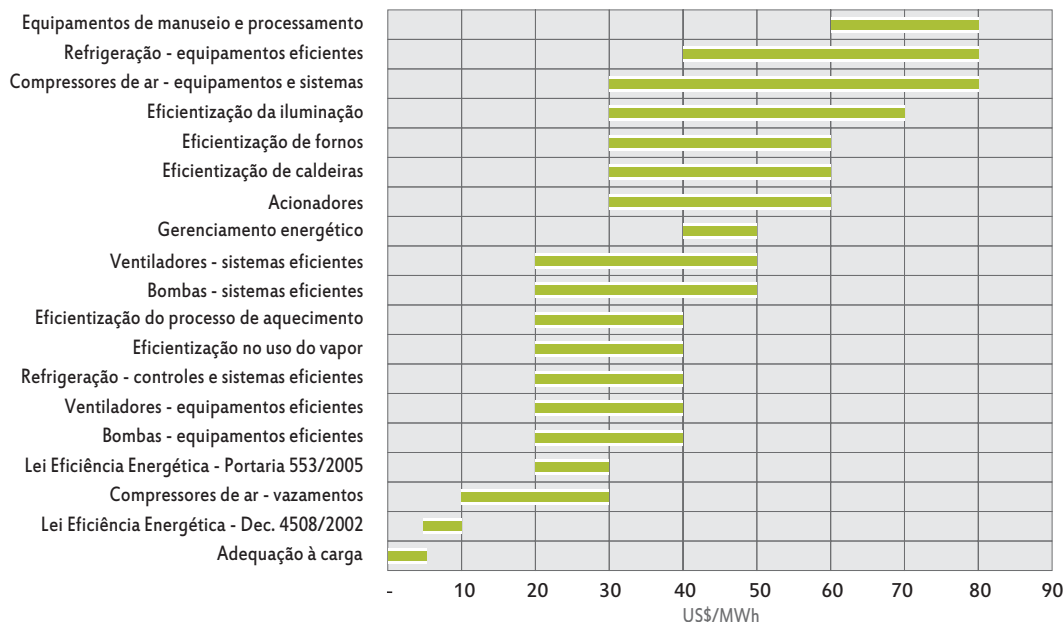


Figura 1 - Custos das Medidas de Eficiência Energética Estudadas para os Setores Comercial e Público

Fonte: EPE, 2008

Segundo estudo do Ministério de Minas e Energia (2007), em 25 anos, o consumo total de energia elétrica no Brasil aproximar-se-á de 1.200 TWh, o que significa expansão média de 4% ao ano desde 2005. Esses números foram revistos para o atual estudo e atualmente projeta-se um crescimento do PIB de 2,5% ao ano, e a evolução da demanda de energia elétrica em 2050 deve significar algo em torno de 400 GW e 480 GW.

É importante frisar que qualquer estratégia para atender essa demanda deverá necessariamente contemplar iniciativas na área de eficiência energética. E mais: tais iniciativas deverão ser adicionais em relação àquelas que já vêm sendo empreendidas no país. A eficiência no uso da energia, em especial da energia elétrica, deverá integrar a agenda nacional nos próximos anos.

Há mais de 20 anos, iniciativas sistemáticas, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), vêm sendo empreendidas com resultados expressivos. Por se tratar de continuidade de ações já executadas, essa dinâmica é intrínseca à evolução da demanda e é tratada como progresso autônomo. Ocorre que o potencial de eficiência energética é bem maior do que aquele aproveitado atualmente, e a expansão do consumo, refletindo o estágio



de desenvolvimento do país, é muito grande. Portanto, ações complementares no sentido de ampliar esse esforço de eficiência energética são desejáveis e necessárias.

Tecnologia de iluminação em evolução

Dentre as principais inovações no setor de iluminação, destacam-se o surgimento e a evolução da tecnologia LED para fabricação de lâmpadas de luz branca. Com a necessidade de soluções mais eficazes para usos finais de energia elétrica, essa tecnologia vem sendo priorizada em estratégias de pesquisa e de mercado. No entanto, ao longo dos últimos cinco anos, os trabalhos realizados em laboratório revelam que a mesma evolução não tem ocorrido com os parâmetros colorimétricos de LED de luz branca, como temperatura de cor correlata e índice de reprodução de cores. Esses parâmetros são fundamentais para garantir a qualidade da iluminação para o usuário final.

Outro aspecto que chama atenção é que a tecnologia LED de luz branca, praticamente, ainda não participa do mercado dos principais segmentos de aplicação para iluminação. É uma tecnologia em fase de demonstração para boa parte dos grandes mercados corporativos, como o de iluminação comercial e iluminação pública.

As lâmpadas fazem parte do produto final, e a escolha da tecnologia envolvida na geração primária é uma tarefa de projetistas que precisam conciliar outros parâmetros (além da eficácia energética), como: custo final da luminária, facilidade de instalação e manutenção, vida útil comprovadamente longa, geração de muita luz em pouco volume, atendimento de especificidades do ambiente a ser iluminado, massa do conjunto, dentre outros.

Aspectos legais e transformação do mercado

Além dos programas de etiquetagem que incluem o selo de eficiência Procel para lâmpadas de uso geral, o setor de iluminação pública brasileiro, devido a suas características peculiares (tem cadeia produtiva bem configurada), vem sendo um motor da modernização de produtos com tecnologia a LED.

Nesse setor, as Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica (2010) n. 414, de 9 de setembro de 2010, e n. 479, de 3 de abril de 2012, estabeleceram 24 meses (prazo posteriormente prorrogado, vencido em 31 de janeiro de 2014) para que a gestão dos serviços deixe de ser atribuição

das concessionárias de energia para se tornar função das prefeituras. Essa situação deverá induzir a competição nesse mercado e demandará a utilização de análises econômicas e ambientais para subsidiar o desenvolvimento de produtos que incorporem novas tecnologias.

Atenção específica para a tecnologia LED deve-se ao fato de que, nos últimos cinco anos, os trabalhos de caracterização de produtos para iluminação revelam ser esta a principal inovação incorporada nos produtos. Em particular, a aplicação de LED para iluminação pública vem sendo apontada pela Abilux como a principal oportunidade de expansão de negócios (ABILUX, 2005). Também é nesse setor onde há concorrência agressiva de produtores e integradores externos, visando ao mercado brasileiro e à gestão de serviços públicos de iluminação para 5.570 municípios.

As lâmpadas a filamento já foram banidas do mercado nacional, e a política de etiquetagem para as lâmpadas em geral tem mostrado grande potencial para induzir inovação no setor para a eficiência de tecnologias de iluminação.

Também vem merecendo atenção especial da Eletrobras, que está lançando um programa para certificação de luminárias públicas, seguindo a iniciativa dos EUA e da Europa, no contexto das iniciativas do Programa Procel de Eficientização dos usos finais de energia elétrica. O programa de etiquetagem para luminárias em iluminação pública foi lançado em março de 2017 (MDIC, 2017). Com o sucesso do programa, é de se esperar o advento dessa iniciativa em outros nichos de aplicação para produtos de iluminação.

A qualidade do serviço de iluminação para os usuários

Visando avaliar a importância da qualidade da iluminação para os cidadãos, usuários do serviço de iluminação pública e de outros segmentos, buscou-se verificar, junto a especialistas, quais seriam os principais periódicos internacionais para a área de iluminação e arquitetura. O objetivo era identificar, em estudos publicados, os parâmetros de projetos de iluminação que influenciariam o bem-estar e a produtividade humana. As coleções consultadas foram as seguintes:

- *Journal of Architectural Engineering;*
- *Lighting Research Technology;*
- Trabalhos disponíveis no site do *National Physical Laboratory, UK;*
- Trabalhos disponíveis no site da *International Energy Agency (IEA);*
- Publicações da *International Commission on Illumination (CIE);*
- Teses, *papers* e monografias citadas nos artigos das coleções acima.



Apesar de existirem critérios comuns amplamente aceitos pelos sistemas normativos dos países desenvolvidos, há peculiaridades como diferenças de hábitos em se tratando da vida urbana e rural, grau de escolaridade e poder aquisitivo da população, realidade urbana nas cidades de grandes concentrações humanas, insolação na região geográfica e sua sazonalidade anual, oferta e disponibilidade de tecnologias de iluminação, além, é claro, de tipo de atividade para a qual o serviço de iluminação exerce agregação de conforto, segurança e produtividade ou desempenho visual. Essa diversidade, no entanto, não descarta a necessidade do estabelecimento de critérios específicos conforme a área de aplicação do serviço de iluminação, pois tanto desenvolvedores de produtos quanto gestores dos serviços sempre estarão diante de opções inovadoras e com diferentes repercussões, seja no que diz respeito à qualidade para o usuário final, impactos no meio ambiente ou economicidade do empreendimento.

Quanto aos **objetivos** dos trabalhos, a intenção é principalmente identificar regras nas relações entre ambientes iluminados e seu efeito no desempenho do trabalho e bem-estar para subsidiar projetistas e especificadores. Quase sempre se busca padronização das situações mais recorrentes.

Quanto aos **métodos** utilizados, verificam-se dois tipos básicos: revisão da literatura e discussão com especialistas ou experimentos que simulam situações supostamente representativas daquelas de interesse.

Quanto à área de aplicação dos serviços de iluminação sob análise, há trabalhos que cobrem a maioria das aplicações de iluminação, abordando desde ambientes internos e externos, mas a maioria preocupada com o desempenho visual visando à produtividade (grande interesse nos setores produtivos e comércio).

Quanto aos **parâmetros de qualidade** monitorados, há muita heterogeneidade, dependendo do interesse e da disponibilidade de recursos. Os parâmetros objetivos mais citados são: nível de iluminância, luminância, espectro luminoso, contraste e distribuição luminosa.

Quanto às **regiões** onde os trabalhos foram desenvolvidos, observa-se a predominância de interesse na Europa e nos EUA.

Boa parte dos estudos analisados se tornou importante para formar opinião de especialistas e gerar as publicações CIE 191:2010 e CIE 145:2002. A Comissão Internacional de Iluminação (em francês, *Commission Internationale de l'Eclairage - CIE*), fórum internacional de especialistas, é a principal autoridade no que diz respeito ao estudo e às recomendações de técnicas fotométricas para avaliar tecnologias e seu efeito para a saúde humana. É um órgão consultivo da International Electrotechnical

Commission (IEC/ISO). A primeira norma é um relatório que aborda o desempenho humano em tarefas visuais baseado em fotometria mesópica (caracterização de iluminação em horário intermediário entre o diurno e o noturno), com o objetivo principal de estabelecer indicadores de funções mesópicas de sensibilidade espectral para servir como fundamentação de um sistema de fotometria mesópica. O relatório resume as justificativas para o sistema recomendado e fornece diretrizes gerais para o seu uso e aplicação.

A segunda publicação, CIE 145:2002, descreve o estado da arte dos atuais modelos de visão. Os dados de desempenho visuais de diferentes autores foram comparados no que diz respeito à sua relação com o contraste de fundo de luminância e quanto ao tamanho do objeto crítico. Propõe-se um modelo sobre “tempo de reação”, que permite o cálculo de desempenho visual (VP) de acordo com a sua definição para determinadas condições das tarefas visuais. Há uma proposta de outro modelo que investiga tempo de busca e precisão e avalia a influência da idade sobre a acuidade visual e seu impacto para o desempenho visual.

Dentre os trabalhos publicados que reportam estudos sobre qualidade de iluminação, há particularmente dois (GLIGOR, 2004 apud IEA, 2010; GOODMAN, 2006) que merecem destaque pela tentativa de esquematizar e sintetizar as relações observadas entre a iluminação do ambiente e o desempenho visual e o bem-estar dos usuários desse ambiente.

Conforto visual, desempenho visual e segurança visual sempre estarão presentes nos serviços de iluminação. Os projetistas utilizam técnicas de projeto e *softwares* e analisam a melhor solução para o melhor resultado, considerando a aplicação do serviço de iluminação. A qualidade do resultado, portanto, deve observar o efeito para o usuário do ambiente. Em se tratando da análise comparativa da ecoeficiência de projetos de iluminação pública, essa qualidade para o usuário deve ser garantida para todos os projetos, ou seja, o mesmo padrão deve estar presente de modo que, para o usuário, não deverá fazer diferença se o fornecedor da tecnologia é X ou Y.

Dentre os parâmetros que podem medir tais efeitos, há alguns suficientemente importantes para que sejam lembrados, independentemente da área de aplicação, mas há outros que, dependendo da área ou do nicho de aplicação, fazem diferença apenas no que diz respeito à sua interação com o usuário final específico daquela área.



Um conjunto de parâmetros mínimos a ser utilizado em estudos de avaliação de ciclo de vida (ACV)¹² de produtos e instalações para iluminação pode ser visualizado na Tabela 4, em que os parâmetros são dispostos conforme a aplicação hipotética dos produtos e instalações (nichos do setor de iluminação). A Tabela 4 foi montada com base na consulta aos guias citados na sequência.

Tabela 4 - Parâmetros de Qualidade da Iluminação para Definição da Unidade Funcional

Parâmetros a serem definidos na UF	Áreas de Aplicação (tipo de iluminação)						
	Residencial	Pública	Comercial	Industrial	Destaque	Local	Emergência
Distribuição da luminância das fontes e superfícies refletoras	X	X	X	X			
Iluminância nos planos de uso	X	X	X	X		X	
Ofuscamento ou brilho para o usuário		X	X	X	X		X
Direcionalidade da luz	X				X	X	X
Aspectos colorimétricos da luz e das superfícies	X	X	X		X	X	X
Efeito <i>flicker</i> ou cintilamento das fontes			X	X			
Presença e distribuição da luz natural	X		X				X
Manutenção dos níveis de iluminação		X	X	X		X	

Fonte: Elaboração própria.

A distribuição da luminância das fontes e superfícies refletoras precisa ser balanceada para melhorar acuidade visual, sensibilidade para contrastes e eficiência das funções oculares.

A iluminância nos planos de uso, sua uniformidade e distribuição nas áreas de trabalho e seu entorno são os parâmetros de maior impacto na rapidez, na segurança e no conforto com que uma pessoa percebe e conduz a tarefa visual a que se propõe. A importância desse parâmetro

¹² O objetivo dessa discussão é deixar claro que a qualidade para o usuário pode ser medida e deve ser utilizada como padrão para a análise de todas as soluções. Em se tratando da formulação de uma unidade funcional, é apropriado que a sua especificação inclua clareza no que vem a ser a “qualidade para o usuário”.

levou os países a estudarem e definirem tabelas com limites de iluminância em função da tarefa a ser realizada no ambiente sob análise dos luminotécnicos. No Brasil, utiliza-se a norma ABNT NBR 5413:1992: Iluminância de Interiores; internacionalmente, utilizam-se as normas CIE S 008/E: 2001 / ISO 8995-1:2002(E): Lighting of Work Places - Part 1: Indoor e CIE 29.2 - 1986: Guide on Interior Lighting. Para iluminação pública, utiliza-se no Brasil a norma ABNT Iluminação pública — Procedimento, ABNT NBR 5101:2012.

O ofuscamento é uma sensação visual produzida por áreas ou pontos brilhantes no campo de visão e é experimentado como desconforto. Isso é causado por reflexões especulares (direcionais) em superfícies. Limitar o ofuscamento é importante para evitar erros, fadiga e acidentes. Algumas normas, como aquelas CIE citadas acima, estabelecem faixas de valores de luminância (em kcd/m^2) e ângulos mínimos para evitar o ofuscamento. Essas normas também estabeleceram uma grandeza denominada classificação de brilho unificada (*unified glare rating - UGR*) e seu método de medida para viabilizar o projeto criterioso do ambiente iluminado.

A direcionalidade da luz é importante para realçar objetos, revelar texturas e melhorar a aparência das pessoas no espaço iluminado ou mesmo a visibilidade de detalhes em tarefas visuais. Esse “modelamento” de pessoas e objetos é obtido por um balanço entre a luz difusa e a luz direcional e, nesse caso, a posição e a distribuição de fontes luminosas são requeridas.

A qualidade colorimétrica de fontes emissoras de luz com aspecto próximo ao da luz branca caracteriza-se por dois atributos que podem ser considerados separadamente. A aparência da “cor da luz própria” da fonte luminosa (quente, fria ou intermediária) é medida pelo parâmetro “temperatura de cor correlata” (TCC) em Kelvins, medida numa escala que compara a luz da fonte estudada com a luz do Sol. Esse parâmetro normalmente é importante por conta do conforto visual e para induzir a sensação de frio ou calor conforme o ambiente visual e a intenção do projetista. O “índice de reprodução de cores” (IRC), número absoluto que mede a “deformação” das cores de uma superfície quando esta é iluminada por uma fonte luminosa de espectro luminoso diferente do espectro solar, é importante para melhorar o desempenho visual e o bem-estar, além de permitir melhor visualização natural da pele humana e das cores dos objetos.

O “efeito *flicker*”, ou cintilamento das fontes de luz, causa distração e efeitos fisiológicos, como dor de cabeça, e deve ser evitado também pela possibilidade de causar sensação estroboscópica, que leva a equívocos sobre avaliação visual da velocidade e do movimento de máquinas rotativas.

A iluminação natural pode prover toda ou parte da iluminação para as tarefas visuais. Apesar de mudar seu espectro e intensidade ao longo do dia e das estações do ano e vir acompanhada de calor para



o ambiente, a iluminação natural é importante como fonte de energia para iluminar locais próximos às janelas devido à possibilidade de economia de energia e a familiaridade e adaptabilidade dos olhos humanos a esse tipo de luz. No entanto, o uso correto dessa fonte de luz é um desafio, uma vez que isso deve ser pensado desde a concepção da construção civil do ambiente.

A manutenção dos níveis de iluminação é importante, pois todos os projetos são realizados considerando um valor médio para os parâmetros que deverão vigorar enquanto se utiliza o ambiental para a atividade especificada. Se os valores mudam demasiadamente ao longo da vida útil das instalações, corre-se o risco de influenciar o desempenho e o conforto das pessoas sem que estas saibam a verdadeira razão que origina tal efeito.

Modelos de avaliação de desempenho ambiental aplicáveis

De acordo com MME (2007), a eficiência no uso da energia, em especial a elétrica, está em pauta desde os choques do petróleo na década de 1970, quando ficou patente que as reservas fósseis não teriam custo baixo indefinidamente e que seu uso traria prejuízos ao meio ambiente. Foram, então, empreendidos esforços para que o serviço de energia (iluminação, força motriz, aquecimento, condicionamento ambiental, equipamentos eletroeletrônicos etc.) pudesse ser oferecido com menor gasto energético ou pelo menos com a conservação destes. Verificou-se também que a substituição de muitos equipamentos por outros mais eficientes era economicamente viável, ou seja, o custo de sua implantação era menor que o custo da energia cujo uso evitava-se, em um período relativamente curto.

Nesse sentido, o conceito de “avaliação do custo do ciclo de vida” (ACCV) é aplicável,¹³ uma vez que permite uma análise abrangente dos empreendimentos, considerando o fluxo financeiro em todas as etapas do seu ciclo de vida: instalações, operação, manutenção e descomissionamento.

13 Uma opção somente seria considerada se diminuísse o consumo de energia (diminuísse o custo da energia) para um mesmo serviço e se essa diminuição levasse a um ganho (sobra de dinheiro) equivalente ou maior do que o custo de sua implantação. O objeto de análise é o fluxo financeiro, no entanto qualquer solução está relacionada à busca de um menor consumo de energia, principal custo da gestão do serviço ao longo de um determinado tempo (digamos, 20 anos). Aqui a ideia é informar que a ACCV é suficientemente abrangente para incorporar, além do custo do consumo de energia, outros custos que nem sempre são considerados pelo gestor, como operação, manutenção, comissionamento etc.

Medidas como incentivo ao uso de equipamentos eficientes, melhoria em processos produtivos e adoção de hábitos que provocam menor uso da energia receberam o nome de medidas de eficiência energética (MEE). Apesar dos grandes benefícios que uma MEE pode trazer ao usuário e à sociedade como um todo, muitas barreiras impedem a sua disseminação: dificuldades para financiamento, percepção dos riscos envolvidos, falta de informação, conscientização, treinamento, conhecimento das regras de um contrato de desempenho, acesso a tecnologias e equipamentos de uso eficiente da energia, altos custos de transação, incerteza associada ao resultado das medidas etc.

Segundo MME (2007), em estudo denominado *Matriz Energética Nacional 2030*, ao avaliar as necessidades para a expansão da oferta e da demanda de energia no Brasil, nos próximos 25 anos, reconhece-se que os mecanismos de mercado não são capazes, por si sós, de promover a eficiência energética nos vários setores de consumo para os padrões previstos. Portanto, há necessidade de políticas e programas de incentivo à eficiência energética que minimizem as barreiras e as imperfeições de mercado (MME, 2007). É importante frisar que qualquer estratégia para atender essa demanda deverá necessariamente contemplar iniciativas na área de eficiência energética. E mais: tais iniciativas deverão ser adicionais em relação àquelas que já vêm sendo empreendidas no país. Portanto, a eficiência no uso da energia, em especial da energia elétrica, deveria integrar a agenda nacional futura, como acabou ocorrendo com a discussão do Plano Nacional de Energia - PNE 2050 (EPE, 2013b).

Por conta desses desafios, é compreensível que o exercício de práticas focadas na sustentabilidade ambiental, como a utilização de ACV para gestão ambiental de instalações e serviços e de ACCV para avaliação econômica dos empreendimentos, recaia sobre o problema do uso de energia e a promoção da eficiência energética em serviços e produtos de iluminação, dentre outros. Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são grandes geradores de impactos ambientais em qualquer sociedade moderna. No entanto, o foco estrito nas tecnologias ou nos produtos de iluminação, visando principalmente avaliar os impactos ambientais e econômicos que são indiscutíveis na fase de uso (em função do consumo de eletricidade para conversão de luz ao longo da vida útil), não considera o efeito do funcionamento das instalações com foco no usuário final. Como será demonstrado adiante (estudo sobre ecoeficiência com uso de ACV em IP), os trabalhos de ACV e/ou ACCV utilizam uma métrica que privilegia a eficácia energética, e não a qualidade do serviço para o usuário final.¹⁴

14 Utiliza-se o “pensamento do ciclo de vida”, ou seja, é necessário ter em mente que a ecoeficiência é “[...] alcançada através da entrega de bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida a preços competitivos, reduzindo progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de recursos **ao longo do Ciclo de Vida** a um nível pelo menos em linha com a capacidade de suporte estimada da Terra” (WBCSD, 2000b). Por esse motivo, a ACV ou a ACCV são ferramentas naturalmente elegíveis, pois incorporam o conceito na forma que deve ser aplicado, reconhecidas como técnicas normalizadas, com a vantagem de oferecer um protocolo robusto.



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).

Em termos gerais, do ponto de vista das principais premissas assumidas para o trabalho, entende-se que as seguintes são as mais relevantes:

a) Evolução do PIB:

- A taxa de crescimento do PIB será crescente até meados de 2030, quando se estabilizará e iniciará um pequeno declínio. A projeção é de crescimento médio em torno de 2,5% a.a. no período de 2017 a 2026 (EPE e MME);
- O PIB será crescente e modulado, significando que crescerá menos no final do período;
- Os diferentes setores crescem a taxas distintas, havendo correspondência entre o grau de desenvolvimento da economia e a distribuição setorial (MME);
- Até 2050, o setor de serviço ganhará participação, mantendo sua posição de destaque em face dos demais macrossetores. No entanto, nos anos iniciais, a indústria cresce mais, em função da recuperação da utilização da capacidade ociosa e do desempenho do setor extrativo.

b) Crescimento da demanda:

- A evolução da demanda de energia elétrica em 2050 deve significar algo em torno de 400 GW e 480 GW em capacidade instalada - dependendo, principalmente, de como será a matriz para atender o problema da ponta (sobre capacidade);
- Petróleo: consideraremos o pré-sal mantendo o patamar atual de cerca de 2,5 milhões de barris/dia, o que significa algo em torno de 40 bilhões de barris com significativo esgotamento no final do período.

c) Redes elétricas inteligentes (REI):

- Apesar de os estudos de planejamento não detalharem essa área, entende-se que serão muito importantes para o sistema elétrico nacional. As motivações principais serão a Geração Distribuída e a eficiência energética;
- Embora o benefício social e para o sistema elétrico seja reconhecido, a questão regulatória (especialmente o reconhecimento tarifário) e os novos modelos de negócio serão fundamentais para viabilizar financeiramente os investimentos esperados em REI;

- Facilitam o desenvolvimento do mercado e da comercialização varejista, com abertura para consumidores de menor porte (*prosumer*), a exemplo de micro e minigeração.
- d) Meio ambiente:**
- Ações propostas para a redução de emissões de GEE
 - No curto prazo, não há nenhuma;
 - No médio prazo, especialmente no longo prazo, existe a perspectiva de que possam crescer medidas de redução e emissões. No longo prazo, poderia ocorrer a inserção da precificação de carbono nos leilões.
 - Existe forte necessidade de estudos para o planejamento do impacto das mudanças climáticas e adaptações do sistema elétrico a estas novas condições:
 - Hidrologia, ventos etc.
 - Há a necessidade de estudos sobre os efeitos do uso múltiplo da água nos recursos hídricos para geração de energia elétrica
 - O uso autorizado (permitido) para agricultura, abastecimento etc.;
 - Na avaliação do potencial hidroelétrico, atualmente, há significativo percentual da redução da capacidade de geração hídrica causado pelo uso indevido da água (não autorizado, como desvio não autorizado da água - existem casos de desvios de até 50% da vazão disponível para a geração de energia elétrica).
 - Efeitos dos impactos socioambientais na oferta de geração e transmissão de energia elétrica
 - Necessidade de melhor entendimento ou critérios sobre o licenciamento. A transmissão e geração tem problemas mal resolvidos com terras indígenas, por exemplo, o que tem levado aos pedidos de permissão pré-leilão;
 - Necessidade de melhoria dos estudos socioambientais associados aos estudos de planejamento de médio e longo prazo. Atualmente, o PDE apresenta a matriz socioambiental atrelada a cada empreendimento, e os estudos de longo prazo não trabalham essa informação;
 - A regulação do uso da terra e as restrições ambientais continuarão sendo os principais fatores limitantes para a expansão da fonte hídrica e da transmissão.

Com base nas premissas acima, estimou-se o cenário relativo ao consumo de energia elétrica em serviços de iluminação, nos vários nichos de aplicação para esse serviço. O resultado pode ser observado na Tabela 5 e 6.

A Tabela 4 apresenta uma estimativa do consumo de energia por setor.



Tabela 5 - Consumo de Energia Elétrica (estimativa para 2017)

Setor de Consumo Final (energia elétrica)	Consumo (TWh)	Participação (%)
Industrial	212,82	35,9
Residencial	144,05	24,3
Comercial	155,31	26,2
Público (serviços e consumo próprio)	38,53	6,5
Iluminação pública	18,97	3,2
Outros (rural, perdas etc.)	23,12	3,9
TOTAIS	592,80	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em dados do BEN-2016 e estimativas do BEU-2005

A tabela 6 apresenta uma estimativa da participação do consumo de energia para os serviços de iluminação por setor e uma estimativa da economia por eficiência, considerando-se a meta de 50% com a substituição de tecnologia e demais desenvolvimentos a serem propostos.

Tabela 6 - Consumo para Iluminação (estimativa para 2017)

Setor de Consumo Final (energia elétrica em iluminação)	Participação (%)	Consumo (TWh)	Redução por eficiência até 2045 (TWh)
Industrial	6,00	12,8	6,4
Residencial	16,20	23,3	11,7
Comercial	34,00	52,8	26,4
Público (serviços e consumo próprio)	25,00	9,6	4,8
Iluminação pública	100,00	19,0	9,5
Outros (rural, perdas etc.)	4,00	0,9	0,5
TOTAIS	19,98	118,4	59,2

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em dados do BEN-2016 e estimativas do BEU-2005

A cenarização geral é complementada com o estabelecimento de indicadores de acompanhamento das metas estabelecidas. A Planilha de Indicadores - Anexo detalha as dimensões de análise e as metas estimadas por período. As principais métricas estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Métrica para Indicadores e Cenário Geral Utilizados na Planilha de Indicadores

Métrica para indicadores	Cenário Geral
Eficácia luminosa de luminárias e lâmpadas	Aumentar eficácia (ou eficiência luminosa) das fontes
Perdas na conversão de energia para luz	Diminuir perdas totais na luminária
Avaliação ambiental de produtos e instalações	Implementar modelos de avaliação para promover a sustentabilidade urbana de serviços de iluminação e subsidiar tomadores de decisão privados e públicos (exemplo: comparar ecoeficiência de soluções) (A)
Certificação de produtos do mercado	Implementar certificação ambiental e energética de produtos por nicho (A)
Alinhamento a compromissos da Agenda 2030	Desenvolver os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) para o setor (A)
Associação com internet das coisas e redes inteligentes	Identificar fatores que podem mudar a abordagem de projetos de iluminação, como a necessidade de colocar o usuário (e não a tecnologia) como definidor da qualidade da iluminação, além da relação com outros serviços a esse usuário (novas plataformas integradas de serviços) (A)
Avaliação de impactos ambientais associados ao setor	Identificar métricas apropriadas para normalizar e popularizar a avaliação de impactos ambientais associados ao setor (A)
Reciclagem	Projeto de produtos e instalações com base na avaliação do ciclo de vida (A)

Fonte: Elaboração própria.

As condicionantes de futuro identificadas, isto é, questões externas à pesquisa que influenciam o seu desenvolvimento, estão listadas na tabela 8.



Tabela 8 - Dimensões e Questões Externas à Pesquisa com Risco de Influência sobre o Sucesso do Planejamento

Dimensão	Descrição
Econômica	Restrição orçamentária para implementação de políticas públicas
Econômica	Surgimento de políticas para barateamento do custo da energia
Mercado global	Restrições para importação e exportação de produtos acabados e componentes
Comportamental	Baixa adesão de consumidores a critérios de qualidade de iluminação
Técnica	Baixa procura por formação de novos especificadores
Técnica	Surgimento de tecnologias não previstas que potencializam ou inibem o desenvolvimento tecnológico conforme estimado

Fonte: Elaboração própria.

2.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

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

2.3.1. Temática: Novas soluções para iluminação nos vários segmentos de aplicação

Esta temática aglutina todas as ações que têm em comum o foco no serviço de iluminação com atenção ao usuário final, nas necessidades do usuário final, principal motor para o desenvolvimento de soluções tecnológicas.

Roadmap tecnológico

Rota - Identificação e aproveitamento de padrões internacionais

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Efeitos de sistemas de iluminação com semicondutores na qualidade de energia e desempenho de sistemas e redes;
- Padronização de metodologia para comando, controle e troca de dados entre sistemas de iluminação e fornecedor de energia (protocolos de comunicação e controle);
- Estudos para compartilhamento da plataforma de comunicação de iluminação pública com outros serviços públicos;
- Padrões (*software e hardware*) para constituição de plataforma única compartilhada com outros serviços públicos (cidades inteligentes e IoT);
- Interface de comunicação com celulares, *tablets* e outras utilidades para controle, avaliação e medição da iluminação ambiente (incluindo iluminação natural);
- Interfaces avançadas para interação com usuários (modelos, protocolos, sensores e controladores), incluindo reconhecimento e análise do comportamento de usuários e identificação de falhas de operação;
- *Softwares* mais intuitivos, baratos, de fácil utilização, com incorporação de novas tecnologias, para modelamento de sistemas de iluminação e visualização de diferentes soluções;
- Critérios e normas para avaliação de controladores avançados de sistemas de iluminação para facilitar e estimular sua especificação, venda, compra, instalação, programação, comissionamento e operação (autocomissionamento, avaliação da usabilidade, medição de desempenho, nível de integração a controles e interoperabilidade).

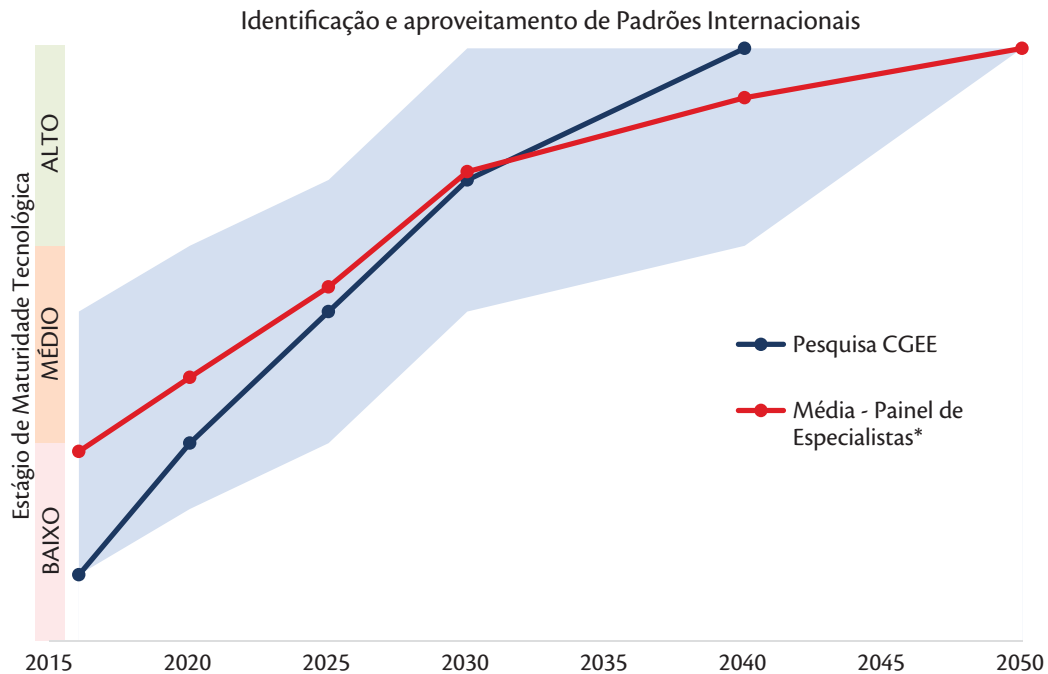


Gráfico 1 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Identificação e Aproveitamento de Padrões Internacionais

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Desenvolvimento de modelos analíticos próprios

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Modelos de avaliação e emissão de *report* sobre a ecoeficiência (desempenho econômico e ambiental) de diferentes soluções para sistemas de iluminação, com foco na qualidade do serviço ao usuário;
- Procedimentos e indicadores de eficiência para avaliar projetos (M&V);
- Bases de dados e modelos de avaliação do custo do ciclo de vida e logística reversa, incluindo avaliação de impactos ambientais de sistemas de iluminação (convencionais e inovadores);
- Estudo para aperfeiçoamento da regulação e das formas de informação para comercialização das fontes de luz para iluminação.

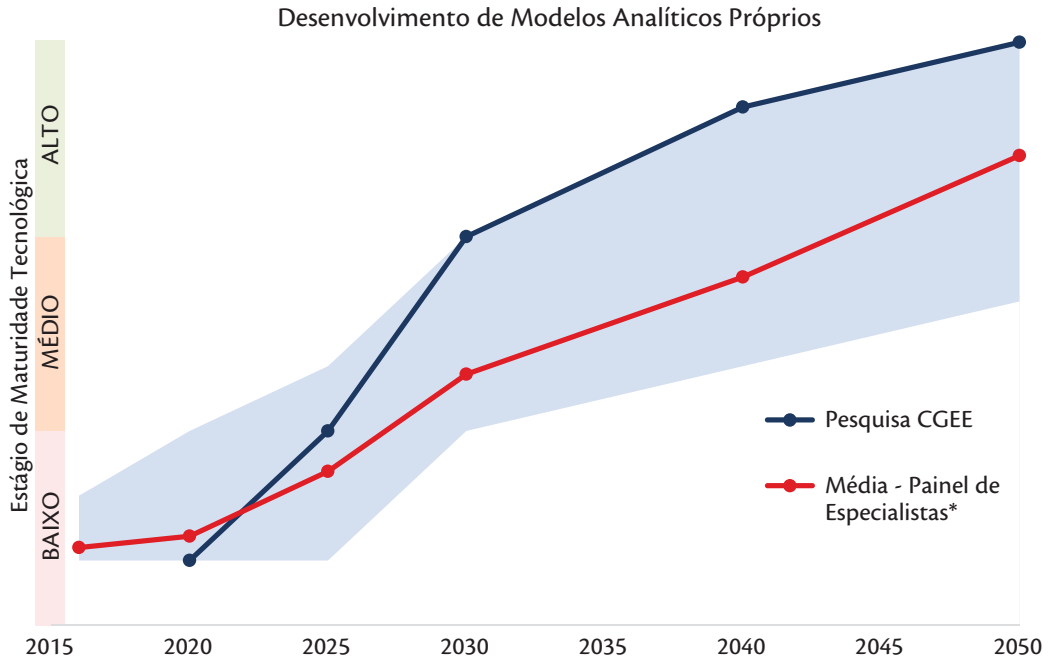


Gráfico 2 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos Analíticos Próprios

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Novos estudos de aspectos comportamentais

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Critérios de projeto que envolvam promoção à saúde, produtividade, satisfação e bem-estar do usuário com acuidade (não somente eficiência energética, nível de iluminação, uniformidade etc.) e projetos de aplicação (*user-centered-design*);
- Modelos preditivos para identificar necessidades dinâmicas em função da insolação local (horário, estações etc.) e ritmo circadiano de usuários;
- Pesquisa de posse de equipamentos de iluminação e hábitos de consumo de energia para serviços de iluminação (última: 2004-2006);
- Padronização de requisitos e métodos de avaliação para iluminação mesópica;



- Parâmetros de controle para sensoriamento virtual (taxa de ocupação, tráfego, fatores associados ao comportamento do usuário, mudança de contextos, integração de controle etc.);
- Interfaces avançadas para interação com usuários (modelos, protocolos, sensores e controladores), incluindo reconhecimento e análise do comportamento de usuários e identificação de falhas de operação;
- Novos critérios de avaliação de instalações de iluminação externa baseados em níveis de otimização da percepção de segurança e proteção aos usuários, incluindo avaliação da aceitação de níveis padronizados para iluminação de ambientes não ocupados.

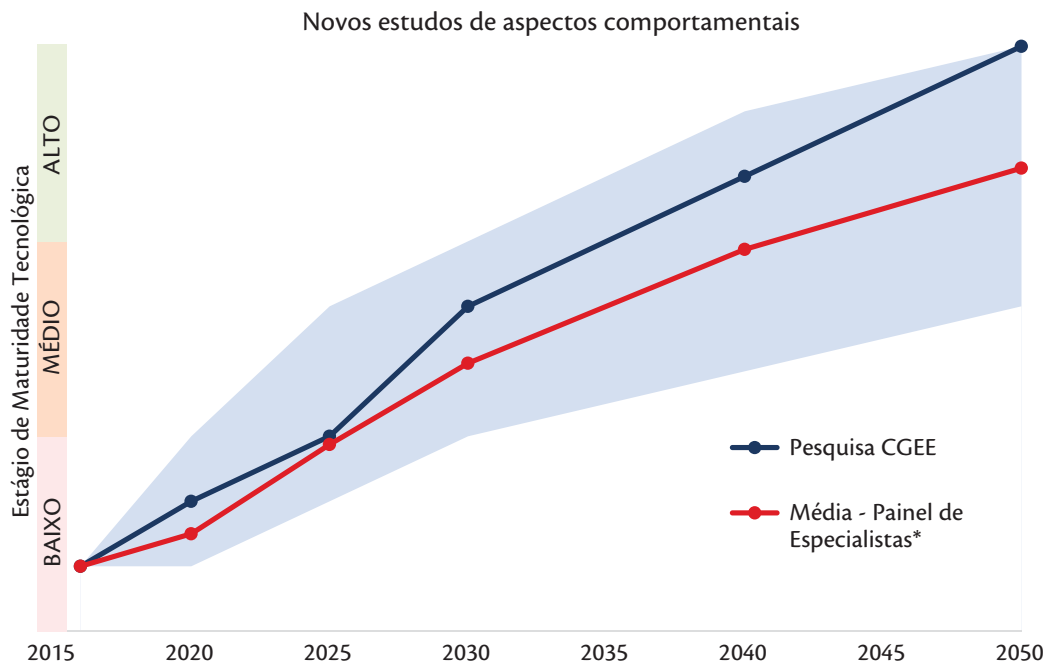


Gráfico 3 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Estudos de Aspectos Comportamentais

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Identificação e Aproveitamento de Padrões Internacionais, Desenvolvimento de Modelos Analíticos Próprios e Novos Estudos de Aspectos Comportamentais

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Novas soluções para iluminação nos vários segmentos de aplicação	Identificação e aproveitamento de Padrões Internacionais	Fatores portadores de futuro	Existência de normas e acordos intersetoriais. Falta de comunicação e interlocução.		Existência de normas e acordos intersetoriais. Falta de apoio para participação em fóruns internacionais.	Existência de normas e acordos intersetoriais.	Compartilhamento do resultado de pesquisas. Surgimento de padrões nacionais	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Desenvolvimento de Modelos Analíticos próprios	Fatores portadores de futuro	Alta demanda de especificadores. Falta de recursos para financiamento de pesquisas e bolsas de estudo.		Surgimento de normas e protocolos. Falta de recursos para financiamento de pesquisas e bolsas de estudo.	Aproveitamento de ferramentas de áreas correlatas.	Globalização de padrões.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	
	Novos estudos de Aspectos Comportamentais	Fatores portadores de futuro	Percepção da vantagem do “ <i>user-centered-design</i> ” e evolução da IoT. Falta de recursos para financiamento de pesquisas e bolsas de estudo.			Percepção da vantagem do “ <i>user-centered-design</i> ” e evolução da IoT.	Compartilhamento do resultado de pesquisas. Falta de bases de dados biométricos.	
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



2.3.2. Temática: Novos sistemas de iluminação, com ênfase para luminárias e suas interfaces

Esta temática aglutina todas as ações que têm em comum o foco na infraestrutura de iluminação, incluindo todos os componentes necessários para a oferta do serviço de iluminação no ambiente em que o usuário necessita.

Roadmap tecnológico

Rota - Participação em normas e recomendações internacionais

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Conceitos de intercambialidade prevendo versatilidade, adaptabilidade, interoperabilidade e configuração de sistemas de iluminação para diferentes ambientes e aplicações;
- Critérios para avaliar a eficiência do projeto para a gestão térmica de luminárias;
- Estudos e recomendações para padrões de telegerenciamento de sistemas de iluminação;
- Novos métodos, mais rápidos, confiáveis e baratos, com métricas normalizadas, para caracterizar vida útil, resposta à demanda e confiabilidade de luminárias;
- Novos critérios para avaliar eficiência a partir do serviço ofertado pela luminária, e não apenas sob o ponto de vista da eficiência de componentes utilizados;
- Padrões para a indústria OEM.

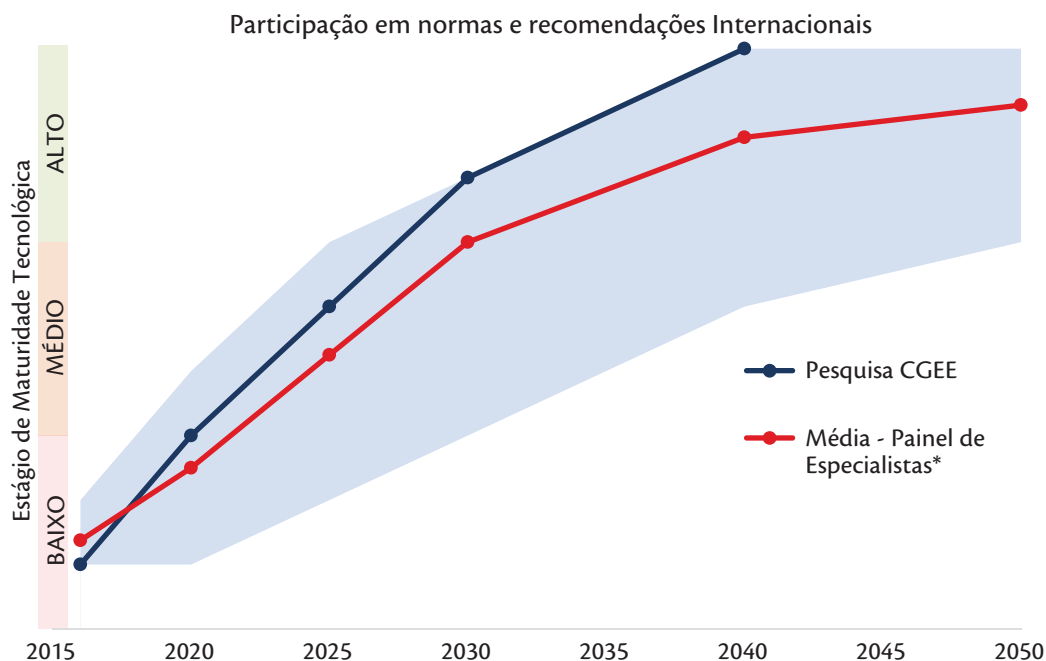


Gráfico 4 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Participação em Normas e Recomendações Internacionais

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Desenvolvimento de tecnologias para agregar valor local (cadeia produtiva)

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Critérios para avaliar a efetividade de *retrofit* tanto na eficiência energética quanto na qualidade da iluminação, incluindo o desempenho fotométrico e óptico da configuração do conjunto;
- Levantamento do estágio tecnológico do setor de iluminação (último: 2005);
- Padrões para favorecer intercambialidade e reciclagem;
- Estruturação e oferta de formação de especialistas em ótica e gestão térmica de produtos (ação de CT&I);
- Definição de requisitos e métodos de ensaio para produtos à base de OLED;



- Identificação de melhores práticas e estabelecimento de critérios para engenharia de produto de padrão ecoeficiente próprio (marca Brasil);
- Modelos e métricas para avaliação do índice de nacionalização de produtos e instalações;
- Projeto de luminárias para otimizar conforto, efetividade e produtividade de tarefas sob o ponto de vista do usuário.

Desenvolvimento de tecnologias para agregar valor local (Cadeia produtiva)

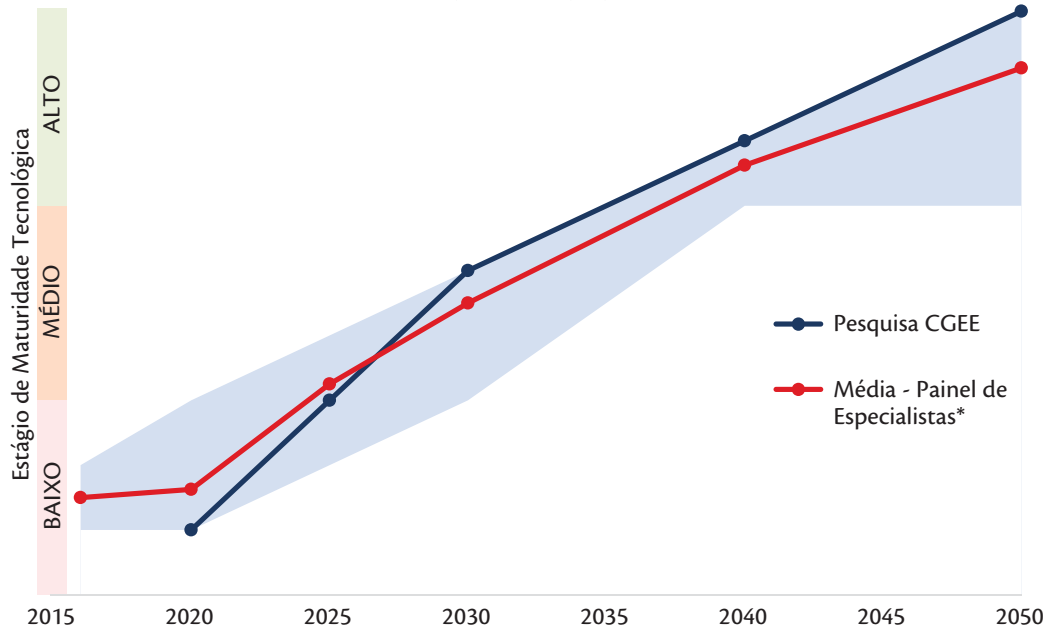


Gráfico 5 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Tecnologias para Agregar Valor Local (cadeia produtiva)

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Participação em Normas e Recomendações Internacionais e Desenvolvimento de Tecnologias para Agregar Valor Local (cadeia produtiva)

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Novos sistemas de iluminação, com ênfase para luminárias e suas interfaces	Participação em normas e recomendações internacionais	Fatores portadores de futuro	Existência de normas e acordos intersetoriais. Falta de comunicação e interlocução.		Existência de normas e acordos intersetoriais. Falta de apoio para participação em fóruns internacionais.	Existência de normas e acordos intersetoriais	Compartilhamento do resultado de pesquisas. Surgimento de padrões nacionais.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Desenvolvimento de tecnologias para agregar valor local (Cadeia produtiva)	Fatores portadores de futuro	Alta demanda de especificadores. Falta de recursos para financiamento de pesquisas e bolsas de estudo.		Surgimento de normas e protocolos. Falta de recursos para financiamento de pesquisas e bolsas de estudo.	Aproveitamento de ferramentas de áreas correlatas	Globalização de padrões.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

2.3.3. Temática: Componentes para novos sistemas de iluminação

Esta temática aglutina todas as ações que têm em comum o foco no desenvolvimento de componentes de sistemas de iluminação.



Roadmap tecnológico

Rota - Atualização de sistemas para tecnologia a LED

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Métodos confiáveis, com métricas normalizadas e requisitos de desempenho, para avaliar a variação da cromaticidade da emissão de componentes LED ao longo de sua vida útil;
- Projeto de componentes semicondutores (módulos a LED) padronizados, mas adaptáveis a diferentes concepções de luminárias e diferentes necessidades dos usuários;
- Pesquisa de materiais e processos para produção de lentes e difusores ópticos;
- Estudo de viabilidade para o desenvolvimento nacional de componentes semicondutores para módulos de LED (incluindo chips);
- Identificação de oportunidades para configuração no formato COB (*chip on board*);
- Identificação de oportunidades para atuação em inovações para fabricação de LED (*quantum dots*, laser para iluminação, fósforos, materiais para substratos etc.).

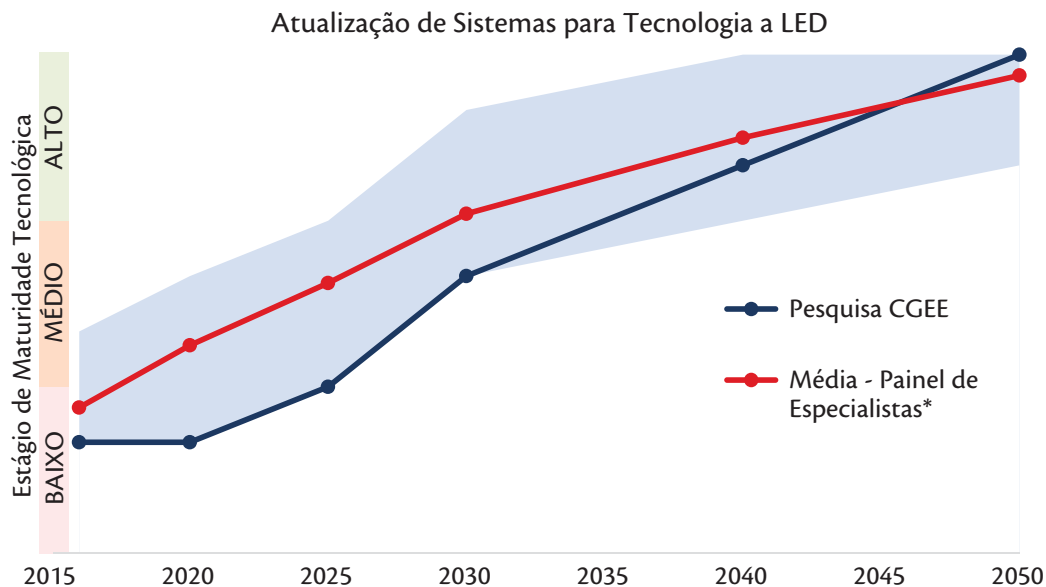


Gráfico 6 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Atualização de Sistemas para Tecnologia a LED

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Desenvolvimento de padrões para tecnologia a OLED

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Padronização de componentes para integração de luminárias à base de OLED;
- Estudo de viabilidade para o desenvolvimento nacional de chips para OLED;
- Adaptação de normas técnicas para produtos a OLED;
- Identificação de modos de falha para produtos a OLED;
- Pesquisa de novos materiais para uso em módulos a OLED.

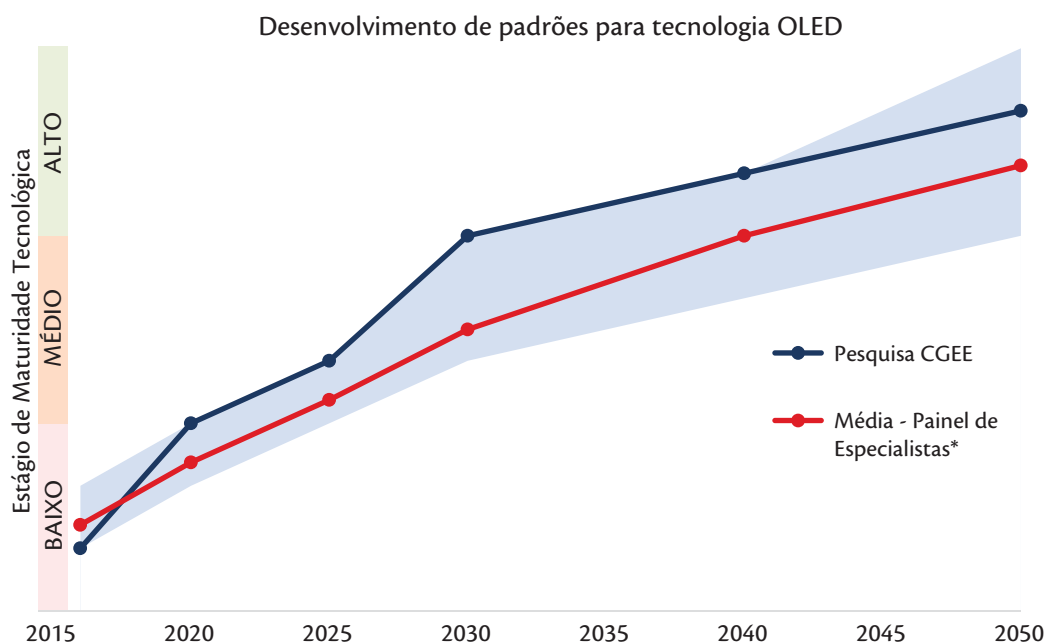


Gráfico 7 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Padrões para Tecnologia a OLED

Fonte: Elaboração própria.



Rota - Desenvolvimento de materiais, componentes e dispositivos para serviços ancilares

Esta rota tecnológica abrange as seguintes linhas de PD&I:

- Controladores e sensores adaptáveis ao uso de *retrofit* em sistemas convencionais existentes;
- Componentes, acessórios e padrões (incluindo protocolos) para a integração de sistemas de iluminação a redes inteligentes (*smart grids*), sistemas de gestão da demanda e sistemas de geração distribuída;
- Pesquisa de materiais e processos de fabricação de dissipadores de calor para módulos a LED;
- Componentes, acessórios e padrões para a transmissão de energia por conexões de internet e redes de comunicação (*power over ethernet - PoE*);
- Sensores e técnicas para medição e diagnóstico da demanda (usuário), comparação com a iluminação ambiente e integração com controles (incluindo para uso em iluminação pública);
- Controladores baratos, confiáveis, intercambiáveis e *plug and play* (sem necessidade de ajustes, configuração ou intervenção de usuários);
- Controladores para ajuste e compensação da variação da intensidade e cromaticidade da emissão;
- Componentes e configurações (incluindo protocolos) em *optical wireless communication* (OWC), incluindo VLC, FSO, Li-Fi e controles de infra-red;
- Componentes eletrônicos de alta potência para alto fator de potência e baixo fator de forma em alimentação AC (conversores ultraeficientes com frequência de chaveamento de 10 a 20 MHz);
- Componentes eletrônicos para conversão eficiente de energia AC-DC, DC-DC e DC-AC em microrredes.

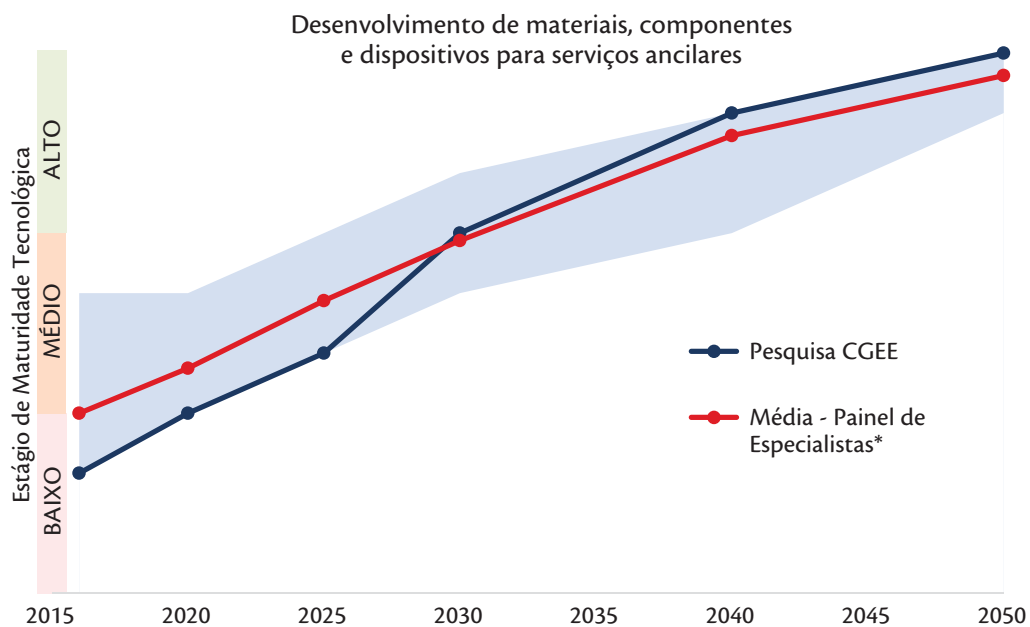


Gráfico 8 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Materiais, Componentes e Dispositivos para Serviços Ancilares

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 11 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Atualização de Sistemas para Tecnologia a LED, Desenvolvimento de Padrões para Tecnologia a OLED e Desenvolvimento de Materiais, Componentes e Dispositivos para Serviços Ancilares

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Temática Componentes para novos sistemas de iluminação, incluindo aqueles associados à conversão de energia em luz e às partes óptica, alimentação, controle, comunicação, sensoriamento e materiais	Atualização de sistemas para tecnologia a LED	Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de soluções no mercado internacional. Preço da energia. Surgimento de certificações. Políticas públicas de eficiência. Barateamento de componentes. Ausência de fabricantes nacionais.	Disponibilidade de soluções no mercado internacional. Preço da energia. Surgimento de certificações. Políticas públicas de eficiência. Ausência de fabricantes nacionais.	Disponibilidade de soluções no mercado internacional. Preço da energia. Surgimento de certificações. Políticas públicas de eficiência. Ausência de fabricantes nacionais.	Interlocação com desenvolvedores globais. Surgimento de novos materiais e técnicas de diagnóstico. Custo de patentes.	Interlocação com desenvolvedores globais. Surgimento de novos materiais e técnicas de diagnóstico. Custo de patentes.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO	
		Fatores portadores de futuro	Disponibilidade de soluções no mercado internacional. Políticas públicas de eficiência e inovação. Barateamento de componentes. Tecnologia ainda é ineficiente. Ausência de fabricantes nacionais.	Disponibilidade de soluções no mercado internacional. Políticas públicas de eficiência e inovação. Barateamento de componentes. Ausência de fabricantes nacionais.	Disponibilidade de soluções no mercado internacional. Políticas públicas de eficiência e inovação. Barateamento de componentes. Ausência de fabricantes nacionais.	Interlocação com desenvolvedores globais. Surgimento de novos materiais e técnicas de diagnóstico. Custo de patentes.	
	Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO		
	Desenvolvimento de materiais, componentes e dispositivos para serviços ancilares (complementam os serviços principais)	Fatores portadores de futuro	Acesso a tecnologias avançadas de outros setores. Ausência de grandes monopólios. Necessidade de soluções customizadas. Falta de política de inovação para componentes. Custo do desenvolvimento inibe iniciativas. Disponibilidade de soluções de concorrentes internacionais. Falta de padronização. Acesso limitado a patentes.			Grande variedade de soluções. Tamanho pequeno do mercado inibe competição e inovação.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

2.4. Priorização

Será apresentada, neste item, a ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática. Conforme mencionado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), essa priorização é o resultado de um painel de especialistas que levaram em conta a visão de futuro da macrotemática e os respectivos objetivos específicos, além de elementos facilitadores e limitadores observados nas respectivas tabelas de questões portadoras de futuro.

Para essa macrotemática, as seguintes rotas tecnológicas foram priorizadas, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Rota 2: Desenvolvimento de modelos analíticos próprios	Novas soluções para aplicações em iluminação
2	Rota 5: Desenvolvimento de tecnologias para agregar valor local (cadeia produtiva)	Novos sistemas de iluminação
3	Rota 1: Identificação e aproveitamento de padrões internacionais	Novas soluções para aplicações em iluminação
4	Rota 6: Atualização de sistemas para tecnologia a LED	Componentes para novos sistemas de iluminação
5	Rota 3: Novos estudos de aspectos comportamentais	Novas soluções para aplicações em iluminação
6	Rota 4: Participação em normas e recomendações internacionais	Novos sistemas de iluminação
7	Rota 8: Desenvolvimento de materiais, componentes e dispositivos para serviços ancilares (complementam os serviços principais)	Componentes para novos sistemas de iluminação
8	Rota 7: Desenvolvimento de padrões para tecnologia a OLED	Componentes para novos sistemas de iluminação

Fonte: Elaboração própria.

A maior e mais importante prioridade para a rota “Desenvolvimento de modelos analíticos próprios”, vinculada à Temática 1 (novas soluções para aplicações nos vários segmentos de iluminação),



deveu-se à necessidade urgente de apoiar desenvolvedores, especificadores e instaladores, uma vez que a ausência de modelos analíticos gerados a partir das necessidades objetivas legitima critérios que, em última instância, não surtirão efeito do ponto de vista da eficiência energética e poderão até inviabilizar outras rotas identificadas. Também se avaliou que a precedência dessa rota poderá coordenar as táticas associadas às demais.

A segunda prioridade dada à rota “Desenvolvimento de tecnologias para agregar valor local (cadeia produtiva)”, vinculada à Temática 2 (novos sistemas de iluminação, com ênfase para luminárias e suas interfaces), deveu-se à avaliação de que, no país, há uma cadeia produtiva que, com relativamente pouco apoio, poderia competir amplamente com as importações, com a vantagem de gerar empregos, padrões tecnológicos, valor aos elos da cadeia produtiva e potencialização do PIB nacional.

A terceira prioridade dada à rota “Identificação e aproveitamento de padrões internacionais”, vinculada à Temática 1 (novas soluções para aplicações nos vários segmentos de iluminação), deveu-se à visão de que não seria produtivo desenvolver esforços onde as inovações já contam com ampla colaboração internacional. Nesse caso, a ação mais efetiva seria incorporar conhecimento e tecnologias exitosas que, por isso mesmo, vêm se tornando um padrão para a área.

A quarta prioridade dada à rota “Atualização de sistemas para tecnologia a LED”, vinculada à Temática 3 (componentes para novos sistemas de iluminação), deveu-se à constatação inevitável de que a substituição de tecnologias de iluminação convencionais por tecnologias a LED demandam estratégias de coordenação que conciliem as necessidades de efficientização no uso final com a qualidade agregada por uma tecnologia que ainda não está madura e vem trazendo desafios para a cadeia produtiva (notadamente para produtores). A migração para o novo paradigma tecnológico demanda ainda aprofundamento do conhecimento dos nichos de aplicação e suas reais necessidades.

A quinta prioridade dada à rota “Novos estudos de aspectos comportamentais”, vinculada à Temática 1 (novas soluções para aplicações nos vários segmentos de iluminação), deveu-se à constatação de que o novo paradigma tecnológico em pauta (tecnologia de iluminação a LED) apresenta possibilidades de atendimento das necessidades dos usuários, com qualidade superior às tecnologias convencionais. Muitas necessidades incluem um endereçamento ao local e às características de usuários específicos. Essas novas possibilidades demandam melhor entendimento das necessidades dos usuários estritamente vinculadas a mudanças de comportamentos ou mesmo a necessidades existentes e somente agora passíveis de serem atendidas. Portanto, é um campo absolutamente aberto para inovações no tocante à interação tecnologia-usuário.

A sexta prioridade dada à rota “Participação em normas e recomendações internacionais”, vinculada à Temática 2 (novos sistemas de iluminação, com ênfase para luminárias e suas interfaces), deveu-se ao reconhecimento da existência de cadeias de valor globais que, por isso mesmo, demandam de órgãos normativos internacionais acompanhamento para definição de critérios de intercambialidade, segurança, qualidade e desempenho. O Brasil não pode ser exceção, sob pena de despotencializar todo esforço de desenvolvimento realizado pela indústria e por governos locais.

A sétima prioridade dada à rota “Desenvolvimento de materiais, componentes e dispositivos para serviços ancilares (complementam os serviços principais)”, vinculada à Temática 3 (componentes para novos sistemas de iluminação), deveu-se ao reconhecimento de que a nova plataforma tecnológica (Iluminação a LED) não está monopolizada e não é tão globalizada do ponto de vista dos componentes necessários para sua viabilização, tanto do ponto de vista do *hardware* quanto do *software*. Há, portanto, janelas de oportunidades para a indústria local, inclusive visando à participação nas cadeias globais.

A oitava e última prioridade dada à rota “Desenvolvimento de padrões para tecnologia a OLED”, vinculada à Temática 3 (componentes para novos sistemas de iluminação), deveu-se ao reconhecimento de que essa tecnologia (iluminação a OLED), apesar de se mostrar próspera para o setor, demandaria investimentos mais bem aproveitados para o domínio da tecnologia de LED. Também se observa que essa tecnologia está vinculada a outras lógicas em outras cadeias produtivas (*displays*, por exemplo) e que sua evolução ocorrerá numa velocidade menor, sob a ação de variáveis mais complexas de se monitorar e acompanhar.



Capítulo 3



Capítulo 3

Macrotemática edificações eficientes

Esta seção define temáticas, rotas tecnológicas e linhas de P&D de importância para o desenvolvimento da macrotemática edificações eficientes. Devido à complexidade do tema e das diversas especialidades envolvidas, buscou-se individuar as categorias que abrangessem os principais aspectos das edificações eficientes, levando em conta o objetivo de reduzir o gasto energético, proporcionar conforto ambiental e eventualmente produzir energia.

As sete temáticas individuadas para a macrotemática edificações eficientes são:

01. Arquitetura bioclimática;
02. Projeto eficiente integrado;
03. Integração do usuário;
04. Tecnologias ativas;
05. Materiais, componentes e sistemas construtivos avançados;
06. Ambiente urbano;
07. Caracterização e certificação de edificações eficientes.

As sete temáticas englobam 19 rotas tecnológicas e 24 linhas de PD&I, descritas detalhadamente a seguir.

01. Temática: Arquitetura bioclimática

Esta temática aborda arquitetura bioclimática e estratégias passivas como pilares fundamentais para obtenção de um edifício com conforto ambiental e menor consumo energético possível. Basicamente, dividiu-se a temática em rotas relacionadas ao condicionamento passivo (ou climatização passiva) da edificação e à iluminação natural, contemplando dois dos mais importantes usos finais de energia dos

edifícios (condicionamento de ar e iluminação).¹⁵ Mas ambas estão interligadas, como também estão interligadas às demais temáticas que contemplam tecnologias ativas da edificação e comportamento do usuário. Apresentam-se duas rotas tecnológicas e três linhas de PD&I. A rota **condicionamento passivo** engloba o desenvolvimento de estudos sobre o zoneamento bioclimático brasileiro, que representa a base de critérios e diretrizes para a arquitetura bioclimática e estratégias passivas. Aborda também o condicionamento passivo (resfriamento e aquecimento) em edificações (orientação, implantação, massa térmica, isolamento térmico, ventilação natural, resfriamento evaporativo, materiais construtivos etc.). A rota **iluminação natural** aborda o desenvolvimento de estudos sobre iluminação natural em edificações (aberturas, materiais, componentes etc.).

02. Temática: Projeto eficiente integrado

Esta temática aborda aspectos de arquitetura e engenharias integradas no edifício eficiente. Os conhecimentos das engenharias (civil, mecânica, elétrica etc.) são utilizados integradamente no projeto arquitetônico do edifício para substituir ou complementar as estratégias passivas da arquitetura bioclimática, quais sejam, ventilação natural, inércia térmica, isolamento térmico, sombreamento e proteção solar, iluminação natural etc.,¹⁶ o que levaria ao projeto de edifícios de balanço energético nulo ou positivo (ZEB - *zero energy building*). Por sua vez, o processo de projeto para se chegar a esse resultado deverá ser aprimorado de modo a levar a maior integração dos atores/projetistas, uso de instrumentos computacionais e ferramentas de simulação mais sofisticadas, resultando em maior precisão e melhores resultados. Apresentam-se três rotas tecnológicas e quatro linhas de PD&I. Na rota **processo de projeto**, busca-se incluir estudos que otimizem e agreguem integração ao processo de projeto do edifício, que atualmente ainda ocorre de maneira separada, causando retrabalho e resultados pouco satisfatórios em termos de eficiência. Necessita-se de estudos que criem ferramentas e métodos para que essa integração ocorra de maneira mais eficiente. A rota **simulação computacional** propõe estudos para aperfeiçoar as atuais ferramentas de simulação computacional, assim como os bancos de dados para simulação (climáticos, de materiais e componentes etc.) como auxiliares do projeto eficiente. As ferramentas BIM também estão incluídas nessa rota. Dessa maneira, é proposta uma linha de PD&I que contemple estudos sobre metodologias e ferramentas de projeto integrado para a prática profissional e ensino de arquitetura e engenharias, além de desenvolvimento e disseminação de ferramentas e arquivos climáticos para simulação computacional nas diversas

15 Outro uso final relevante, o aquecimento de água, é abordado em outra rota tecnológica específica.

16 Destaca-se que o foco aqui é a **integração** de tecnologias ativas como complemento à arquitetura bioclimática, abordada na temática anterior. O tema exclusivo de tecnologias ativas é objeto de outra temática.



fases de projeto. A terceira rota desta temática é a **integração de sistemas**. Nessa rota, buscam-se estudos sobre a aplicação conjunta de estratégias de arquitetura bioclimática e/ou condicionamento modo misto (estratégias ativas e passivas), equipamentos eficientes e produção de energia. O ápice da rota são estudos e desenvolvimento de modelos/protótipos reais e monitoramento de edifícios de balanço energético nulo ou positivo (ZEB), que seriam a perspectiva mais concreta e avançada de edifícios eficientes.

03. Temática: Integração do usuário

Esta temática aborda o usuário na edificação como balizador das condições internas de qualidade e conforto ambiental, além de agente no funcionamento do edifício, influenciando, portanto, o seu consumo energético. Nesta temática, são propostas duas rotas tecnológicas e cinco linhas de PD&I. A rota **qualidade ambiental, conforto térmico e conforto visual** encoraja os estudos e o desenvolvimento de parâmetros e critérios para aferir qualidade ambiental, conforto térmico e conforto visual, considerando o usuário da edificação. Sobretudo, critérios que se adequem às condições climáticas e de contexto socioeconômico e cultural brasileiros, diferentes dos critérios propostos para países desenvolvidos e de climas frios. São propostas três linhas de PD&I: qualidade ambiental, conforto luminoso, conforto térmico e estudos sobre o usuário. A rota **operação, manutenção, controles e automação** investiga questões ligadas a operação, controles e automação de edifícios, entendidas como oportunidades para otimização do funcionamento das tecnologias ativas do edifício. Também investiga o comportamento do usuário como balizador da maior eficiência do edifício. São propostas, portanto, duas linhas de PD&I nesta rota.

04. Temática: Tecnologias ativas

Esta temática aborda as tecnologias ativas, com consumo de energia, utilizadas em complemento às estratégias passivas no edifício (arquitetura bioclimática), para os usos finais de aquecimento, resfriamento e iluminação, além de produção de energia elétrica. A rota **iluminação artificial** propõe o desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias para iluminação artificial interior eficiente, como LED e OLED. A rota **energias renováveis** abrange estudos sobre quaisquer sistemas renováveis para geração de energia no edifício. A rota **sistemas de aquecimento e resfriamento eficientes (ar e água)** aborda desenvolvimento de bombas de calor (para aquecimento de água e aquecimento e resfriamento de ambientes), de sistemas para resfriamento evaporativo e sistemas a absorção,

incluindo sistemas solares, além de sistemas de resfriamento por compressão e superfícies radiantes (vigas/forros frios) e o desenvolvimento e aperfeiçoamento das tecnologias de compressores, gases, estratégias de refrigeração, bem como uso de superfícies radiantes para conforto térmico. A rota **tecnologias solares** propõe desenvolvimento, aperfeiçoamento e aplicação de tecnologias solares fotovoltaicas (para produção de energia elétrica) e térmicas (para aquecimento eficiente de água). E a rota **envoltórias dinâmicas** propõe estudos e desenvolvimento de sistemas de sombreamento dinâmico de envoltórias, com vistas à otimização dos ganhos de calor e iluminação natural nos ambientes internos.

05. Temática: Materiais, componentes e sistemas avançados

Esta temática investiga materiais e componentes avançados a serem aplicados para maior eficiência da edificação no contexto climático brasileiro. Inclui duas rotas tecnológicas e duas linhas de PD&I. A rota **materiais, componentes e sistemas transparentes/translúcidos de alto desempenho** aborda desenvolvimento e teste de vidros avançados (termocrômicos, eletrocrômicos etc.). A rota **materiais, componentes e sistemas opacos de alto desempenho** inclui estudo e teste de materiais e revestimentos reflexivos para resfriamento e proteção solar, materiais com propriedades variáveis e *phase change materials* (PCM), além de outros.

06. Temática: Ambiente urbano

Esta temática estuda o urbanismo e sua interação com a edificação, assim como os impactos das edificações no contexto urbano, no sentido de otimizar os resultados de eficiência no âmbito da cidade. Dessa maneira, considera os impactos da edificação no urbano e do desenho e planejamento urbano na edificação. Apresentam-se duas rotas tecnológicas e duas linhas de PD&I. A rota **urbanismo eficiente** compreende estudos sobre planejamento e desenho urbano eficientes (orientação, implantação, afastamentos, gabarito, forma, uso do solo, zoneamento etc.), visando ao aproveitamento dos recursos naturais (ventos, sol, luz) para climatização passiva, iluminação natural e produção de energia na edificação. A rota **microclimas, ilhas de calor e mudanças climáticas** aborda, por sua vez, o impacto das edificações na formação dos microclimas e das ilhas de calor das cidades e as consequentes mudanças climáticas advindas.



07. Temática: Caracterização e certificação de edificações eficientes

Esta temática caracteriza materiais e componentes da edificação e fomenta pesquisas para a elaboração de critérios e indicadores para a certificação/etiquetagem de edificações eficientes no país. Apresenta quatro rotas tecnológicas e quatro linhas de PD&I. A rota **caracterização de materiais construtivos** compreende estudos laboratoriais para mensuração de propriedades ópticas e/ou termofísicas e a consequente classificação de materiais construtivos. A rota **sistemas de certificação de edifícios** concentra-se em estudos para elaboração de critérios, indicadores, métodos e ferramentas para certificação e/ou etiquetagem de eficiência energética de edifícios, baseados no contexto e nas necessidades brasileiras. A rota **metodologias para otimização de bases de dados** busca consolidar metodologias para otimização de bases de dados sobre o parque construído nacional, em termos de consumo energético por tipologia e zona bioclimática, a fim de caracterizar o consumo e os usos finais de várias tipologias de edificações nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. A rota **análise de ciclo de vida energético** visa estudos sobre a energia incorporada de materiais, componentes e sistemas construtivos, considerando todo o seu ciclo de vida.

3.1. Visão de futuro

3.1.1. Cenário setorial

As edificações, no Brasil, são responsáveis por 14,4% do consumo de energia e 43% do consumo de energia elétrica, que tem sido crescente nos últimos anos. A evolução de demanda de energia elétrica até 2050 exigirá entre 400 GW e 480 GW em capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN). Esse cenário trará desafios quanto à minimização do consumo das edificações, mantendo ou melhorando os níveis de conforto ambiental, e quanto à transformação das edificações em possíveis polos de produção de energia. Nesse contexto, a macrotemática ganha importância e deve ser objeto de investimentos contínuos para garantir sua melhoria, dada a complexidade dos diversos aspectos envolvidos, relacionados às edificações e seus impactos nas cidades. Os aspectos envolvidos dizem respeito a todos os componentes da edificação e equipamentos/tecnologias nela utilizados, que devem funcionar de maneira simultânea, integrada e eficiente, otimizando a edificação, minimizando seus impactos negativos e possivelmente aportando melhorias na cidade, por exemplo, fornecimento de energia. Por esse motivo, a edificação eficiente contempla conhecimentos das várias áreas ligadas ao ambiente construído, quais sejam: arquitetura, engenharia civil, elétrica, mecânica etc. Também estão envolvidos na edificação eficiente, para que esta funcione da melhor maneira possível, aspectos ligados ao comportamento do usuário com relação aos sistemas e equipamentos existentes e todas

as possibilidades de controle, além das próprias expectativas humanas quanto ao conforto e à qualidade ambiental da edificação. Nesse contexto, o processo de projeto e o funcionamento da edificação tornam-se mais complexos e devem ser pensados de maneira integrada, com todos os agentes envolvidos (projetistas e usuários), e utilizando ferramentas capazes de simular e prever o comportamento da edificação, suas condições ambientais e futuro consumo energético.

3.1.2. Objetivo geral

O foco principal dos investimentos de PD&I está em otimizar a eficiência energética das edificações, objetivando torná-las sustentáveis energeticamente, mantendo condições adequadas de conforto ambiental, principalmente por meio de estratégias passivas, ativas eficientes e integração de ambas, além da produção de energia *in loco* a fim de suprir as próprias necessidades e eventualmente do entorno, reduzindo, assim, a demanda global. Portanto, o objetivo é produzir conhecimento inovador sobre estratégias passivas mais adequadas ao clima brasileiro e ferramentas para projeto integrado, e desenvolver estratégias ativas mais eficientes, materiais, componentes e sistemas avançados, sistema de etiquetagem e, por fim, protótipos de edifícios de balanço energético nulo ou positivo (ZEB), que integram todas as estratégias mencionadas.

3.1.3. Objetivo específico

Para atingir o objetivo geral, é necessário alcançar os seguintes objetivos específicos, mediante desenvolvimentos tecnológicos via investimentos em PD&I:

Curto prazo (2017-2020):

- Promover estudos sobre o zoneamento bioclimático brasileiro;
- Desenvolver metodologias para criação de bases de dados de parâmetros para simulações computacionais de edificações e projeto integrado (BIM);
- Construir metodologia para criação de bases de dados unificadas sobre consumo energético e características de edificações, além do monitoramento de edificações existentes, para obter indicadores de consumo por tipologia e zona bioclimática, desenvolvendo *benchmarks* de referência;
- Desenvolver métodos para certificação/etiquetagem de edificações.



Médio prazo (2020-2030):

- Realizar pesquisa sobre modelagem matemática, métodos computacionais, *hardware*, *software*, técnicas experimentais e uso de inteligência artificial e cibernética aplicados à eficiência energética em edificações;
- Promover a aplicação em larga escala de controle, automação e iluminação artificial eficiente de edificações;
- Promover a aplicação em larga escala de sistemas de conversão de energia renovável, sobretudo solar e eólica;
- Desenvolver estudos sobre arquitetura bioclimática, em especial condicionamento passivo e iluminação natural;
- Desenvolver estudos sobre condicionamento modo misto em edificações;
- Desenvolver metodologias para projeto integrado;
- Desenvolver metodologias para criação de bases de dados com definição de parâmetros de conforto ambiental da população brasileira, além de monitoramento do comportamento do usuário;
- Desenvolver e adequar materiais, componentes e sistemas construtivos inovadores.

Longo prazo (2030-2050):

- Aplicar, em larga escala, sistemas para condicionamento ativo mais eficientes, como resfriamento evaporativo e superfícies radiantes;
- Construir e monitorar protótipos de edificações ZEB nos diversos climas brasileiros;
- Promover urbanismo eficiente e estratégias de controle de microclimas e redução de ilhas de calor;
- Aplicar, em larga escala, envoltórias ativas.

3.1.4. Fundamentação

Subsidia-se a visão de futuro com documentos da *International Energy Agency* (IEA), que trazem capítulos específicos sobre tendências e cenários de pesquisas fundamentais no contexto internacional e seus prazos (IEA, 2015) e para o Brasil (IEA, 2013a; IEA, 2013b), considerando a temática edificações eficientes. Os documentos apontam objetivos de curto, longo e médio prazo. São bases também os documentos relativos ao Balanço Energético Nacional (BEN, 2016) e pesquisas sobre usos finais de energia elétrica em edifícios (Eletrobras, 2007; EPE, 2013).

3.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Com base no conteúdo apresentado, o cenário futuro da macrotemática edificações eficientes foi caracterizado em resposta a um conjunto de métricas que permeiam os assuntos: evolução tecnológica, estratégia setorial, socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I, indústria e mercado. Nesse contexto, as respectivas métricas foram aplicadas para a macrotemática de forma geral e para cada uma das rotas consideradas neste estudo, levando em conta o período de tempo até o ano de 2050 (ver Anexo).

As premissas macroeconômicas apontam evolução crescente do PIB até 2030, o que pode favorecer investimentos em pesquisa e desenvolvimento nas áreas de conhecimento e nos setores produtivos ligados à temática de edificações eficientes. Haverá crescimento da população, embora em ritmo menor, o que indica demanda crescente por habitação; a partir de 2040, esse ritmo de crescimento declina. A população economicamente ativa crescerá bastante entre 2025 e 2035, atingindo um excedente que poderá repercutir positivamente no setor produtivo.

Quanto ao crescimento da demanda de energia elétrica em 2050, este chegará a cerca de 400/480 GW em capacidade instalada, dependendo da matriz. Considerando que as edificações são responsáveis por 43% do consumo de energia elétrica no país (BEN, 2016), justificam-se os investimentos em edificações eficientes.

Prevê-se para o horizonte de 2050 o crescente aumento da competitividade das ações de eficiência, tendendo a tornar-se tema de interesse perene, aos moldes do que acontece hoje no contexto europeu. Por outro lado, pretende-se atingir, no horizonte de 2030, redução da demanda de energia elétrica no Brasil de 10% (com base no consumo de 2015), compromisso assumido pelo país e consequência das ações de uso racional de energia.



Ainda levando em conta que as edificações são responsáveis por 43% do consumo de energia elétrica no Brasil (BEN, 2016), a redução do consumo está diretamente ligada a processos de eficiência das edificações, em suas várias abrangências e aspectos. Os usos finais relevantes em edifícios públicos são: condicionamento de ar (48%), iluminação (23%), equipamentos (15%) e outros (14%); em edifícios comerciais: condicionamento de ar (47%), iluminação (22%) e outros (31%) (Eletrobras, 2007); e em edifícios residenciais: aquecimento de água (22,2%), iluminação (18,3%), condicionamento de ar (8%) e equipamentos elétricos (EPE, 2013). Dessa leitura, pode-se indicar como alvos principais da eficiência nos edifícios os usos finais: condicionamento ambiental, iluminação e aquecimento de água. Referências internacionais e nacionais indicam a possibilidade de redução do consumo em 50%-60% em iluminação, por meio do uso de luz natural e tecnologias mais eficientes (IEA, 2016; Eletrobras, 2005). A economia possível em condicionamento de ar, utilizando-se técnicas como sistemas radiantes (vigas/forros frios) é de 40% (ABRAVA, 2016); o aquecimento de água encontra grande potencial pelo uso da energia solar, desonerando o consumo de energia elétrica para esse fim. Dessa maneira, o cenário de redução proposto poderia ser factível.

No médio e no longo prazo, no entanto, o documento indica a perspectiva de crescimento de medidas para redução de emissões. Essa perspectiva enfatiza a necessidade de mais estudos e desenvolvimento da etiquetagem de eficiência energética de edificações que possam levar a um método que inclua o cálculo das emissões dos edifícios, o que já está em andamento (CB3E, 2016).

Existe forte necessidade de estudos sobre o impacto das mudanças climáticas e o novo planejamento para isso. Diretamente ligado a esse aspecto, destaca-se a necessidade de estudos que aprofundem os conhecimentos sobre os impactos das edificações e do meio urbano nas ilhas de calor e microclimas criados, além de estudos que proponham estratégias para um urbanismo mais eficiente, que possa mitigar tais problemas. Em maior escala, também se pode citar a necessidade de estudos que contribuam com um zoneamento climático brasileiro mais adequado, capazes de apontar aos projetistas as estratégias bioclimáticas para cada região.

As políticas energéticas indicam que seus objetivos gerais continuarão sendo segurança energética, sustentabilidade e modicidade tarifária. Isso só será possível atingir com objetivos específicos para tornar os edifícios mais sustentáveis em termos de energia (eficientes), de forma a manter a segurança (evitando racionamentos e apagões) e tarifas módicas para o consumidor.

3.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

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

3.3.1. Temática: Arquitetura bioclimática

Nesta temática, abordam-se a arquitetura bioclimática e estratégias passivas como pilares fundamentais para obtenção de um edifício com conforto ambiental e menor consumo energético possível.

Apresentam-se duas rotas: condicionamento passivo e iluminação natural. Basicamente, dividiu-se a temática em rotas relacionadas ao condicionamento passivo (ou climatização passiva) da edificação e à Iluminação natural, contemplando dois dos usos finais de energia mais importantes dos edifícios (condicionamento de ar e iluminação),¹⁷ que podem ser minimizados pela arquitetura. Ambas as rotas estão interligadas, como também estão interligadas às demais temáticas que contemplam tecnologias ativas da edificação e comportamento do usuário.

¹⁷ Outro uso final relevante – aquecimento de água – é abordado em outra rota tecnológica específica.



Roadmap tecnológico

Rota – Condicionamento passivo

A rota **condicionamento passivo** engloba o desenvolvimento de estudos sobre o zoneamento bioclimático brasileiro, que representa a base de critérios e diretrizes para a arquitetura bioclimática e estratégias passivas. Tais estudos são essenciais para indicar as estratégias de condicionamento passivo mais adequadas para cada clima.

Aborda também o condicionamento passivo (resfriamento e aquecimento) em edificações (orientação, implantação, massa térmica, isolamento térmico, ventilação natural, resfriamento evaporativo, materiais construtivos etc.).

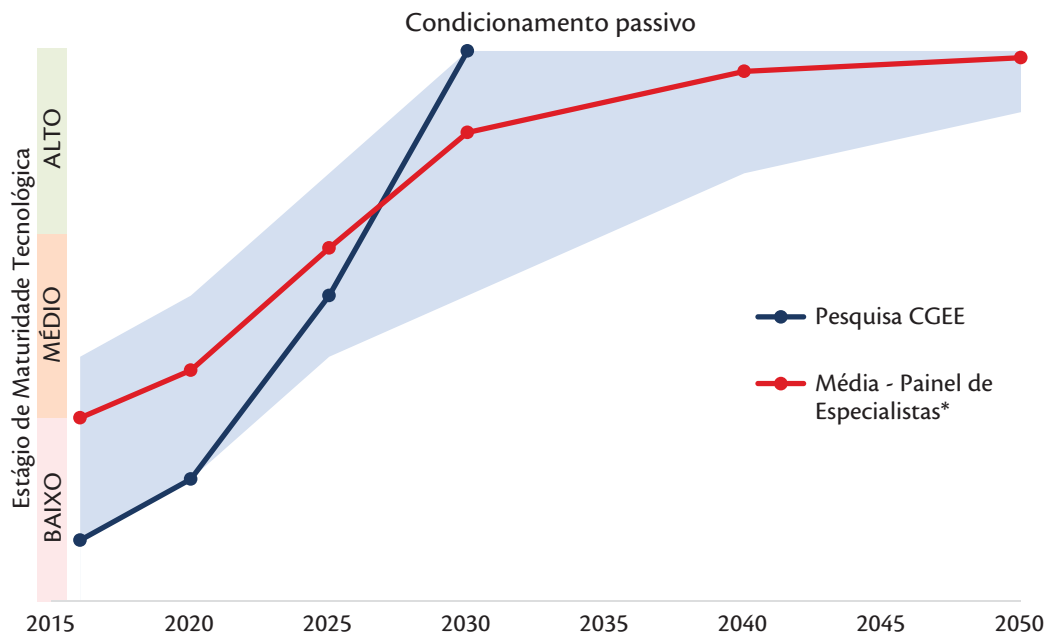


Gráfico 9 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Condicionamento Passivo

Fonte: Elaboração própria.

Rota – Iluminação Natural

A rota **iluminação natural** aborda o desenvolvimento de estudos sobre iluminação natural em edificações por meio de estratégias na morfologia da edificação (forma, implantação etc.), na envoltória (aberturas, componentes etc.) ou outros.

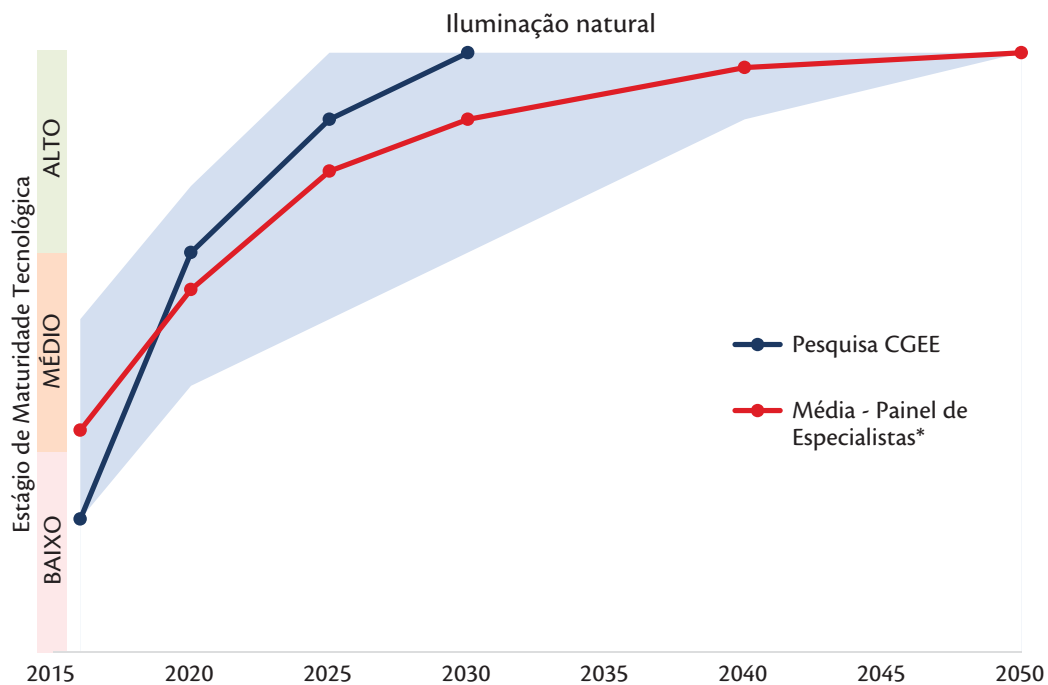


Gráfico 10 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Iluminação Natural

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na Tabela 13.



Tabela 13 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Condicionamento Passivo e Iluminação Natural

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Arquitetura Bioclimática	Condicionamento passivo	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre o zoneamento bioclimático brasileiro.	Caracterização de critérios e diretrizes para a arquitetura bioclimática e estratégias passivas	Desenvolvimento de ferramentas de TI e novas tecnologias de materiais com foco no desenvolvimento de arquiteturas bioclimáticas	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos em condicionamento passivo	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos em condicionamento passivo	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos em condicionamento passivo
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Iluminação natural	Fatores portadores de futuro	Mapeamento avançado do recurso solar no Brasil	Novos desenhos arquitetônicos com foco na iluminação natural, novos materiais fotossensíveis para regularem o nível de iluminação ambiente e novas técnicas de construção civil.	Fomento ao desenvolvimento contínuo de desenhos arquitetônicos, técnicas de construção e materiais	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos em condicionamento passivo	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos em condicionamento passivo	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos em condicionamento passivo
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2. Temática: Projeto eficiente integrado

Esta temática aborda aspectos de arquitetura e engenharias integradas no edifício eficiente. Os conhecimentos das engenharias (civil, mecânica, elétrica etc.) são utilizados integradamente no projeto arquitetônico do edifício para substituir ou complementar as estratégias passivas da arquitetura bioclimática, quais sejam, ventilação natural, inércia térmica, isolamento térmico, sombreamento

e proteção solar, iluminação natural etc.¹⁸ O ápice do correto uso de estratégias passivas e ativas integradas à produção de energia na edificação levaria ao projeto de edifícios de balanço energético nulo ou positivo (ZEB). Por sua vez, o processo de projeto para se chegar a esse resultado deverá ser aprimorado, levando a maior integração dos atores/projetistas, uso de instrumentos computacionais e ferramentas de simulação mais sofisticadas, resultando em maior precisão e melhores resultados.

Roadmap tecnológico

Rota - Processo de Projeto Integrado

Na rota **processo de projeto**, busca-se incluir estudos que otimizem e agreguem integração ao processo de projeto do edifício, que atualmente ocorre de maneira separada, causando retrabalho e resultados pouco satisfatórios em termos de eficiência. Necesita-se de estudos que criem ferramentas e métodos para que essa integração ocorra de maneira mais eficiente.

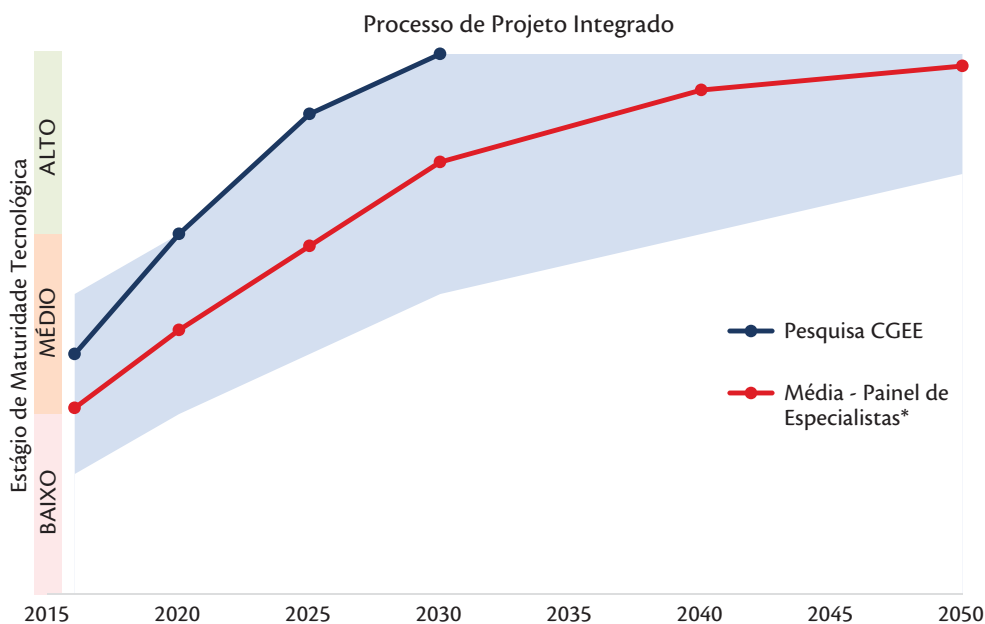


Gráfico 11 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Processo de Projeto

Fonte: Elaboração própria.

¹⁸ Destaca-se que o foco aqui é a **integração** de tecnologias ativas como complemento à arquitetura bioclimática, abordada na temática anterior. O tema exclusivo de tecnologias ativas é objeto de outra temática.



Rota – Simulação Computacional

Na rota **simulação computacional**, incluem-se estudos para aperfeiçoar as atuais ferramentas de simulação computacional como auxiliares do projeto eficiente. Dessa maneira, são propostas duas linhas de PD&I: a primeira contempla estudos sobre metodologias e ferramentas de projeto integrado para a prática profissional e o ensino de arquitetura e engenharias; e a segunda aborda o desenvolvimento e a disseminação de ferramentas e arquivos climáticos para simulação computacional nas diversas fases de projeto.

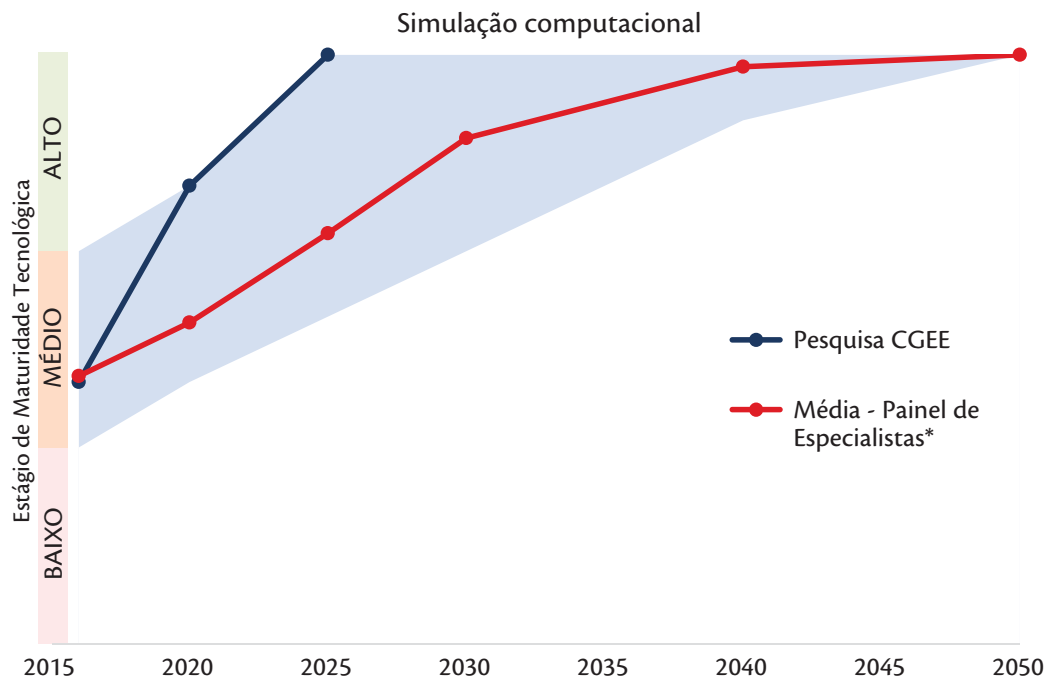


Gráfico 12 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Simulação Computacional

Fonte: Elaboração própria.

Rota – Integração de Sistemas

A terceira rota desta temática é **integração de sistemas**. Nessa rota, buscam-se estudos sobre a aplicação conjunta de estratégias de arquitetura bioclimática e/ou condicionamento modo misto (estratégias ativas e passivas integradas), equipamentos eficientes e produção de energia. O ápice da

rota são estudos e desenvolvimento de modelos/protótipos reais e monitoramento de edifícios de balanço energético nulo ou positivo (ZEB), que seriam a perspectiva mais concreta e avançada de edifícios eficientes. São propostas duas linhas de PD&I: uma que aborda estudos sobre condicionamento modo misto em edifícios e outra com estudo, desenvolvimento de modelos/protótipos reais e monitoramento de ZEB.

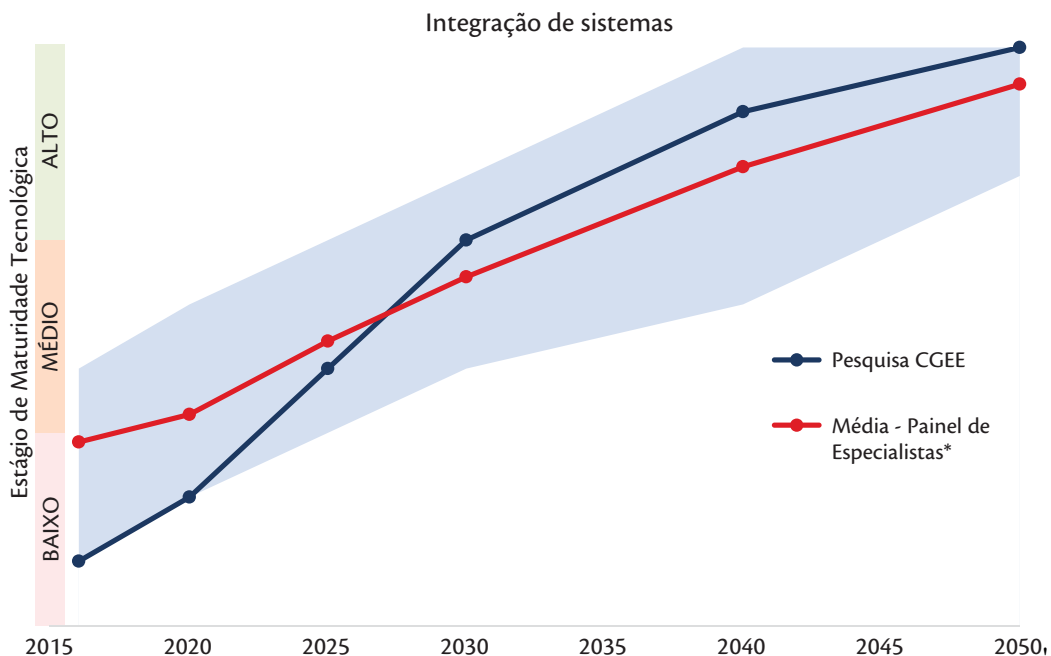


Gráfico 13 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Integração de Sistemas

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 14.



Tabela 14 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Processo de Projeto, Simulação Computacional e Integração de Sistemas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Projeto Eficiente Integrado	Processo de projeto	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre metodologias de integração entre disciplinas (arquitetura e engenharia) - campos matemático e estatístico	Metodologias de integração entre disciplinas (arquitetura e engenharia) fundamentadas - campo matemático e estatísticos	Fomento à otimização da metodologia e processos de integração entre disciplinas	Fomento à otimização da metodologia e processos de integração entre disciplinas	Fomento à otimização da metodologia e processos de integração entre disciplinas	Fomento à otimização da metodologia e processos de integração entre disciplinas
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			
	Simulação computacional	Fatores portadores de futuro	Softwares e hardwares desenvolvidos dedicados à projetos	Melhoramento contínuo das ferramentas de TI	Melhoramento contínuo das ferramentas de TI	Melhoramento contínuo das ferramentas de TI	Melhoramento contínuo das ferramentas de TI	Melhoramento contínuo das ferramentas de TI
		Maturidade	MÉDIO	ALTO				
	Integração de sistemas	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre métodos de projetos que permitam a integração entre as questões arquitetônicas e os sistemas energéticos presentes na edificação (sistemas de condicionamento de ar, por exemplo)	Métodos de projetos que permitam a integração entre as questões arquitetônicas e os sistemas energéticos da edificação (sistemas de condicionamento de ar, por exemplo) fundamentados	Implementação dos métodos no universo da TI	Aplicação piloto dos métodos para estudos dos resultados	Fomento ao desenvolvimento dos métodos de integração entre questões arquitetônicas e os sistemas energéticos presentes na edificação	Fomento ao desenvolvimento dos métodos de integração entre questões arquitetônicas e os sistemas energéticos presentes na edificação
			Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

3.3.3. Temática: Integração do usuário

Esta temática aborda o usuário na edificação como balizador das condições internas de qualidade e conforto ambiental, além de agente no funcionamento do edifício, influenciando, portanto, o consumo energético.

Roadmap tecnológico

Rota – Qualidade ambiental, conforto térmico e luminoso

A rota **qualidade ambiental, conforto térmico e luminoso** encoraja estudos e desenvolvimento de parâmetros e critérios para aferir qualidade ambiental, conforto térmico e conforto visual, considerando o usuário da edificação, sobretudo critérios que se adequem às condições climáticas e de contexto socioeconômico brasileiros, diferentes dos critérios propostos para países desenvolvidos e de climas frios. Essa rota tem uma única linha de PD&I.

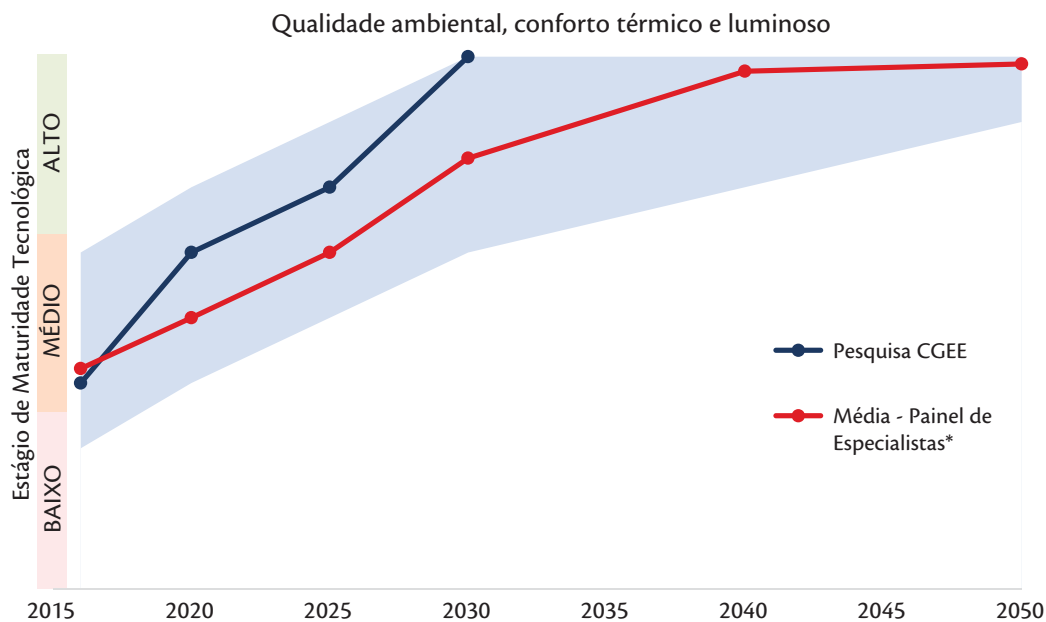


Gráfico 14 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Qualidade Ambiental, Conforto Térmico e Luminoso

Fonte: Elaboração própria.



Rota – Operação, manutenção, controles e automação

A rota **operação, manutenção, controles e automação** investiga questões ligadas a operação, controles e automação de edifícios, entendidas como oportunidades para otimização do funcionamento do edifício e sobretudo das tecnologias ativas que nele estão, de forma otimizada. Tem uma linha de PD&I.

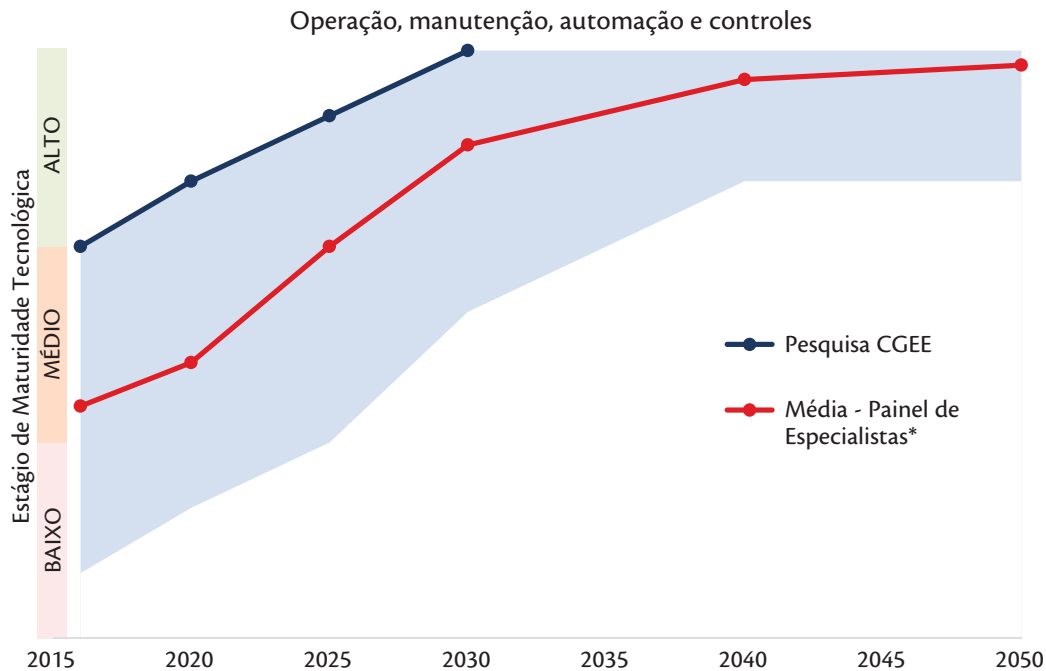


Gráfico 15 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Operação, Manutenção, Controles e Automação

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Qualidade Ambiental, Conforto Térmico e Luminoso e Operação, Manutenção, Controles e Automação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Integração do Usuário	Operação, manutenção, automação e controles	Fatores portadores de futuro	Certificação do campo ergonômico de sistemas presentes em edificações (condicionamento de ar, iluminação dentre outros) e interfaces físicas modernas entre o usuário e a tecnologia, com foco na operação e manutenção dessa tecnologia estabelecidos.	Fomento ao desenvolvimento contínuo dos padrões ergonômicos e das interfaces físicas dos sistemas constantes nas edificações	Fomento ao desenvolvimento contínuo dos padrões ergonômicos e das interfaces físicas dos sistemas constantes nas edificações	Fomento ao desenvolvimento contínuo dos padrões ergonômicos e das interfaces físicas dos sistemas constantes nas edificações	Fomento ao desenvolvimento contínuo dos padrões ergonômicos e das interfaces físicas dos sistemas constantes nas edificações	Fomento ao desenvolvimento contínuo dos padrões ergonômicos e das interfaces físicas dos sistemas constantes nas edificações
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Qualidade ambiental, conforto térmico e luminoso	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre padrões de qualidade e conforto de ambientes para o usuário.	Caracterização de padrões de qualidade pré estabelecidos, sistemas metrologicos dedicados em operação e métodos de certificação de ambientes desenvolvidos	Fomento ao estudo contínuo para a determinação de padrões de conforto e manutenção dos processos e métodos de certificação.	Fomento ao estudo contínuo para a determinação de padrões de conforto e manutenção dos processos e métodos de certificação.	Fomento ao estudo contínuo para a determinação de padrões de conforto e manutenção dos processos e métodos de certificação.	Fomento ao estudo contínuo para a determinação de padrões de conforto e manutenção dos processos e métodos de certificação.
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



3.3.4. Temática: Tecnologias ativas

Esta temática aborda as tecnologias ativas, com consumo de energia, utilizadas em complemento às estratégias passivas no edifício (arquitetura bioclimática), para os usos finais de aquecimento, resfriamento e iluminação, além de produção de energia elétrica.

Agrupamento de rotas I

Roadmap tecnológico

Rota - Iluminação Artificial

A rota **iluminação artificial** propõe desenvolvimento, aperfeiçoamento e disseminação de tecnologias para iluminação artificial interior eficiente, como LED e OLED. Tem uma linha de PD&I.

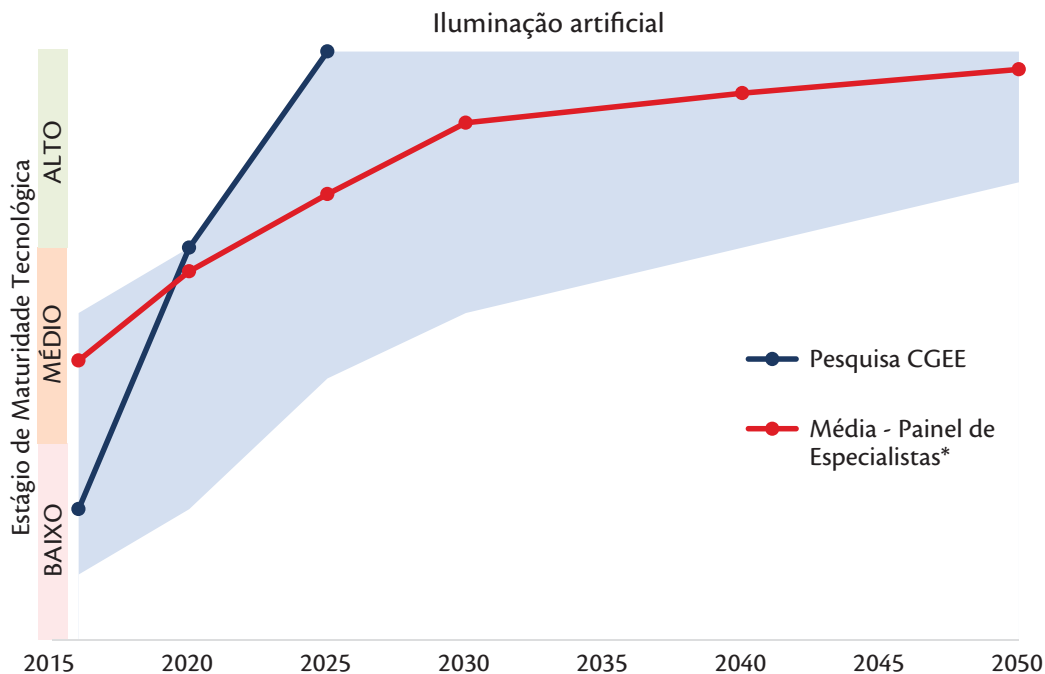


Gráfico 16 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Iluminação Artificial

Fonte: Elaboração própria.

Rota – Energias renováveis

A rota **energias renováveis** propõe desenvolvimento e aplicação de sistemas energéticos renováveis para abastecimento de edificações. Tem uma linha de PD&I.

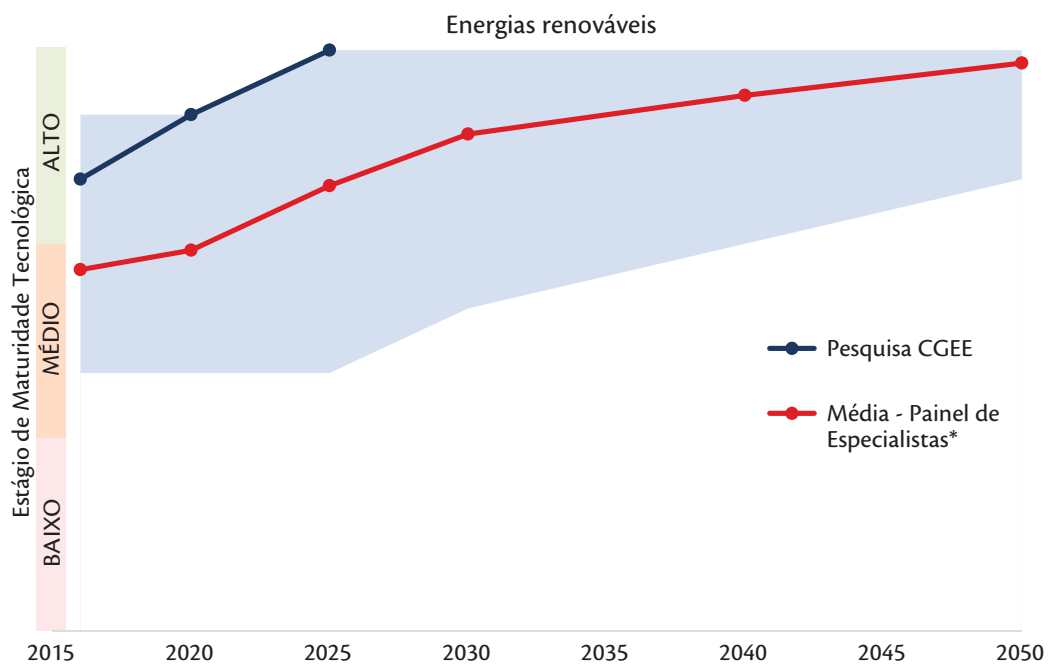


Gráfico 17 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energias Renováveis

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 16.



Tabela 16 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Iluminação Artificial e Energias Renováveis

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Tecnologias Ativas	Iluminação artificial	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre padrões de qualidade e conforto de ambientes para o usuário.		Disseminação de tecnologias para iluminação artificial interior eficiente.			
		Maturidade	BAIXO	ALTO				
	Energias renováveis	Fatores portadores de futuro	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias de geração de energia.					
		Maturidade	ALTO					

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de rotas II

Roadmap tecnológico

Rota – Aquecimento e resfriamento eficientes (água e ar)

A rota **aquecimento e resfriamento eficientes (água e ar)** aborda o desenvolvimento de sistemas para aquecimento e resfriamento de água e ar eficientes, como bombas de calor (para aquecimento de água e aquecimento e resfriamento de ambientes), e desenvolvimento de sistemas para resfriamento evaporativo e sistemas a absorção, incluindo sistemas solares. Tem duas linhas de PD&I.

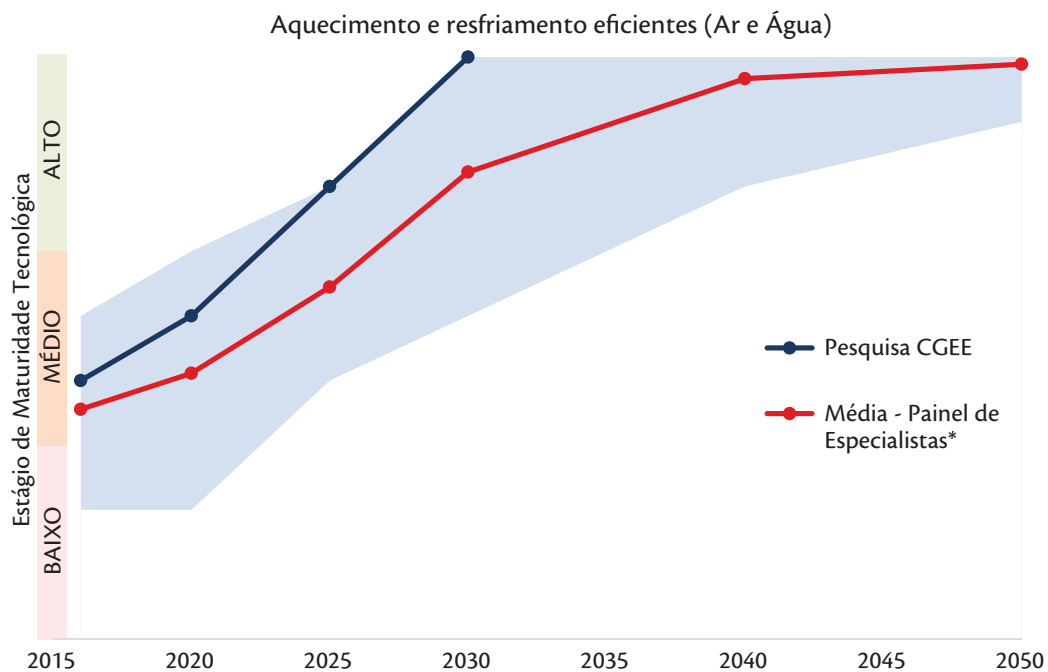


Gráfico 18 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aquecimento e Resfriamento Eficientes (água e ar)

Fonte: Elaboração própria.

A rota **envoltórias dinâmicas** propõe desenvolvimento, aperfeiçoamento e aplicação de tecnologias dinâmicas de sombreamento e proteção solar em fachadas. Tem uma linha de PD&I.

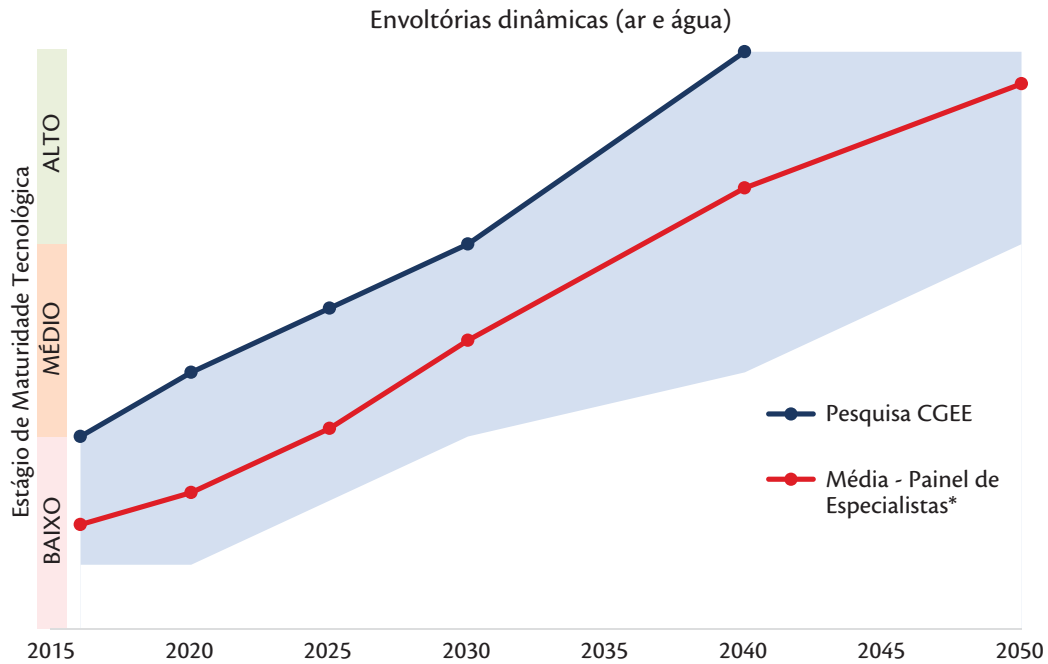


Gráfico 19 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Envoltórias Dinâmicas

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Aquecimento e Resfriamento Eficientes (água e ar) e Envoltórias Dinâmicas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Tecnologias Ativas	Aquecimento e resfriamento eficientes (ar e água)	Fatores portadores de futuro	Integração da tecnologia de aquecimento e resfriamento para fins de usuário.			Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para projetos de aquecimento e resfriamento.		
		Maturidade	MÉDIO	ALTO				
	Envoltórias dinâmicas	Fatores portadores de futuro	Fomento à melhoria de tecnologias de materiais e de fabricação.			Aperfeiçoamento e aplicação de tecnologias dinâmicas de sombreamento e proteção solar em fachadas.		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

3.3.5. Temática: Materiais, componentes e sistemas construtivos avançados

Esta temática investiga materiais e componentes avançados a serem aplicados para maior eficiência da edificação no contexto climático brasileiro.

Roadmap tecnológico

Rota – Materiais, componentes e sistemas transparentes/translúcidos de alto desempenho

A rota **materiais, componentes e sistemas transparentes/translúcidos de alto desempenho** aborda desenvolvimento e teste de vidros avançados (termocrômicos, eletrocrômicos etc.) no contexto climático brasileiro. Tem uma linha de PD&I.

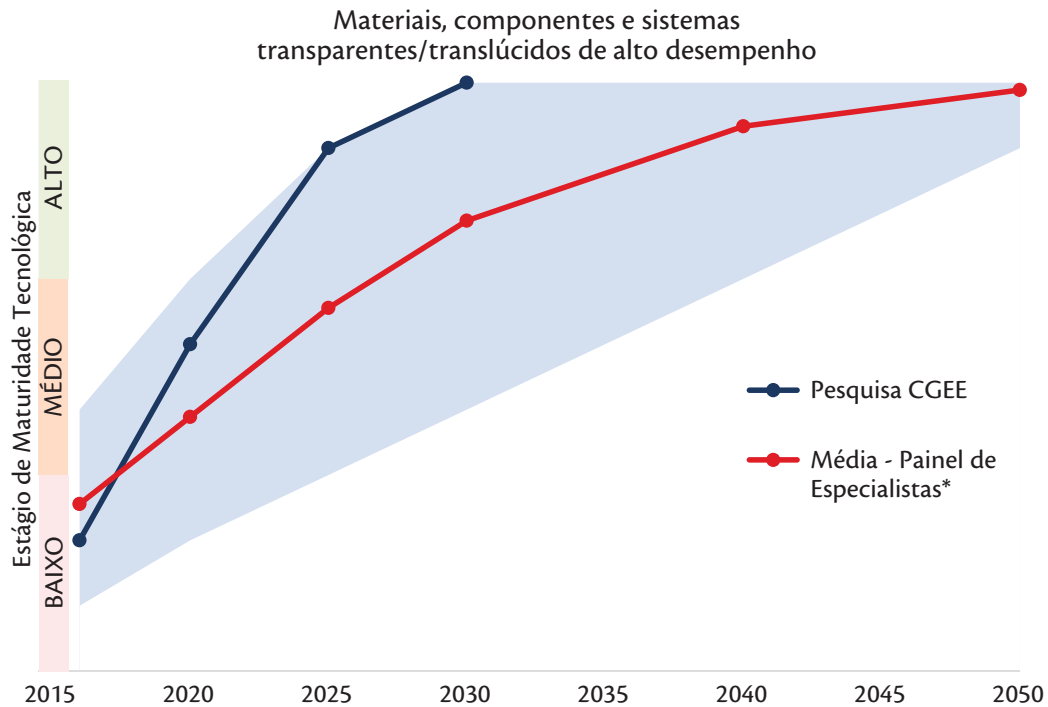


Gráfico 20 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Materiais, Componentes e Sistemas Transparentes/Translúcidos de Alto Desempenho

Fonte: Elaboração própria.

Rota – Materiais, componentes e sistemas opacos de alto desempenho

A rota **materiais, componentes e sistemas opacos de alto desempenho** inclui estudo e teste de materiais e revestimentos reflexivos para resfriamento e proteção solar, como tintas ou revestimentos reflexivos para coberturas e paredes, além de materiais com propriedades variáveis e *phase change materials* (PCM).

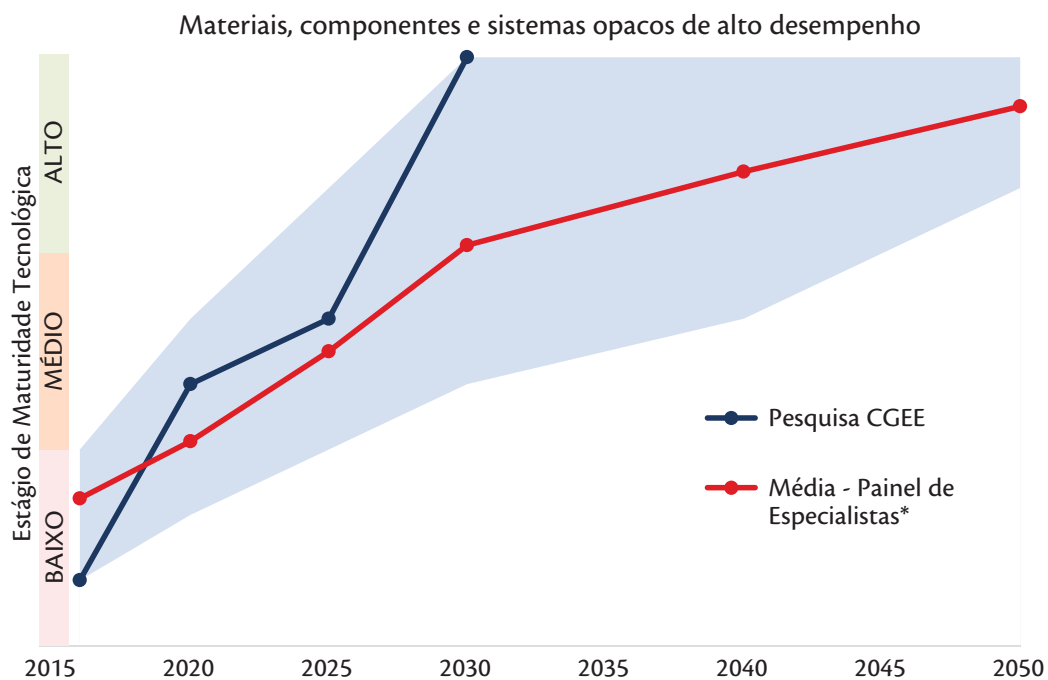


Gráfico 21 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Materiais, Componentes e Sistemas Opacos de Alto Desempenho

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 18.



Tabela 18 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Materiais, Componentes e Sistemas Transparentes/Translúcidos de Alto Desempenho e Materiais, Componentes e Sistemas Opacos de Alto Desempenho

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Temática Materiais, Componentes e Sistemas Avançados	Materiais, componentes e sistemas transparentes/translúcidos de alto desempenho	Fatores portadores de futuro	Materiais desenvolvidos	Técnicas de fabricação avançadas em operação	Fomento à melhoria de tecnologias de materiais e de fabricação		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		
	Materiais, componentes e sistemas opacos de alto desempenho	Fatores portadores de futuro	Materiais desenvolvidos	Estudos de novas técnicas de fabricação avançadas	Técnicas de fabricação avançadas em operação	Fomento à melhoria de tecnologias de materiais e de fabricação	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

3.3.6. Temática: Ambiente urbano

Esta temática estuda o urbanismo e sua interação com a edificação, assim como os impactos das edificações no contexto urbano, no sentido de otimizar os resultados de eficiência no âmbito da cidade. Dessa maneira, considera os impactos da edificação no urbano e do desenho e planejamento urbano na edificação.

Roadmap tecnológico

Rota – Urbanismo eficiente

A rota **urbanismo eficiente** compreende estudos sobre planejamento e desenho urbano eficientes (orientação, implantação, afastamentos, gabarito, forma, uso do solo, zoneamento etc.), visando ao

aproveitamento dos recursos naturais (ventos, sol, luz) para climatização passiva, iluminação natural e produção de energia na edificação.

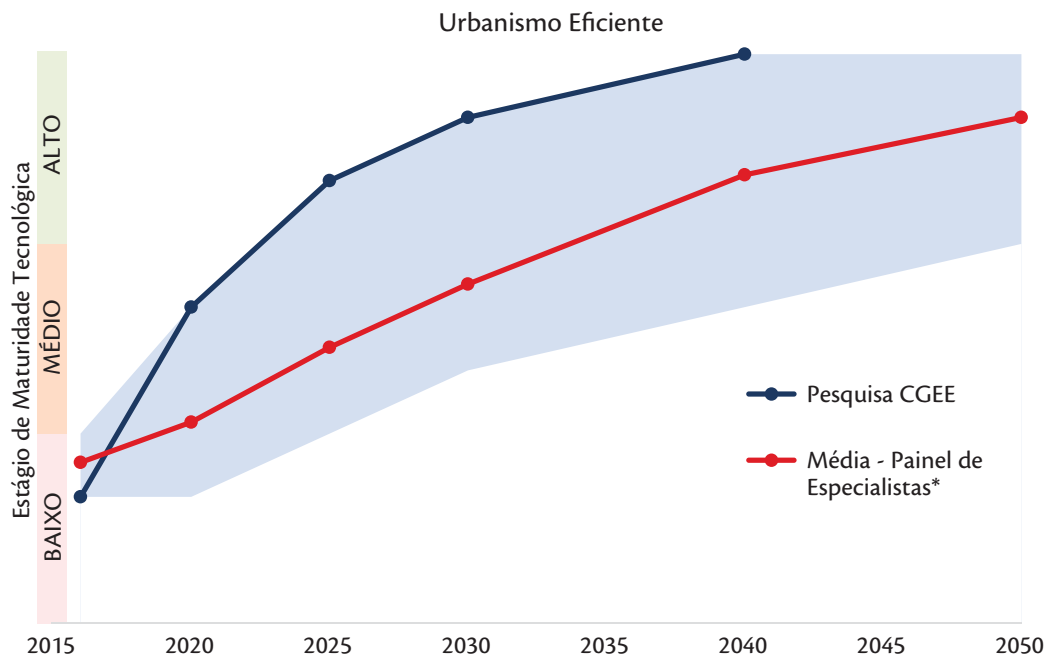


Gráfico 22 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Urbanismo Eficiente

Fonte: Elaboração própria.

Rota – Microclimas, ilhas de calor e mudanças climáticas

A rota **microclimas, ilhas de calor e mudanças climáticas** aborda, por sua vez, o impacto das edificações na formação dos microclimas e das ilhas de calor das cidades e as consequentes mudanças climáticas advindas.

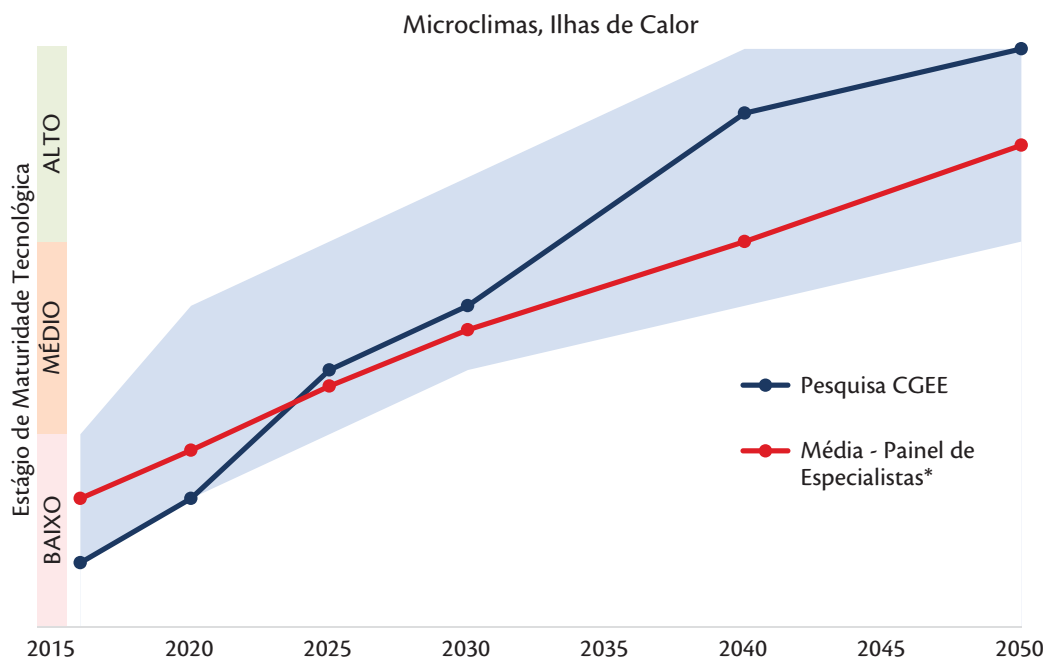


Gráfico 23 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Microclimas, Ilhas de Calor e Mudanças Climáticas

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 19.

Tabela 19 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Urbanismo Eficiente e Microclimas, Ilhas de Calor

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Temática Ambiente Urbano	Microclimas, ilha de calor	Fatores portadores de futuro	Aprimoramento de ferramentas para o mapeamento das zonas climáticas em cidades	Medição das propriedades psicrométricas das regiões e novas metodologias de gerenciamento de banco de dados para simulações computacionais sobre edificações.	Desenvolvimento de novos materiais com foco na eficiência energética de edificações (conservação de calor e mitigação do uso da energia elétrica)	Aprimoramento de sistemas computacionais com foco na caracterização das condições climáticas das cidades (caracterização dos microclimas e ilhas de calor)	Fomento ao melhoramento contínuo dos processos de medição e caracterização das condições climáticas
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO
	Urbanismo eficiente	Fatores portadores de futuro	Criação de metodologias de etiquetagem de edificações eficientes. Desenvolvimento de novas arquiteturas eficientes	Desenvolvimento de sistemas computacionais (modelagem matemática, métodos computacionais, hardware, software, técnicas experimentais e uso de inteligência artificial e cibernética) com foco no desenvolvimento de edificações eficientes, novos desenhos, materiais e métodos de construção	Fomento ao melhoramento contínuo das tecnologias e métodos com foco nas questões urbanísticas eficientes		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



3.3.7. Temática: Caracterização e certificação de edificações eficientes

Esta temática busca caracterizar materiais e componentes da edificação, além de fomentar pesquisas para a elaboração de critérios e indicadores para a certificação/etiquetagem de edificações eficientes no país.

Agrupamento de rotas I

Roadmap tecnológico

Rota - Sistemas de certificação e/ou etiquetagem energética de edifícios

A rota **sistemas de certificação e/ou etiquetagem energética de edifícios** concentra-se em estudos para elaboração de critérios, indicadores, métodos e ferramentas para a certificação e/ou etiquetagem de eficiência energética de edifícios, baseados no contexto e nas necessidades brasileiras.

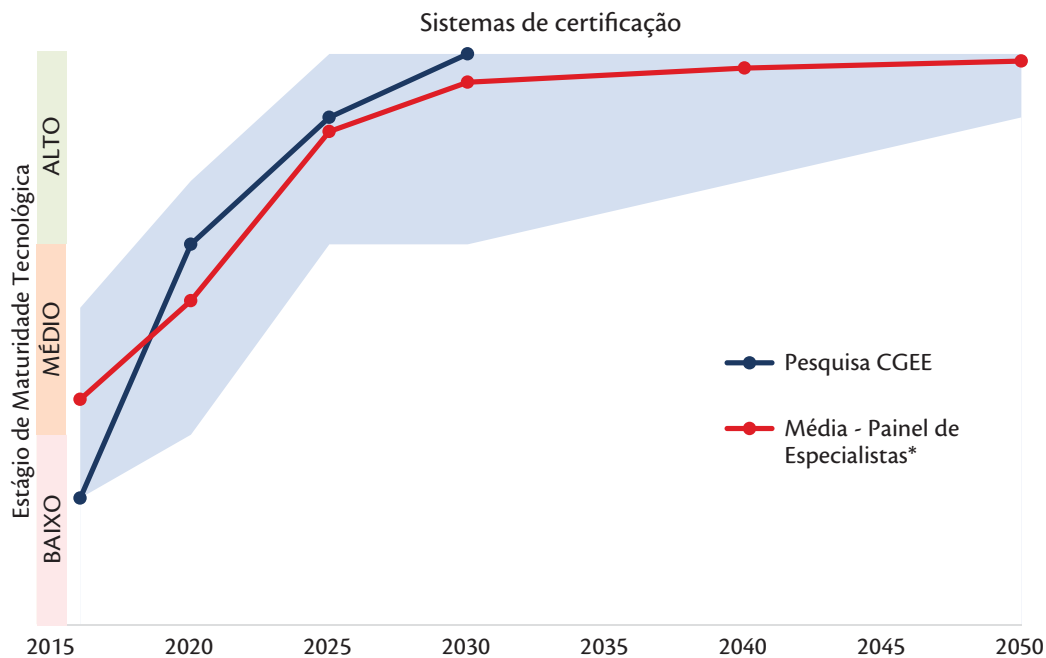


Gráfico 24 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistemas de Certificação

Fonte: Elaboração própria.

Rota – Metodologias para otimização de bases de dados

A rota **metodologias para otimização de bases de dados** consolida metodologias para caracterização de consumos e usos finais de várias tipologias de edificações nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, além de dados climáticos.

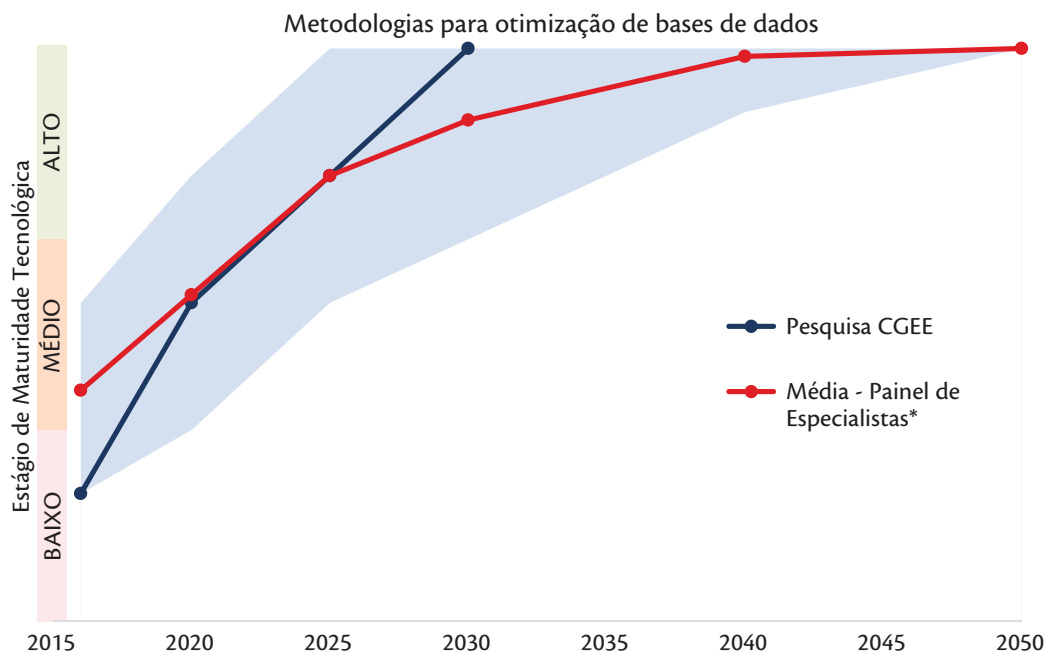


Gráfico 25 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias para Otimização de Bases de Dados

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 20.



Tabela 20 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Sistemas de Certificação e Metodologias para Otimização de Bases de Dados

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Temática Caracterização e Certificação	Metodologias para otimização de bases de dados	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados em sistemas de base de dados	Tecnologias de TI com elevada capacidade de processamento e armazenamento de dados e novos softwares de gerenciamento de dados com interfaces amigáveis	Fomento ao desenvolvimento contínuo de softwares e hardwares dedicados ao processamento e armazenamento de banco de dados		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		
	Sistemas de certificação	Fatores portadores de futuro	Estratégia avançada para a caracterização de edificações com foco em certificações para eficiência energética. Políticas ao desenvolvimento de centros de certificação e fomento à formação de RH	Tecnologias de TI e metrológicas desenvolvidas para os trabalhos de certificação. Plano de negócios desenvolvido para promover o mercado de certificação.	Fomento contínuo às atividades de certificação e fomento ao desenvolvimento de tecnologias do segmento de certificação.		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de rotas II

Roadmap tecnológico

Rota – Caracterização de materiais

A rota **caracterização de materiais** compreende estudos laboratoriais para mensuração de propriedades ópticas e/ou termofísicas e a consequente classificação de materiais construtivos.

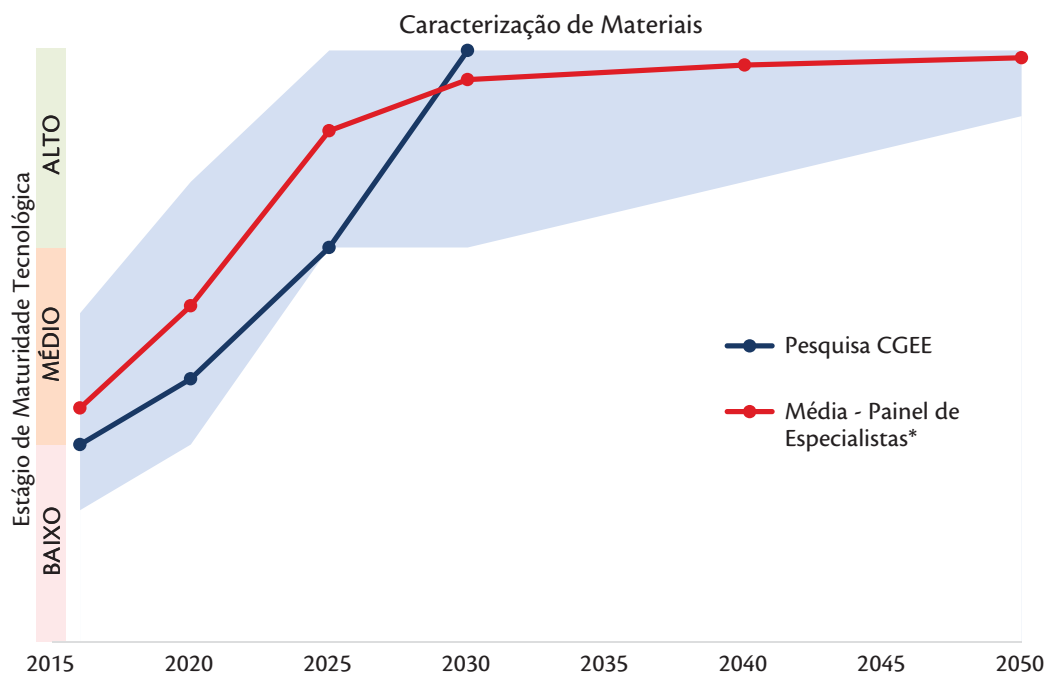


Gráfico 26 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Caracterização de Materiais Construtivos

Fonte: Elaboração própria.



Rota – Análise do ciclo de vida energético

A rota **análise do ciclo de vida energético** mapeia o gasto energético de uma edificação.

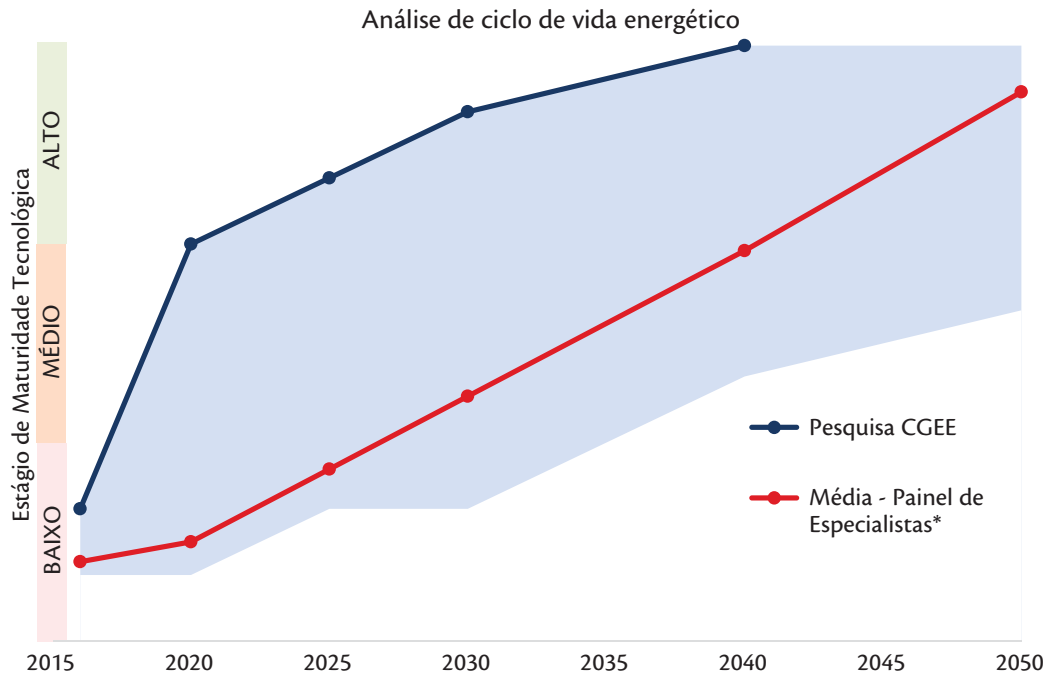


Gráfico 27 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Análise do Ciclo de Vida Energético

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 21.

Tabela 21 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas
 Caracterização de Materiais e Análise do Ciclo de Vida Energético

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Temática Caracterização e Certificação	Caracterização de materiais	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre certificação de materiais eficientes e de elevada confiabilidade para edificações e caracterização química e física dos materiais envolvidos na construção de edificações.	Laboratórios com elevada tecnologias para os processos de certificação de materiais	Fomento à manutenção dos estudos sobre certificação e à manutenção dos laboratórios		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		
	Análise de ciclo de vida energético	Fatores portadores de futuro	Padrões de referência para análise de ciclo de vida energético estabelecidos	Metologia matemática fundamentada para análise de ciclo de vida energético (quanto de energia foi gasto ao longo da vida de uma edificação).	Fomento à evolução contínua da metodologia		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.



3.4. Priorização

Tabela 22 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Edificações Eficientes

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Metodologia para otimização de bases de dados	Caracterização e certificação
2	Caracterização de materiais	Caracterização e certificação
3	Qualidade ambiental, conforto térmico e luminoso	Integração do usuário
4	Sistemas de certificação	Caracterização e certificação
5	Operação, manutenção, automação e controles	Integração do usuário
6	Condicionamento passivo	Arquitetura bioclimática
7	Iluminação natural	Arquitetura bioclimática
8	Iluminação artificial	Tecnologias ativas
9	Aquecimento e resfriamento eficientes (ar e água)	Tecnologias ativas
10	Energias renováveis	Tecnologias ativas
11	Processo de projeto	Projeto eficiente integrado
12	Simulação computacional	Projeto eficiente integrado
13	Integração de sistemas	Projeto eficiente integrado
14	Materiais, componentes e sistemas transparentes/translúcidos de alto desempenho	Materiais, componentes e sistemas avançados
15	Materiais, componentes e sistemas opacos de alto desempenho	Materiais, componentes e sistemas avançados
16	Microclimas/ilhas de calor	Ambiente urbano
17	Urbanismo eficiente	Ambiente urbano
18	Análise do ciclo de vida energético de materiais	Caracterização e certificação
19	Envoltórias dinâmicas	Tecnologias ativas

Fonte: Elaboração própria.

01. **Metodologia para otimização de bases de dados:** a rota que cria metodologias para as bases de dados climáticos, de dados sobre consumos de diversas tipologias em vários climas, do parque edificado nacional, é a base para quaisquer outras rotas, por exemplo, desenvolvimento de sistemas de certificação;
02. **Caracterização de materiais:** a caracterização laboratorial de materiais de construção é fundamental para ancorar o desenvolvimento da etiquetagem e sistemas de certificação;
03. **Qualidade ambiental, conforto térmico e luminoso:** a definição e consolidação de critérios de qualidade e conforto ambiental **é fundamental** para ancorar o desenvolvimento da etiquetagem e sistemas de certificação;
04. **Sistemas de certificação:** os sistemas de certificação devem ser desenvolvidos e consolidados para aplicação no parque construído brasileiro.

Em seguida, devem ser desenvolvidas as rotas relativas aos sistemas passivos e ativos mais convencionais da edificação, juntamente com os sistemas de automação e a incorporação de energias renováveis na edificação:

05. **Operação, manutenção, automação e controlos;**
06. **Condicionamento passivo;**
07. **Iluminação natural;**
08. **Iluminação artificial;**
09. **Aquecimento e resfriamento eficientes (ar e água);**
10. **Energias renováveis;**

A seguir, priorizam-se as rotas relacionadas ao projeto e à simulação computacional como parte integrante desse processo eficiente. A rota **integração de sistemas** pressupõe o ápice da integração de todas as rotas e, portanto, vem em seguida na priorização:

11. **Processo de projeto;**
12. **Simulação computacional;**
13. **Integração de sistemas;**



Na sequência, devem ser priorizadas rotas relativas ao desenvolvimento de materiais, componentes e sistemas de alto desempenho. São rotas a serem desenvolvidas no longo prazo, devido à baixa maturidade.

14. **Materiais, componentes e sistemas transparentes/translúcidos de alto desempenho;**
15. **Materiais, componentes e sistemas opacos de alto desempenho;**

Como prioridade final, estudos sobre o impacto das edificações no meio urbano e urbanismo sustentável, rotas consideradas bem pouco maduras atualmente. E, finalmente, a rota de análise do ciclo de vida energético de materiais e envoltórias dinâmicas, ainda bem pouco maduras também.

16. **Microclimas/ilhas de calor;**
17. **Urbanismo eficiente;**
18. **Análise do ciclo de vida energético de materiais;**
19. **Envoltórias dinâmicas.**



Capítulo 4



Capítulo 4

Macrotemática indústria

A indústria é responsável por cerca de 34% do total do consumo de energia elétrica do país, com 573 mil unidades consumidoras industriais. Para a garantia do crescimento do setor industrial, é necessário eliminar desperdícios, incrementando o aproveitamento do uso da energia. Além disso, serão necessários investimentos no suprimento de energia elétrica, em geração, transmissão e distribuição.

A melhoria em eficiência energética na indústria pode correr por meio da utilização de fontes alternativas de energia e de ações para o uso racional dos recursos produtivos durante o processo de manufatura. A inclusão da variável de consumo de energia em planejamento de processos e desenvolvimento de produtos também é fator preponderante para o aumento da eficiência energética.

Para atender às premissas do projeto de P&D “Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica”, são apresentadas, na Figura 2, a macrotemática e as temáticas abordadas no projeto. O propósito é identificar, no setor da indústria, linhas de pesquisas que possam, por meio de PD&I, contribuir para o avanço tecnológico do setor industrial em eficiência energética de produtos e processos industriais. No total, são três temáticas com as seguintes distribuições:

- a) **Uso de energia**
 - I) Motores elétricos;
 - II) Sistemas térmicos;
 - III) Sistema de resfriamento e refrigeração;
 - IV) Processos de separação;
 - V) Processos termo e eletroquímicos;
 - VI) Sistemas de ar comprimido;
 - VII) Uso de resíduos industriais;
 - VIII) Sistema de bombeamento;

- IX) Sistema de transporte de massa;
- X) Sistema de ventilação.

b) Gestão de energia

- I) Padrões, normas e regulamentos;
- II) Sistema de supervisão e controle de energia;
- III) Indicadores e *benchmark*;
- IV) Avaliação de resultado de programas de eficiência energética na indústria.

c) Tecnologias de integração

- I) Gerenciamento pelo lado da demanda;
- II) Compartilhamento energético em complexos industriais;
- III) Integração de fontes energéticas dentro da unidade industrial.

4.1. Visão de futuro

4.1.1. Cenário setorial

O setor industrial é responsável por mais de um terço do consumo mundial de energia (IEA, 2015) e por 33,9% do total de energia produzida no Brasil (EPE, 2015). Em empresas de manufatura discreta, os custos relacionados ao consumo de energia representam de 6% até 8% do total, podendo chegar a 20% (HUIJBREGTS et al., 2010).

Segundo EPE (2016), o consumo de eletricidade terá aumentado sua participação na matriz de consumo energético industrial até o ano 2050. Um efeito que contribui para isso são os maiores ganhos de eficiência energética no uso térmico, o que reduz o impacto na quantidade de combustíveis na matriz energética. Dessa forma, estima-se que a eletricidade atinja aproximadamente 22% em 2050 dos atuais 20% do consumo industrial, com cerca de 520 TWh consumidos ao final do período em estudo, sendo parte suprida pela rede elétrica e o restante pela autoprodução (NOTA TÉCNICA DEA 13/15 - Demanda de Energia 2050, 2016).

Em recentes estudos, CGEE (2016) estima que, para 2050, a evolução da demanda de energia elétrica deve estar entre 400 GW e 480 GW em capacidade instalada em função da composição da matriz energética para atender o problema da ponta.

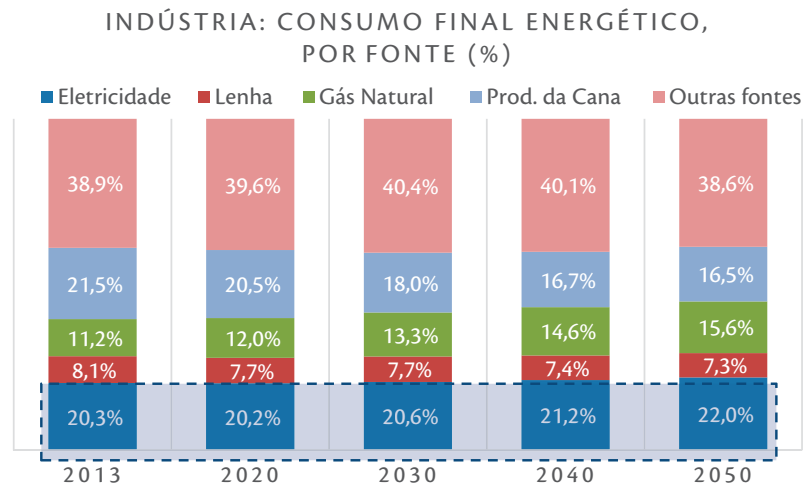


Figura 2 - Consumo Final Energético

Fonte: Adaptação do Relatório EPE Demanda de Energia 2050 (EPE, 2016)

O CGEE (2016) também estima crescimento nas ações de eficiência energética no decorrer das décadas até 2050. A expectativa é que o tema permaneça abrangente, conforme ocorre hoje na Europa. Para 2030, o Brasil, com base no consumo de 2015, tem o compromisso de reduzir a demanda por energia elétrica em 10% por meio de ações de uso racional da energia.

Segundo EPE (2016), no *Relatório de Demanda de Energia 2050*, foram projetados ganhos em eficiência energética na faixa de 17% do consumo total de eletricidade no final de 2050. Esse ganho representa redução de 43 GW médio na geração, ou seja, próximo de cinco vezes a garantia física da usina de Itaipu. O estudo foi fundamentado em rendimentos energéticos de eletricidade, por segmento de consumo, de acordo com o BEU, do Ministério de Minas e Energia.

4.1.2. Objetivo geral

O objetivo geral é desenvolver, pesquisar e propor inovação para os setores industriais que tenham maior impacto na análise global do fluxo energético. Propor abordagem estratégica e sistematizada, com métodos específicos para resolução dos problemas e aperfeiçoamento de processos focados na redução dos custos de manufatura, consequentemente melhorando a eficiência no sistema energético do setor.

Entende-se por eficiência energética, em termos de conservação de energia, sistema ou processo eficiente que possibilita a redução de perdas, otimiza o uso da energia de entrada e se relaciona a:

redução de consumo de energia, conservação do meio ambiente (redução da emissão de GEE e outros poluentes), segurança energética (redução de dependência de importação de fontes de energia de outros países), redução de custos (tanto para o fornecedor quanto para o usuário final), expansão econômica e criação de empregos (SCHNAPP et al., 2012).

4.1.3. Objetivo específico

Curto prazo (2017-2020):

Elaborar critérios para desenvolvimento de estudos de normas, padrões e regulamentos para valorização do sistema de gestão de energia.

- Desenvolver metodologias para obtenção de índices não paramétricos de produtividade com entrada orientada para energia;
- Desenvolver normas para incluir sensor de pressão na entrada e saída da voluta; sensor de temperatura para ar de admissão e sensor de pressão, temperatura e vazão na saída do ar comprimido;
- Desenvolver sistema para sensoriamento não invasivo, rotores e volutas de alto rendimento, revestimentos e aditivos para redução de arrastos;
- Elaborar critérios para construção de indicadores de programas de eficiência energética e viabilizar, por meio de *softwares* inteligentes para monitoramento dos indicadores, a tomada de ação em tempo real;
- Promover estudos para desenvolvimento de novas técnicas nos dispositivos de troca de calor, mais eficientes que os convencionais utilizados na indústria.

Médio prazo (2020-2030):

- Estudar e desenvolver dispositivo mais eficiente para torres de resfriamento, com menor consumo de água, utilizado em sistema de refrigeração;
- Promover a integração de recursos renováveis, utilizando ferramentas da inteligência computacional e técnicas de previsão de desenvolvimento de metodologia e ferramentas de aproveitamento energético dentro em uma planta industrial;



- Desenvolver sistema de transporte mais eficiente utilizando correias transportadoras, bombeamento de polpa e mineroduto, com vistas a reduzir o consumo de energia em uma planta industrial;
- Desenvolver sistemas para acionamento eletrônico de motores elétricos, utilizando dispositivos inteligentes integrados à indústria 4.0;
- Desenvolver *software* e *hardware* para recondicionamento de motores.

Longo prazo (2030-2050):

- Estudar e aprimorar modelagem e simulação para desenvolver colunas de destilação para separação de componentes reacionais de combustíveis;
- Promover a sistemática de leilão, precificação, metodologia de critérios de intervenção do ONS nas cargas industriais, estudo de impacto da redução da carga sobre os sistemas elétricos regionais;
- Estudar e desenvolver processos de separação por membranas, absorção, separação líquido-líquido, separação magnética;
- Desenvolver e/ou aprimorar processos de redução de perdas de materiais em eletrólise e em fundição;
- Aprimorar e desenvolver novas metodologias não invasivas para detecção de vazamentos, além da metodologia de monitoramento e manutenção preditiva de sistema de ar comprimido;
- Desenvolver *software* baseado em programação genética e inteligência computacional para monitoramento de perdas na rede de ar comprimido;
- Desenvolver e/ou aprimorar medidor inteligente de baixo custo para auxiliar no monitoramento de perdas de água industrial.

4.1.4. Fundamentação

A análise de eficiência energética em aplicações industriais é uma questão relacionada a uma ampla gama de assuntos que abrange todo o ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima, passando pelos processos de produção e logística, até a fase de gerenciamento de fim de vida.

Por isso, muitas das atuais ferramentas que incidem sobre o consumo de energia ou são muito amplas (p.ex., *life cycle assessment* - LCA, em que o consumo de energia é considerado em um nível

muito alto, sobre todo o ciclo de vida do produto), ou são muito simplistas (p.ex., *cumulative energy demand* - CED, em que o consumo de energia é atribuído à média do peso do material processado). Isso destaca a necessidade de modelagem detalhada do consumo de energia para cada nível da cadeia produtiva: nível empresarial, nível de instalações, nível de produção, nível de máquinas e nível de processo. Assim, para obter resultado expressivo e com maior assertividade, introduzir a modelagem detalhada do consumo de energia para cada nível da cadeia produtiva direciona o resultado para uma busca mais eficaz nas ações a serem tomadas no processo.

4.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Os itens a seguir apresentam o cenário geral desta 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 as métricas direcionadas para a evolução tecnológica, há necessidade de incrementar o desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* no setor industrial para auxiliar nas tomadas de decisão nos níveis estratégico, tático e operacional (COSTA et al., 2015). Para Borschiver e Naveiro (2011), a incorporação de tecnologias nos sistemas de automação busca ampliar a capacidade computacional dos dispositivos de processamento embarcados; desenvolver novas formas de comunicação industrial e novas formas de gerenciamento de informações da produção por meio de sistemas especializados. Dessa forma, há expectativa de que o avanço desse processo seja gradativo entre 2020 e 2050.

Outra oportunidade identificada ainda na evolução tecnológica refere-se a criação e/ou incremento de novos mecanismos de fomentos para elaboração de métodos e ferramentas no desenvolvimento de produtos. Para tanto, baseando-se no princípio da interdependência, em que existem ações, ainda que autônomas, que visam ao mesmo objetivo, o governo pode interagir por meio de políticas públicas e ações governamentais, proporcionando a evolução gradual da métrica até 2050 (FACCIN; BALESTRIN, 2015).

Existem questões voltadas para estratégia setorial, cujas dimensões de análises estão atreladas às ações do governo federal quanto a desenvolvimento/melhorias da regulação, governança e incentivos aplicados à PD&I da indústria. Para tanto, sugere-se a elaboração de práticas adotadas em outros países desenvolvidos, como a política industrial da União Europeia (EU), especificamente orientada para (GOUARDÈRES, 2016):



01. Acelerar a adaptação da indústria às alterações estruturais;
02. Incentivar um ambiente favorável à iniciativa e ao desenvolvimento das empresas do conjunto da União e nomeadamente das pequenas e médias empresas;
03. Incentivar um ambiente favorável à cooperação entre empresas;
04. Fomentar melhor exploração do potencial industrial das políticas de inovação, de investigação e de desenvolvimento tecnológico.

Ainda conforme Gouardères (2016), é preciso reforçar a indústria nacional em prol do crescimento e da recuperação econômica, com ações da política industrial, destinadas ao apoio de investimentos na inovação, com foco em áreas prioritárias e de grande potencial, como tecnologias de fabricação avançada com vista a uma produção limpa; bioprodutos; política industrial, de construção e de matérias-primas mais eficientes e sustentáveis; no desenvolvimento de veículos e embarcações limpos e nas redes inteligentes. Sem esquecer de melhorar as condições de mercado, de acesso ao financiamento e ao capital, de investimento em capital humano e em competências como meio de promover a competitividade da indústria.

Há pontos-chave focados no desenvolvimento socioambiental, na produção e estruturação de pesquisas científicas, além da análise sobre o mercado nacional na ótica da indústria.

Segundo Coser et al. (2016), ações implementadas para o desenvolvimento do setor industrial, atreladas ao resultado do impacto socioambiental, favorecem a compatibilização do desenvolvimento socioeconômico e permitem estabelecer critérios e padrões na qualidade ambiental e na definição de áreas prioritárias para ação governamental em todas as esferas sociais e políticas. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) desempenha importante papel na obrigatoriedade e no estímulo do desenvolvimento sustentável, pois é a autoridade máxima na hierarquia jurídica brasileira.

Referente ao desenvolvimento de pesquisas aplicadas e estruturas voltadas para CT&I, há no Brasil agentes para investimento em pesquisas e formação de capital humano, como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), entre outros. Pela política industrial e produtiva, atrelada ao Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), instituições como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) são os incentivadores de desenvolvimento nessa área.

O CGEE (2011) mostra que ações como criação de mecanismos de atração eficazes, por meio de propostas de editais de projetos que demandam contrapartida dos estados, seriam uma oportunidade para alavancar as pesquisas e estruturas do CT&I, além de promover a integração entre as unidades da Federação (UF), proporcionando o *benchmarking* entre entidades nacionais e internacionais.



Figura 3 - Níveis da Cadeia Produtiva

Fonte: GOMES, 2015

Outro item a ser analisado é a cadeia produtiva. As soluções voltadas para eficiência energética devem ser realizadas em todos os níveis da cadeia produtiva, mesmo que as gerações e aplicações de ferramentas sejam distintas. No estudo, são apresentados cinco níveis distintos de aplicação: empresarial, de instalações, de produção, de máquinas e de processo. Mesmo que as análises possam ocorrer independentes, a eficiência energética da cadeia produtiva estará atrelada ao consumo específico em que os níveis estarão contidos.

Nesse sentido, a energia consumida no nível empresarial está relacionada às várias interações que ocorrem além dos muros da fábrica, entre a cadeia de suprimentos e o sistema logístico de produtos acabados. A localização do fornecedor de materiais exerce grande influência na



quantificação de energia relacionada às matérias brutas, principalmente quando o transporte de altas quantidades de materiais é realizado por longas distâncias.

No terceiro nível - de produção (nível de células de manufatura) -, o fluxo de energia está relacionado aos parâmetros definidos para as atividades de planejamento e gerenciamento da produção, ao transporte de materiais em processamento e às atividades de manutenção. O consumo de energia no nível de máquinas é influenciado pelas características dos equipamentos utilizados (componentes e sistemas).

Alguns estudos afirmam que 90% dos impactos ambientais atribuídos às máquinas ferramentas estão relacionados ao consumo de energia na fase de uso. Outros autores atribuem esses impactos às fases de projeto e de fabricação das máquinas. Dessa forma, as pesquisas nessa área buscam sistematizar a análise para medições de consumo de energia na fase de uso e elaborar inventários que possibilitem quantificar a energia atribuída à fase de projeto. No nível de processo, a energia consumida refere-se à efetiva transformação de matéria bruta em produto. Diferentes métodos têm sido desenvolvidos para a obtenção do consumo de energia em variados processos.

4.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

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

4.3.1. Temática: Uso de energia

Agrupamento de rotas I

Roadmap tecnológico

Rota - Motores elétricos

Analisando o desenvolvimento das máquinas elétricas através da história e o seu atual estágio tecnológico, percebe-se que houve grande evolução no rendimento, na eficiência e no fator de potência, o que leva a pressupor que não há muito mais o que melhorar. Entretanto, observa-se uma lacuna no desenvolvimento de novos materiais para construção dos motores elétricos, permitindo

melhorar ainda mais sua eficiência, como novos isolantes, tipos de condutores para altas temperaturas etc. Dessa forma, promover o aprimoramento de motores elétricos com foco no consumo e no desempenho são premissas futuras, assim como os sistemas de transmissão de alta eficiência e dispositivos conduzidos pelos motores elétricos, como rotores de turbina, bombas e ventiladores.

O desenvolvimento de materiais com alto desempenho, novas tecnologias para produção de ímãs mais eficientes, assim como novos métodos para diminuição do atrito, serão os pontos fortes para o avanço desses setores, aliados ao aumento da produção de motores elétricos em substituição aos motores de combustão interna, em virtude do aumento da produção de carros elétricos.

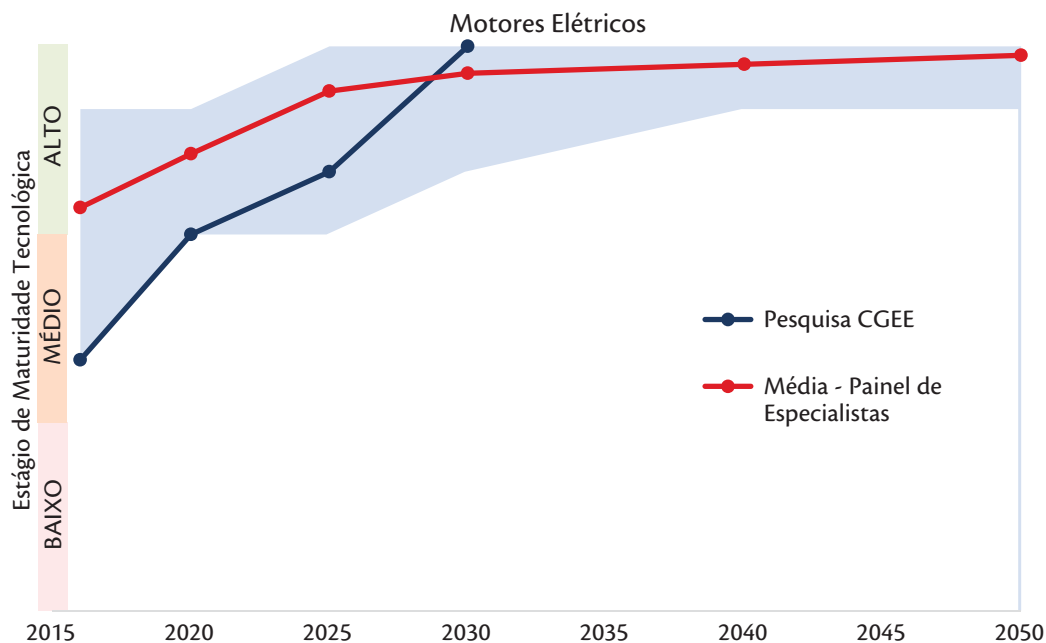


Gráfico 28 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Motores Elétricos

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Sistemas térmicos

Desenvolvimento de fornos e sistemas térmicos de aquecimento industrial mais eficientes por meio de P&D em materiais, com aplicação de novas tecnologias de combustores de alta performance e baixos consumo e emissão de poluentes em conjunto de técnicas de controles mais eficientes e que permitam um melhor desempenho do sistema.



As geradoras de vapor continuarão desempenhando papel fundamental na indústria com a otimização de seu processo mediante utilização de coletores de energia solar para aquecimento de água que servirão como fonte primária para o aumento de energia do sistema de produção de calor. Haverá também vários tipos de fornos a combustão, elétricos e equipamentos auxiliares, todos necessitando de sistemas de isolamento, com foco no desenvolvimento e no aproveitamento do poder calorífico dos combustíveis utilizados.

As novas tecnologias de monitoramento auxiliarão esse setor tanto nos processos de controle quanto no gerenciamento de produção e de manutenção dos equipamentos utilizados. Com o avanço do conceito da indústria 4.0, os novos equipamentos seguirão a tendência de otimizar as informações, gerando informações importantes para o processo, desde parametrização de componentes, dados de produção e ferramentas de diagnóstico, proporcionando agilidade nas resoluções de eventuais problemas que tenderão a existir.

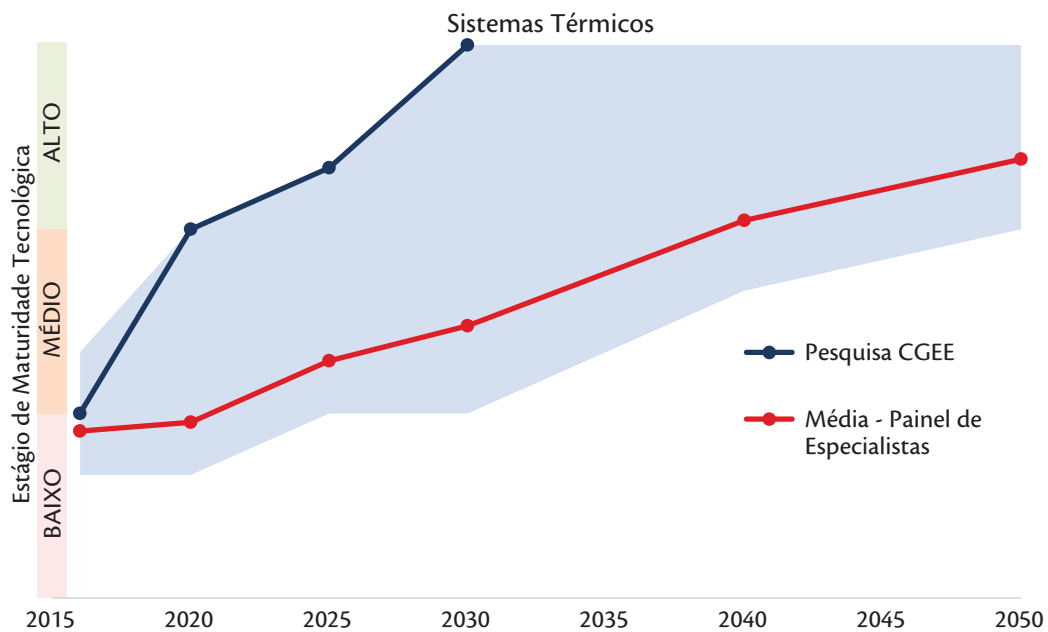


Gráfico 29 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistemas Térmicos

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Sistema de resfriamento e refrigeração

Sistemas de resfriamento e de refrigeração proporcionaram grandes avanços para a civilização moderna, possibilitando o armazenamento de alimentos em diferentes climas (MATOS, 2016). Considerando alguns ramos industriais, como alimentício, gráfico, químico, laboratoriais, entre outros, esses sistemas desempenham papel fundamental no desenvolvimento desses setores.

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), de 70% a 80% dos custos das instalações de refrigeração industrial são oriundos da energia elétrica. Como melhoria, a utilização de controle de automação, com uso de inversores de frequência em compressores, possibilitou avanço nos controles relacionados a eficiência energética.

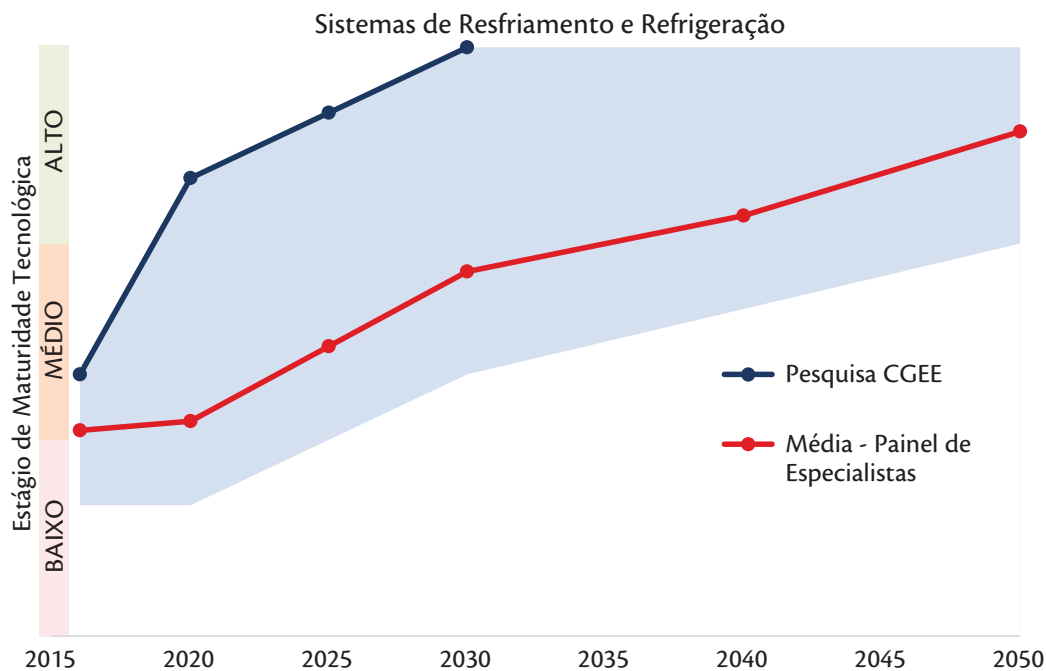


Gráfico 30 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Resfriamento e Refrigeração

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 23.



Tabela 23 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Sistema de Resfriamento e Refrigeração, Sistemas Térmicos e Motores elétricos

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Uso de energia	Motores elétricos	Fatores portadores de futuro	Promover o aprimoramento de motores elétricos com foco no consumo e desempenho.		O desenvolvimento de materiais com alto desempenho, novas tecnologias para produção de ímãs mais eficientes.	Substituição aos motores de combustão interna.		
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			
	Sistemas Térmicos	Fatores portadores de futuro	Verificação de consumo e emissão de poluentes.		Otimização de processo por meio da utilização de coletores de energia solar para aquecimento de água.	Parametrização do processo.		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			
	Sistema de Resfriamento e Refrigeração	Fatores portadores de futuro	Mapeamento do processo de utilização.	Utilização de controle de automação.				
		Maturidade	MÉDIO	ALTO				

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de rotas II

Rota - Processos de separação

Desde o auge da Guerra Fria, as tecnologias de filtragem têm ganhado destaque (ULRICH, 2013), como roupas especiais, sistema de filtragem de fluidos líquidos e gasosos, não esquecendo os particulados. Essa tecnologia tem se firmado na indústria. Os sistemas de filtragem garantem a qualidade na produção, não permitindo que impurezas ou algum corpo estranho altere as propriedades do produto final.

Essas tecnologias permitem que pessoas acessem ambientes com alto grau de contaminação, com menor risco para sua segurança. Permitem que poluentes que seriam expelidos pelas chaminés das indústrias sejam retidos, assim como os produtos químicos, que, após tratamento, possam ser liberados nos rios sem causar problemas ambientais.

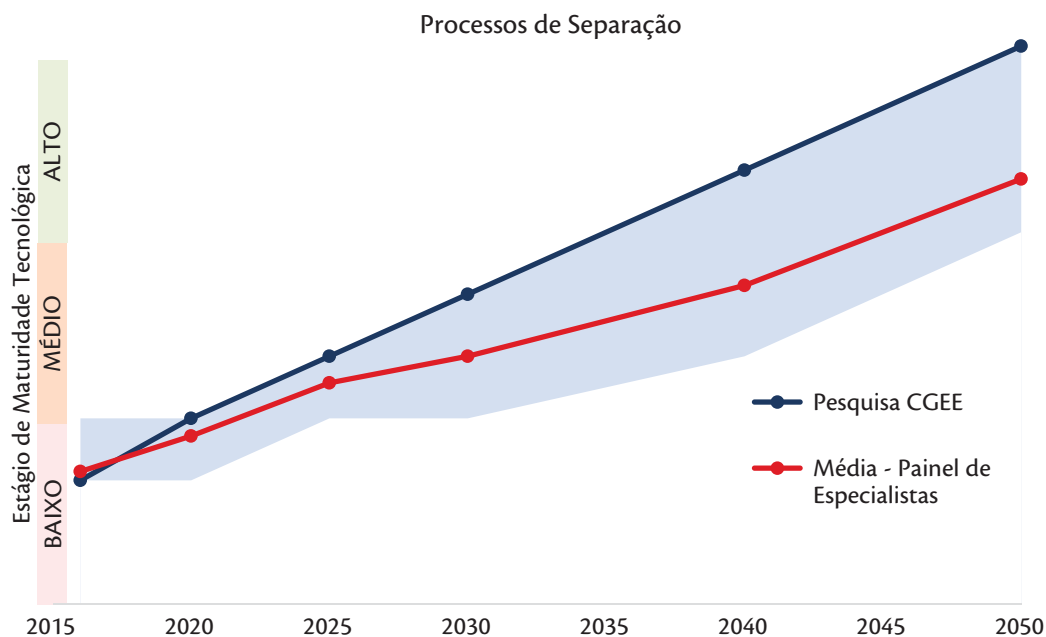


Gráfico 31 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Processos de Separação

Fonte: Elaboração própria.



Rota - Processos termo e eletroquímicos

Tanto para adição quanto para remoção de materiais, os processos termoquímicos e ou eletroquímicos são adequados, pois abrangem vasta gama de materiais metálicos (ferrosos e não ferrosos) e não metálicos. Estudos mostram o emprego desses processos até para o tratamento de efluentes, em que algumas substâncias podem sofrer o processo de oxidação eletroquímica para recuperação de metais.

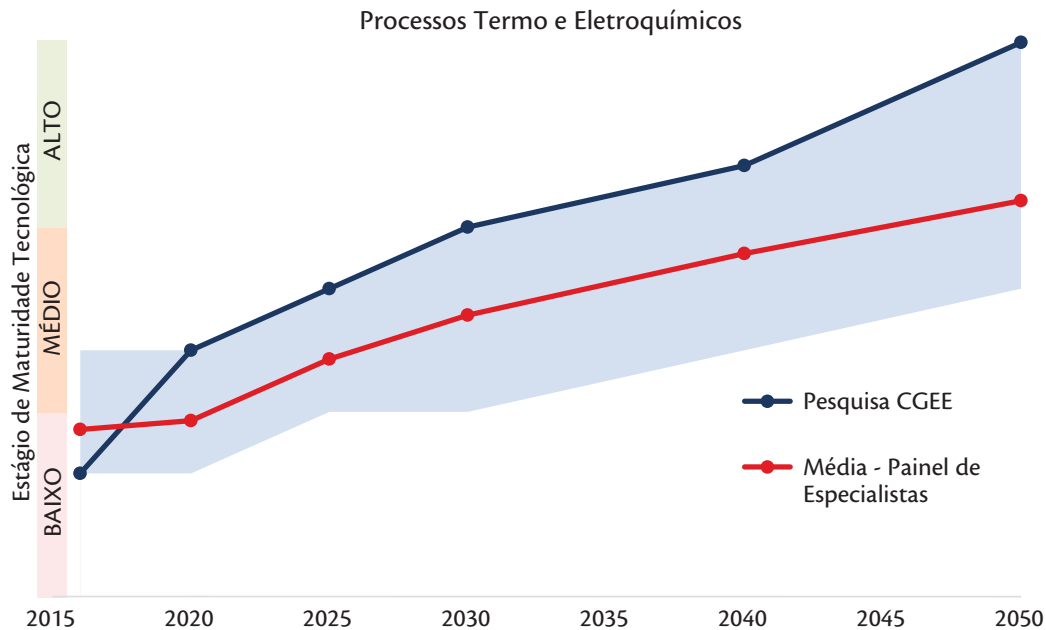


Gráfico 32 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Processos Termo e Eletroquímicos

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Sistemas de ar comprimido

Segmento da indústria muito bem consolidado, o setor de ar comprimido vem evoluindo cada vez mais. Compressores inteligentes, cuja operação é em função da demanda, já são uma realidade.

Equipamentos que verificam seu rendimento, consumo de energia e eventual falha serão realidade em qualquer indústria, pois os custos operacionais tenderão a diminuir em função dos avanços tecnológicos. Com a crescente procura por equipamentos mais eficientes, as empresas substituirão seus equipamentos obsoletos por sistemas mais confiáveis e mais econômicos.

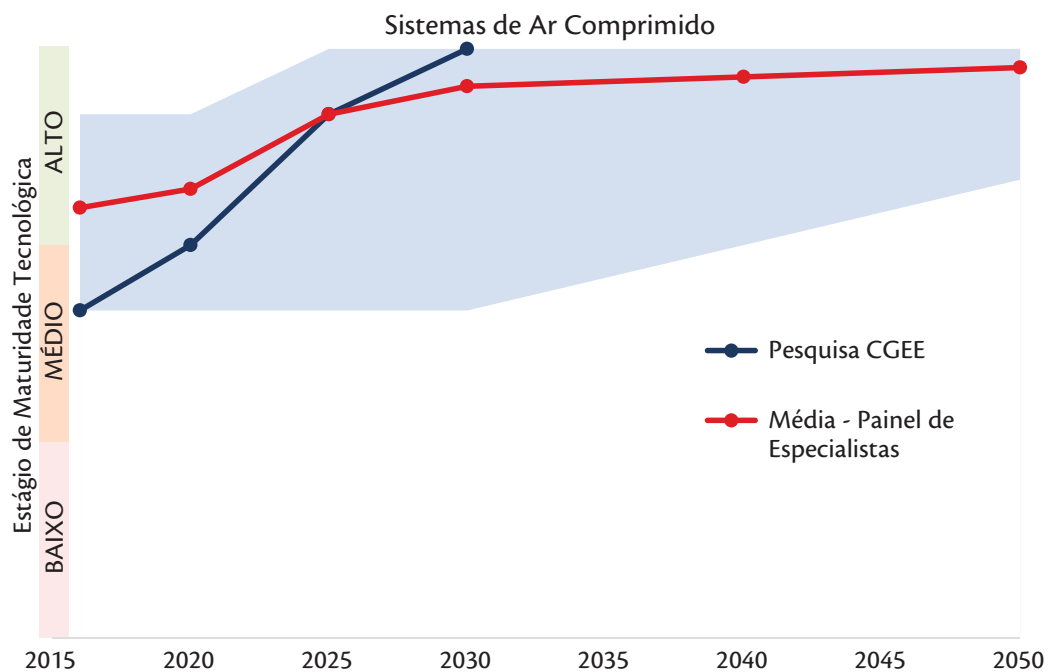


Gráfico 33 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistemas de Ar Comprimido

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 24.



Tabela 24 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Processos de Separação, Processos Termo e Eletroquímicos e Sistemas de Ar Comprimido

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Uso de energia	Processos de Separação	Fatores portadores de futuro	Verificação de impurezas e corpos estranhos que alterem as propriedades do produto			Otimização do processo de separação		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Processos Termo e Eletroquímicos	Fatores portadores de futuro	Adequação do processo para tratamento de efluentes					
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO			ALTO	
	Sistemas de Ar Comprimido	Fatores portadores de futuro	Avanço tecnológico de materiais					
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de rotas III

Roadmap tecnológico

Rota - Uso de resíduos industriais

Por meio de qualquer processo, método de fabricação e ou produção de determinado produto/ equipamento, em todos os seus estágios, haverá produção de resíduos. Por se tratar do ramo industrial, os resíduos devem ser obrigatoriamente tratados, tanto no transporte quanto na destinação final. Dependendo do processo de fabricação, os resíduos industriais são responsáveis pelas maiores agressões ao meio ambiente, podendo, se não tratados adequadamente, levar a grandes tragédias.

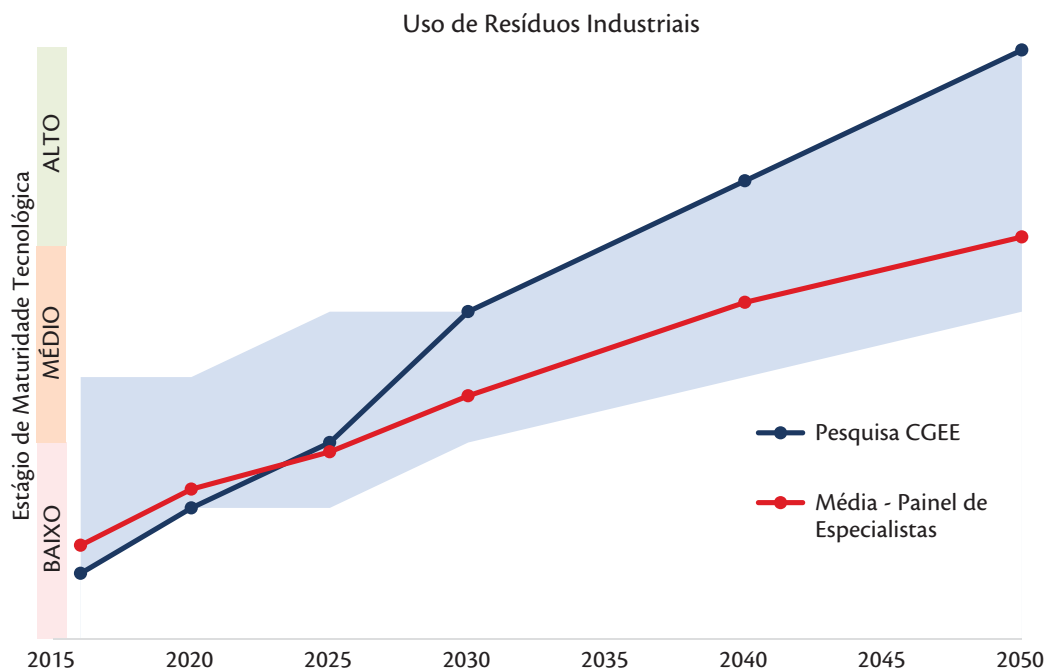


Gráfico 34 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Uso de Resíduos Industriais

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Sistema de bombeamento

Sistemas para transporte de fluidos líquidos são essenciais para o setor residencial e para o industrial. Há algumas décadas, o abastecimento de água era feito por fontes limpas captadas via ação da gravidade. Hoje, é essencialmente feito por bombeamento. O termo “bombeamento” deriva da palavra “bomba”, que é todo o equipamento capaz de transferir energia para fluido líquido (Eletrobras, 2005).

Para cada aplicação, existe um tipo de bomba que pode ser utilizado, podendo ser centrífuga radial, helicoidal e axial, cada uma para determinada vazão. Aliado aos tipos de bomba, o acionamento é de fundamental importância, hoje feito por motores em corrente alternada ou em corrente contínua, especificadamente em função do uso de energias renováveis, como solar fotovoltaica e eólica, que, dependendo do tipo construtivo, fornece energia com essas características.

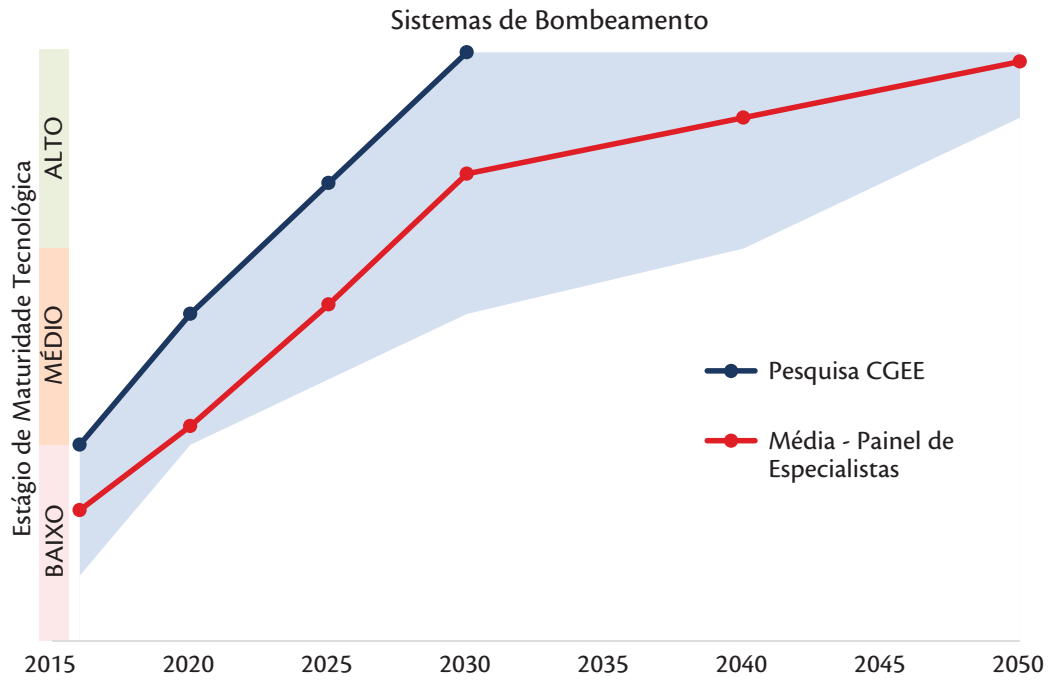


Gráfico 35 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Bombeamento

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 25.

**Tabela 25 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas
Uso de Resíduos Industriais e Sistema de Bombeamento**

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Uso de energia	Uso de Resíduos Industriais	Fatores portadores de futuro	Verificação dos impactos dos resíduos no meio ambiente.					
		Maturidade	BAIXO			MÉDIO	ALTO	
	Sistema de Bombeamento	Fatores portadores de futuro	Acionamento da bomba por meio de energias renováveis					
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de rotas IV

Roadmap tecnológico

Rota - Sistema de transporte de massa

O equipamento para movimentação de produtos nas indústrias teve grandes avanços tecnológicos nos últimos anos. A utilização de alumínio estrutural nas concepções das estruturas, aliada às novas tecnologias de esteiras, como a introdução de sistemas automatizados de controle, aumentou os níveis de produção. A introdução de sensoriamento nos sistemas de transporte trouxe agilidade na separação de produtos, tanto para classificação quando para detecção de falhas.

O controle de sistemas pneumáticos para movimentação de particulados também teve seu desenvolvimento por meio de sopradores pneumáticos inteligentes interligados a sistemas supervisórios que possibilitam o controle de acordo com a demanda. A utilização de compressores inteligentes que controlam a vazão de descarga, assim como as condições de performance, trouxe avanços para o segmento.

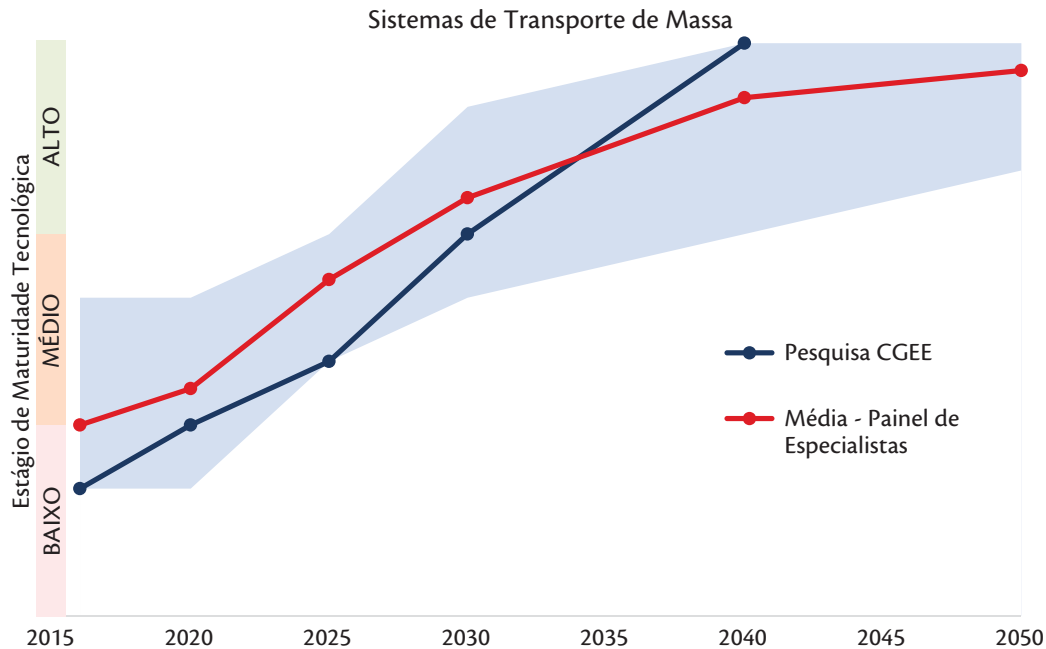


Gráfico 36 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Transporte de Massa

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Sistema de ventilação

Os avanços nos sistemas de condicionamento de ar têm evoluído nos últimos anos, aliado às novas tecnologias nos processos produtivos e ao aumento do uso de componentes eletrônicos nos sistemas de controle.

Estima-se que o uso desse tipo de equipamento aumente nos próximos anos, não somente nos setores da indústria, mas nos ramos comercial e residencial, em função da modernização dos processos de manufatura e pesquisas em busca da melhor eficiência para esses equipamentos.

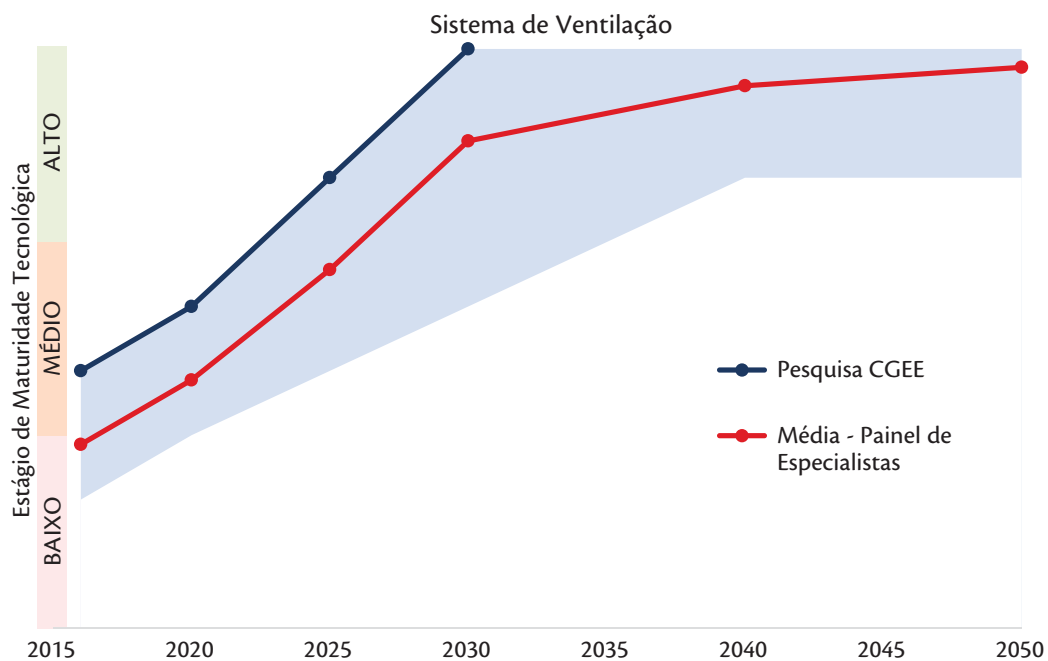


Gráfico 37 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Ventilação

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 26.



Tabela 26 - Fatores Portadores de Futuro da Evolução do Sistema de Transporte de Massa e Sistema de Ventilação

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Uso de energia	Sistema de Transporte de Massa	Fatores portadores de futuro	Utilização de sistema supervisorio					
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Sistema de Ventilação	Fatores portadores de futuro	Aumento da utilização de componentes eletrônicos no sistema de controle		Modernização no processo de manufatura			
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2. Temática: Gestão de energia

Agrupamento de rotas I

Roadmap tecnológico

Rota - Padrões, normas e regulamentos

Pensando na padronização dos processos do uso de energia, a ISO desenvolveu, em 2011, uma norma que rege os requisitos para a gestão de energia, a ISO 50001, baseada no modelo de gestão de melhoria contínua, utilizada em outras normas (VIRIDIS, 2016).

Em 2014, foram contabilizadas sete mil certificações dessa norma no mundo, sendo que apenas 13 eram brasileiras. Pensando nos benefícios que a norma traz, não somente nas questões de eficiência energética, mas na sustentabilidade e na redução de custos, essa norma tende a agregar reconhecimento à organização.

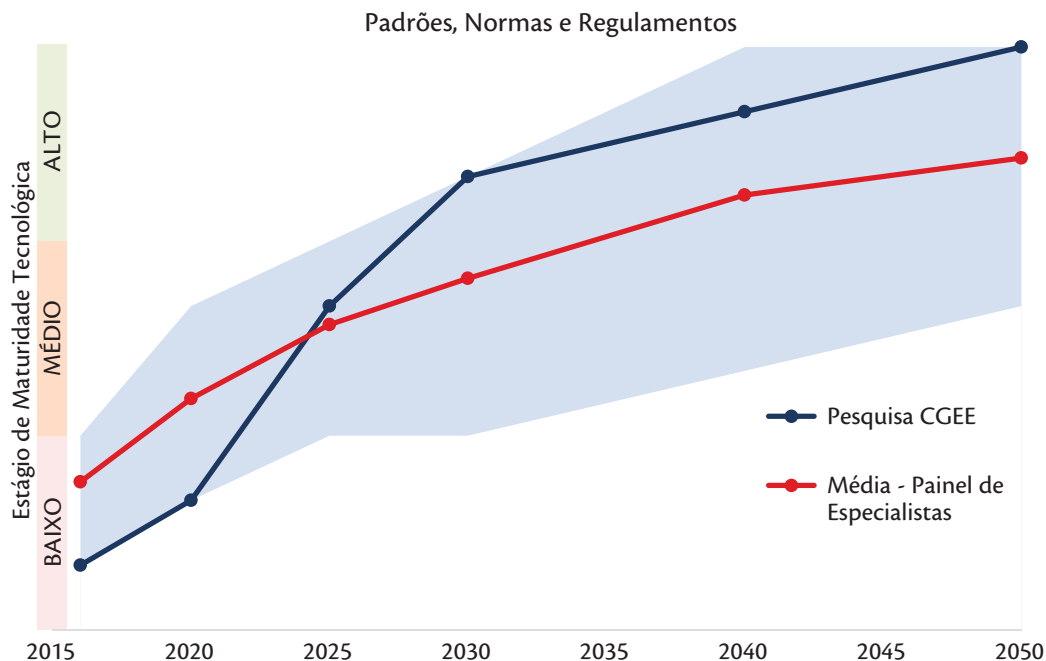


Gráfico 38 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Padrões, Normas e Regulamentos

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Sistema de supervisão e controle de energia

Com o aumento da implantação de sistemas automatizados de monitoramento, controle e proteção dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, os sistemas passaram a ser mais eficientes e eficazes, fornecendo diagnósticos rápidos para a operacionalização dos sistemas (ANEEL, 2017).

Nesse contexto, empresas relacionadas ao setor elétrico buscam formas seguras e eficientes de controle e supervisão contínuos por meio de sistemas *Supervisory Control and Data Acquisition/Energy Management Systems* (SCADA/SEM), que podem analisar e armazenar centenas de dados, além de fornecer opção de simulação de um grande sistema, apontando falhas e ou possíveis distúrbios. Esses sistemas de supervisão devem assegurar alto desempenho para distribuição de tarefas entre servidores.

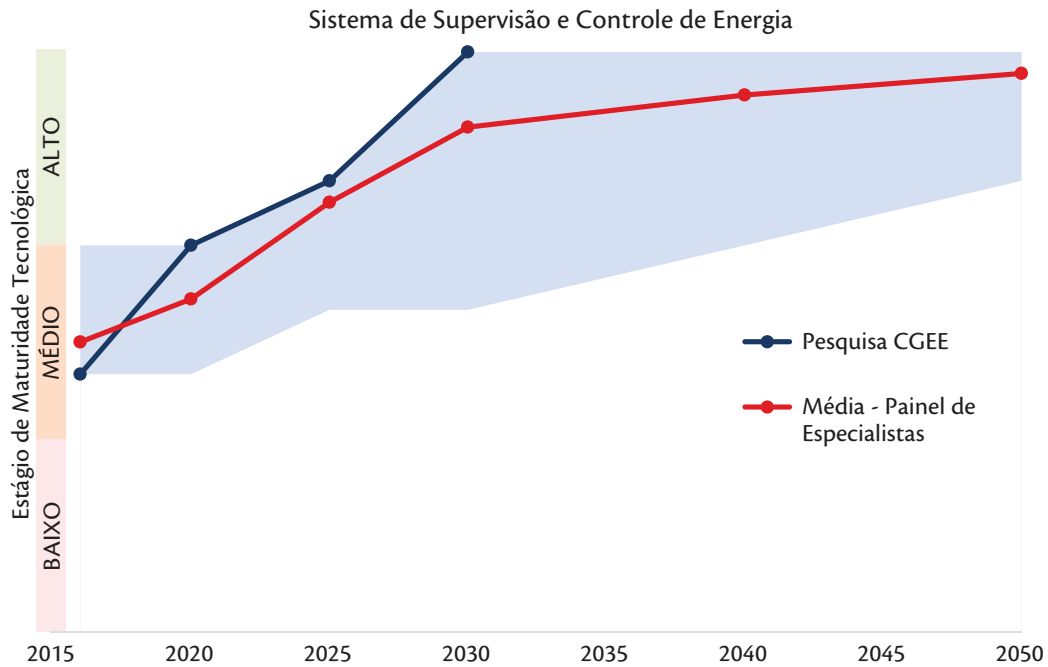


Gráfico 39 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Supervisão e Controle de Energia

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 27.

Tabela 27 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Sistema de Transporte de Massa e Sistema de Supervisão e Controle de Energia

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Gestão de energia	Padrões, Normas e Regulamentos	Fatores portadores de futuro	Desenvolvimento de novos modelos de gestão com melhoria contínua					
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Sistema de Supervisão e Controle de Energia	Fatores portadores de futuro	Aumento da implantação de sistemas automatizados para monitoramento, controle e proteção		Dados de parâmetro para comparação de sistemas supervisionados			
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			

Fonte: Elaboração própria.

Agrupamento de rotas II

Roadmap tecnológico

Rota - Indicadores e *benchmark*

Pelo aumento da produtividade das empresas, consegue-se medir o crescimento de um país, pois a geração de bens e serviços traz aumento da competitividade nacional e internacional. No Brasil, muitas empresas são prejudicadas em função da falta de planejamento e gerenciamento pouco eficiente.

Para saber o quanto uma empresa está prejudicada, é necessário dispor de dados da própria empresa e compará-los com os de uma empresa de referência. O *benchmarking* auxilia na verificação do nível de competitividade entre as empresas, na busca da priorização dos investimentos de recursos e na sua melhor estruturação para o ambiente competitivo em que se inserem (BENCHMARKING INDUSTRIAL, 2015).

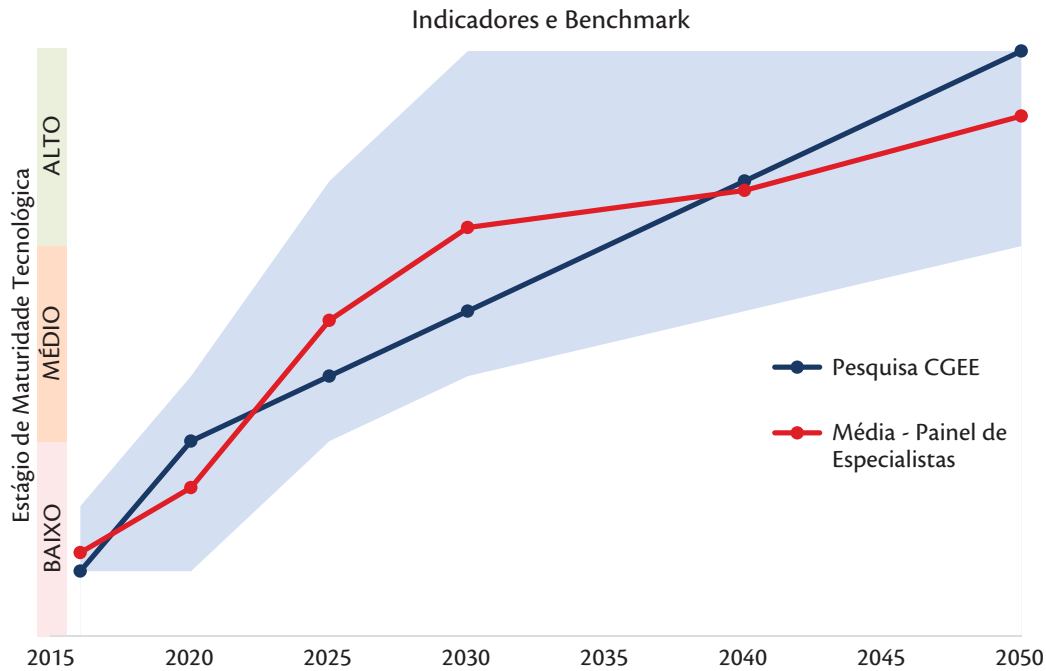


Gráfico 40 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Indicadores e Benchmark

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Avaliação de resultado de programas de eficiência energética na indústria

Desde a implantação do horário de verão, do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), entre outros, o Brasil tem se preocupado com o uso racional de energia, independentemente da forma que a constitui (PNE 2030, 2007).

Dentre os vários programas implementados, o Programa de Eficiência Energética (PEE) exerce papel importante, pois tem por objetivo promover o uso eficiente de energia elétrica em todos os setores da economia (ANEEL, 2016). Para que o programa se sustente, é preciso usar ferramentas de suporte para saber como o programa está se desenvolvendo, onde entram os processos de medição e verificação (M&V), cujo objetivo é apurar os resultados energéticos de projetos desenvolvidos pelo PEE.

Apesar de ser o maior consumidor de energia, a indústria não é a prioridade nos programas governamentais de eficiência energética (CNI, 2009), mas vários segmentos da indústria participaram de projetos voltados à eficiência energética. Destaca-se o setor de siderurgia, que, com 12 projetos, obteve economia de aproximadamente 146 MWh/ano. Esses projetos fizeram parte de um total de 217 projetos de eficiência energética industrial em 13 setores, conforme levantamento feito em 2009 pela CNI.

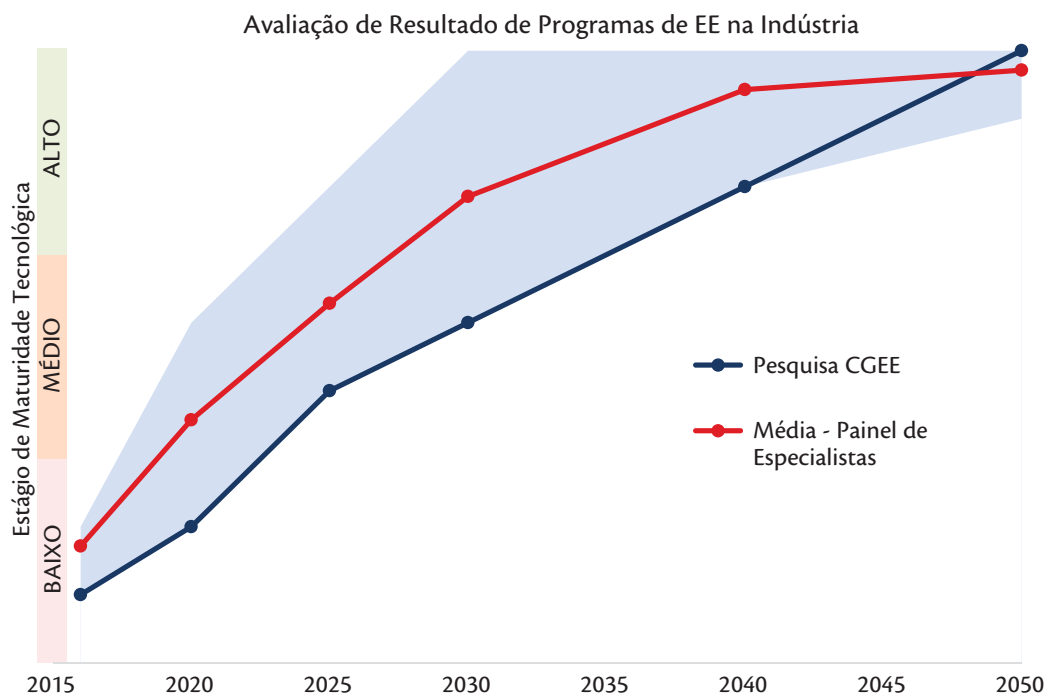


Gráfico 41 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Avaliação de Resultado de Programas EE na Indústria

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 28.



Tabela 28 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Indicadores e Benchmark e Avaliação de Resultado de Programas EE na Indústria

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Gestão de Energia	Indicadores e Benchmark	Fatores portadores de futuro	Técnicas de planejamento e gerenciamento de energia			Base de dados para fins de verificação do nível de competitividade de empresas		
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		
	Avaliação de Resultado de Programas EE na Indústria	Fatores portadores de futuro	Ferramentas de suporte para saber como o programa está se desenvolvendo					Apuração de resultados energéticos
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO	ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

4.3.3. Temática: Tecnologias de integração

Roadmap tecnológico

Rota - Gerenciamento pelo lado da demanda

Segundo Ribeiro (2003), os avanços tecnológicos levaram as empresas a se adequarem às novas formas de mercado, modificando seus processos produtivos, principalmente, com o uso de inovações tecnológicas. Essas inovações possibilitaram flexibilização e agilidade nos processos produtivos de modo que, desde a concepção da ideia até o produto final, o tempo para essas atividades se reduz consideravelmente.

Assim como as empresas tiveram que se adequar às novas formas de mercado, no tocante ao seu gerenciamento de energia em função da sua demanda, também deverão seguir esse caminho. Os contratos de energia elétrica junto às concessionárias deverão ser muito bem controlados para evitar possíveis multas por ultrapassagem da demanda contratada.

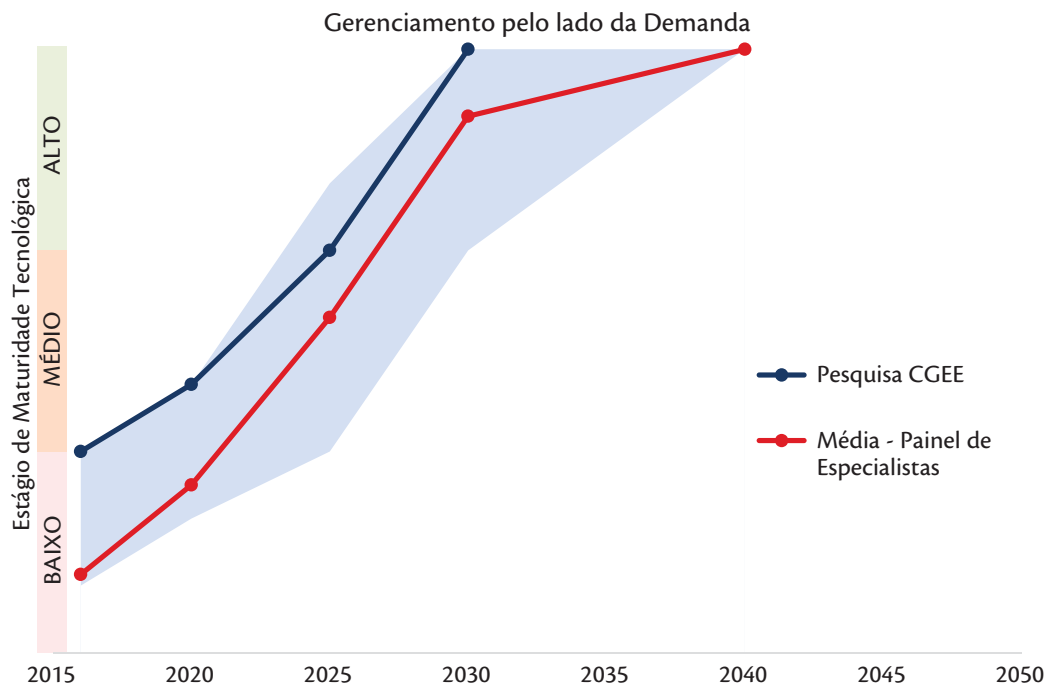


Gráfico 42 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Gerenciamento pelo Lado da Demanda

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Compartilhamento energético em complexos industriais

A disponibilidade de energia elétrica para determinadas regiões do país não é nem será semelhante aos dos grandes centros urbanos em função da inviabilidade para instalações em lugares remotos onde a demanda por energia elétrica é muito pequena, além das grandes distâncias que acarretam custos de transmissão elevados (DIAS, 2015).

Para esses lugares, a melhor opção para geração de energia é via sistemas híbridos que possibilitam maior flexibilidade em função da localização desses lugares remotos. Segundo Reis (2011), sistemas híbridos são uma importante maneira de integrar diferentes tipos de geração de energia descentralizada para demanda em regiões isoladas.

Por meio dessa integração entre as fontes de energia, possibilitada pela Resolução Normativa Aneel nº 687/2015, não somente regiões de difícil acesso, mas também os grandes centros urbanos poderão



gerar energia elétrica de fontes renováveis, como eólica, biomassa e solar fotovoltaica, proporcionando baixo impacto ambiental, diferentemente das hidrelétricas.

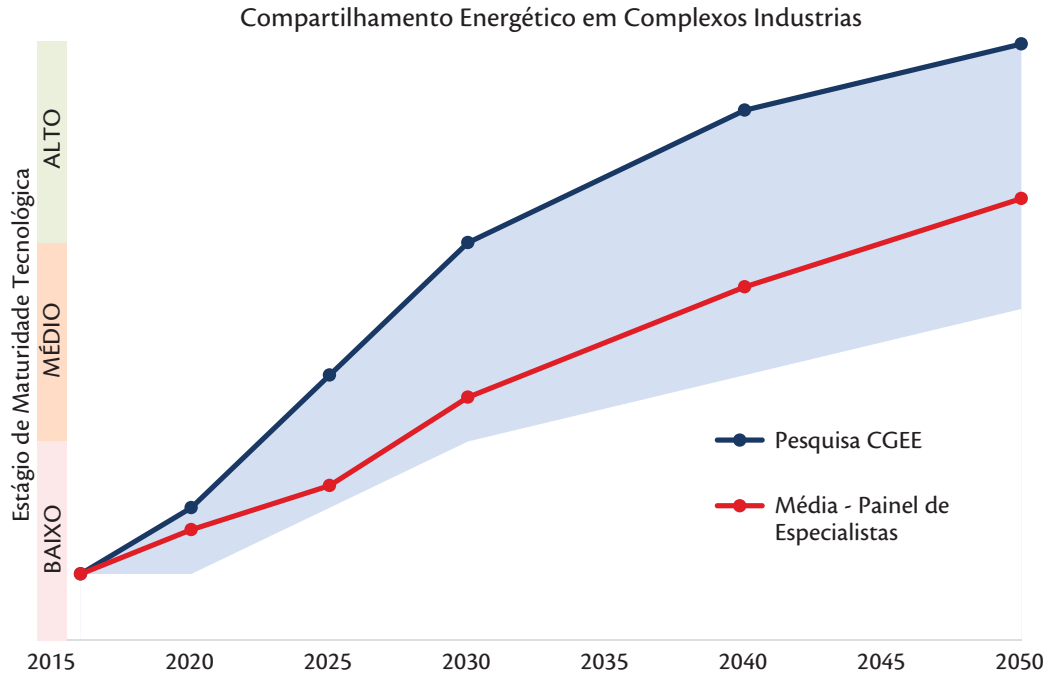


Gráfico 43 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Compartilhamento Energético em Complexos Industriais

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Integração de fontes energéticas dentro da unidade industrial

Dependendo da demanda de determinado setor e ou segmento da indústria, a utilização de fontes de energias renováveis são uma opção. A utilização de fontes de energias renováveis aumenta a cada ano, pois os custos para sua implantação estão diminuindo.

A utilização dessas fontes de energia diminui os fluxos de energia nas redes de distribuição, o que reduz os custos de manutenção em função de reparos e ou possíveis falhas, pois existirão várias fontes de energias descentralizadas, de modo que cada tipo de geração vai depender do tipo de demanda da empresa.

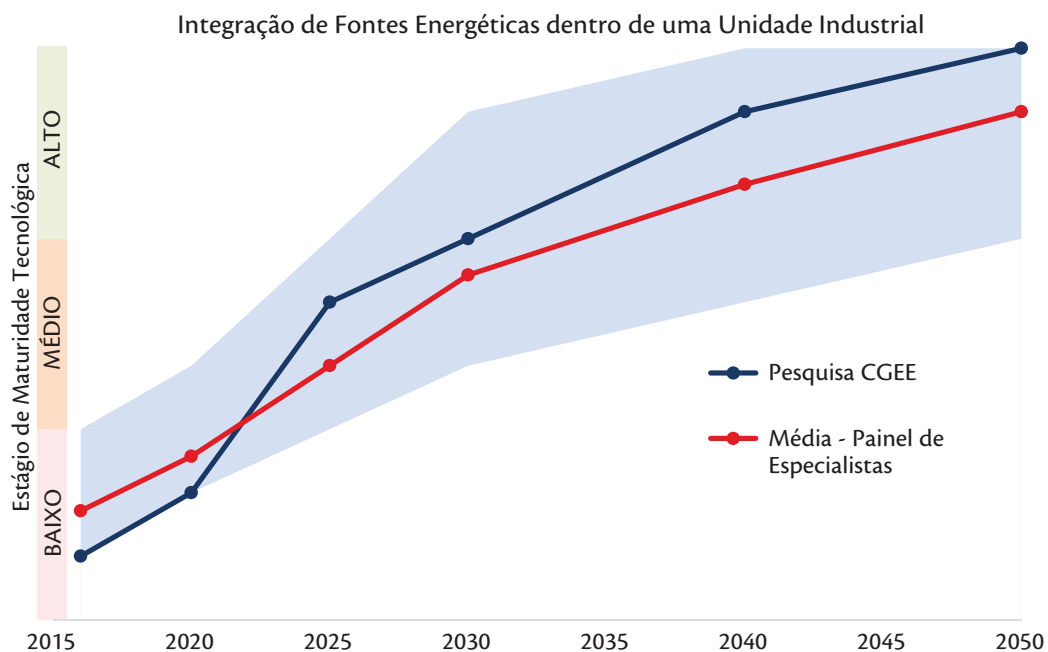


Gráfico 44 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Integração de Fontes Energéticas Dentro da Unidade Industrial

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 29.



Tabela 29 - Fatores Portadores de Futuro da Evolução das Rotas

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Tecnologias de Integração	Gerenciamento pelo Lado da Demanda	Fatores portadores de futuro	Levantamento de dados de consumo					
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Compartilhamento Energético em Complexos Industriais	Fatores portadores de futuro	Levantamento de dados de consumo individuais	Métodos de compartilhamento				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		
	Integração de Fontes Energéticas Dentro da Unidade Industrial	Fatores portadores de futuro	Utilização de fontes de energias renováveis	Verificação da demanda				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

4.4. Priorização

Será apresentada, neste item, a ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática. Conforme mencionado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), essa priorização é o resultado de um painel de especialistas que levaram em conta a visão de futuro da macrotemática e os respectivos objetivos específicos, além de elementos facilitadores e limitadores observados nas respectivas tabelas de questões portadoras de futuro.

Para essa macrotemática, as seguintes rotas tecnológicas foram priorizadas, conforme apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Indústria

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Indicadores e <i>benchmark</i>	Gestão de energia
2	Padrões, normas e regulamentos	Gestão de energia
3	Sistema de bombeamento	Uso de energia
4	Avaliação de resultado de programas EE na indústria	Gestão de energia
5	Sistema de supervisão e controle de energia	Gestão de energia
6	Sistemas térmicos	Uso de energia
7	Sistema de resfriamento e refrigeração	Uso de energia
8	Integração de fontes energéticas dentro da unidade industrial	Tecnologias de integração
9	Compartilhamento energético em complexos industriais	Tecnologias de integração
10	Sistema de ventilação	Uso de energia
11	Sistema de transporte de massa	Uso de energia
12	Motores elétricos	Uso de energia
13	Gerenciamento pelo lado da demanda	Tecnologias de integração
14	Processos de separação	Uso de energia
15	Processos termo e eletroquímicos	Uso de energia
16	Sistemas de ar comprimido	Uso de energia
17	Uso de resíduos industriais	Uso de energia

Fonte: Elaboração própria.

Considerando o atual cenário do Brasil, as principais rotas tecnológicas para a macrotemática indústria podem ser elencadas a seguir, ressaltando que essa priorização pode ser redefinida conforme a necessidade de cada indústria:

- Ações de *benchmarking* entre as regiões do país dos principais setores industriais e rotas tecnológicas. Promover o desenvolvimento de metodologias para obtenção e tratamento de dados por setor industrial para criação de indicadores de eficiência;
- Na ótica da integração entre fontes de energia para a geração de eletricidade e calor, desenvolver sistemas inovadores de integração de tecnologias de conversão de energia, com foco na eficiência energética, em fonte solar para a geração de eletricidade e calor, em fonte



eólica para a geração complementar de energia elétrica e motriz e em aproveitamento da energia potencial e/ou de corrente em sistemas hidroelétricos;

- Aproveitamento térmico para a geração de calor de processo e geração de eletricidade, aperfeiçoando os sistemas de cogeração, melhorando a eficiência de sistemas de refrigeração por tecnologias de absorção e promovendo o desenvolvimento de novos materiais dedicados à conservação de energia térmica;
- Condicionamento de ar, promovendo o desenvolvimento de sistemas de condicionamento de ar por meio de uso de materiais inovadores, desenvolvimento de compressores de melhor performance e de trocadores de calor de maior confiabilidade.

O desenvolvimento de sistemas é necessário, mas pode variar conforme a necessidade.



Capítulo 5



Capítulo 5

Macrotemática saneamento

Busca-se traçar um panorama relativo às temáticas e rotas tecnológicas que compõem a macrotemática eficiência energética no saneamento, a fim de caracterizá-la da melhor forma e evidenciar as prioridades em termos de PD&I. Para tal, inicia-se elencando os principais pontos de construção das temáticas e rotas, evidenciando suas interfaces e relações mútuas. Em seguida, traça-se um panorama do estado atual dessas temáticas e rotas, com suas inter-relações, influências, estágios de maturidade e tendências de desenvolvimento, considerando o contexto brasileiro e com base nas referências consultadas. Por fim, indicam-se as rotas tecnológicas prioritárias, dentro do contexto e com base na cenarização construída.

5.1. Visão de futuro

5.1.1. Cenário setorial

Existe uma tendência a empregar o conceito de *smartwater network*, ou seja, aproveitar os dados existentes nos sistemas de distribuição de água e de esgoto, sejam eles históricos ou a partir de sistemas de telemetria, para então gerar valor mediante a aplicação de algoritmos inteligentes (*wateranalytics*). Embora seja um tema não ligado diretamente às ciências exatas, estudos sobre regulação associados aos modelos econômicos mostraram-se necessários. E apesar de o ambiente ter que ser regulado, há pouca maturidade no assunto. Em menor escala, definiram-se as rotas capazes de tocar esse assunto. Essa rota depende muito do desenvolvimento de outros setores da economia, como ciências dos materiais polímeros, entre outros, para que tenha impacto na eficiência energética.

As premissas macroeconômicas apontam evolução do PIB crescente até 2030, o que pode favorecer os investimentos em P&D nas áreas de conhecimento e nos setores produtivos ligados à temática de saneamento. Haverá crescimento da população, embora em ritmo menor, o que indica demanda crescente por consumo de água associado a geração de esgoto; a partir de 2040, este ritmo de

crescimento declina. A população economicamente ativa crescerá bastante entre 2025 e 2035, atingindo um excedente que poderá repercutir positivamente no setor produtivo.

Quanto ao crescimento da demanda de energia elétrica em 2050, este chegará em torno de 400 GW/480 GW em capacidade instalada, dependendo da matriz. Destaque-se que o saneamento é responsável por aproximadamente 2,5% do consumo de energia elétrica no país (MAKINO, 2012).

No que tange ao uso racional da energia, prevê-se para o horizonte de 2050 o crescente aumento da competitividade das ações de eficiência, tendendo a tornar-se tema de interesse perene, aos moldes do que acontece hoje no contexto europeu. Por outro lado, pretende-se atingir, no horizonte de 2030, redução da demanda de energia elétrica no Brasil de 10% (com base no consumo de 2015), compromisso assumido pelo país e consequência das ações de uso racional de energia.

5.1.2. Objetivo geral

Considerando o respectivo cenário, o foco principal dos investimentos em PD&I está pautado nos serviços de água e esgoto por ser este um mercado maduro com alto impacto na matriz energética nacional e responsável por conflitos no uso da água para geração de energia elétrica.

PD&I no setor elétrico aplicado ao saneamento teria como diretriz principal promover melhoria na universalização de acesso a todos os serviços de saneamento, considerando que muitos sistemas brasileiros ainda apresentam intermitência no fornecimento.

No contexto macro, o desenvolvimento de tecnologias selecionadas nas linhas de PD&I garantiria um diferencial competitivo na cadeia de valor do saneamento, visando empoderar principalmente empresas brasileiras que atuam no setor. Essa iniciativa resultaria no favorecimento de uma estrutura de CT&I dedicada à macrotemática e ao fortalecimento da cadeia produtiva preparada para atender demandas.

Nesse sentido, o país necessitaria investir no desenvolvimento e na implantação de soluções tecnológicas capazes de promover mudança na forma de operar tais sistemas pelos prestadores de serviço, fortalecimento do ambiente de governança favorável pela via da construção do conhecimento dos *stakeholders* (reguladores, comitês de bacia, titulares da infraestrutura) e adaptação de sistemas de saneamento para atender novos padrões de consumo da sociedade, mudanças climáticas e conceitos de cidades resilientes. Nesse contexto, assumindo significativa expansão das atividades no âmbito da macrotemática, é imperativa a adoção de medidas de fomento à eficiência energética.



5.1.3. Objetivo específico

Curto prazo (2017-2020):

- Desenvolver algoritmos Analytics para transformar dados em informação (água e esgoto);
- Reduzir o consumo *per capita* dos usuários, associando dados de redes de sensores (*watersmart grid*), técnicas comportamentais (*social norms*) com tecnologias da informação;
- Desenvolver equipamentos e tecnologias para eficiência hidroenergética em sistemas de água e esgoto (integração *hardware + software*);
- Fortalecer redes de pesquisa em *waterinformatics* (Big Data, IoT) desde a prototipagem;
- Reusar água para fins residenciais.

Médio prazo (2020-2030):

- Melhorar a performance dos prestadores de serviços, que têm a energia como um grande insumo, por meio do controle de perdas de água, consequentemente, garantindo a eficiência energética. As tecnologias utilizadas nessa rota serão baseadas em tecnologias de informação (*Big Data, sensores/IoT, Analytics*);
- Desenvolver algoritmos baseados em inteligência artificial para operação de água e esgoto;
- Desenvolver *design* de equipamentos (prototipagem, injeções etc.);
- Produzir modelos regulatórios para saneamento;
- Desenvolver *software web* (*software* como serviço).

Longo prazo (2030-2050):

- Incentivar, apoiar e induzir o desenvolvimento de soluções descentralizadas de tratamento de efluentes (reuso), compactas e comerciais, para aplicações residenciais, visando reduzir o uso *per capita* de água;
- Melhorar a performance da operação de esgoto na coleta, no tratamento e na disposição final de esgoto por meio de tecnologias de automação e controle, focando principalmente no tratamento e na análise da informação. As tecnologias utilizadas nessa rota serão baseadas em tecnologias de informação (*Big Data, sensores/IoT, Analytics*);

- Desenvolver redes inteligentes de água e esgoto;
- Apoiar sistemas descentralizados (reuso de água em edificações).

5.1.4. Fundamentação

A evolução da demanda de energia elétrica até 2050 deve exigir algo entre 400 GW e 480 GW em capacidade instalada. Em termos de geração, a fonte hidroelétrica (UHE) continuará sendo a fonte principal de expansão de geração elétrica.

Nesse contexto, a eficiência energética no setor saneamento deve ser área prioritária por diversas razões. A primeira delas é que o uso de recursos hídricos conflita com a geração de energia elétrica. Ressalta-se ainda que, em situações de escassez, a Lei Federal nº 9433/1997 prioriza o uso de recursos hídricos para abastecimento humano, o que pode gerar risco para geração de eletricidade no Brasil. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2015) reafirma que a segurança energética no Brasil está intimamente ligada à energia hidrelétrica e que algumas crises de abastecimento de água em regiões metropolitanas, associadas a questões climáticas, estão intimamente ligadas à deficiência de gestão de recursos hídricos na bacia.

A segunda razão está associada à performance dos prestadores de serviços de saneamento. Segundo dados do último censo brasileiro (SNIS, 2016), as perdas de água registradas foram de 36,7%. O combate efetivo das perdas de água é um dos problemas mais desafiadores da operação e manutenção de sistemas de abastecimento de água. Além de impactar diretamente o faturamento, as perdas afetam a imagem da empresa de saneamento junto à sociedade, aos agentes financiadores, aos órgãos ambientais e aos poderes públicos. As perdas de água também proporcionam desperdícios de energia elétrica, produtos químicos e materiais. A água deve ser transportada desde sua origem (rio, lago ou aquífero) até o usuário final. Isso requer energia em todos os processos. Segundo Olsson (2012), o setor elétrico é considerado mundialmente como o maior consumidor de água entre todas as verticais industriais. Não é difícil observar que operação de abastecimento de água requer energia. Ainda conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016), as despesas com energia elétrica para distribuição de água no Brasil totalizaram aproximadamente R\$ 3,4 bilhões, considerado o terceiro item das despesas de exploração (DEX), sendo o bombeamento a parcela do custo mais significativa nos processos de tratamento e distribuição de água e coleta e tratamento de esgotos e que representa 20% do consumo de energia elétrica mundial. Em 2015, as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento participantes do SNIS atingiram R\$ 5,14 bilhões, tendo sido consumidos 11,0 TWh com abastecimento de água e 1,2 TWh com esgotamento sanitário. Essa quantidade equivale ao consumo doméstico anual de cerca de 19 milhões de habitantes.



Quanto à drenagem urbana, o Brasil avançou pouco, principalmente, porque ainda não é um serviço concessionado, mas administrado pelas prefeituras. As soluções de drenagem urbana são basicamente formadas por grandes reservatórios para amortecimento de eventos torrenciais. Há uma quantidade de energia utilizada para operação desses reservatórios. No entanto, ainda é muito incipiente. A tendência mundial é tratar esses volumes de água e fornecer água de reuso, evitando conduzir tais recursos por longos caminhos.

5.2. Caracterização das métricas da macrotemática para o cenário futuro

Neste item, são abordados os *roadmaps* tecnológicos das rotas consideradas neste projeto. Conforme informado na metodologia (ver livro “Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia”), os *roadmaps* dizem respeito à evolução tecnológica das rotas, associadas aos fatores portadores de futuro do desenvolvimento das respectivas tecnologias.

Os gráficos de evolução da maturidade das rotas levam em conta: i) as linhas de pesquisa com maior influência sobre o desenvolvimento ou otimização das tecnologias presentes nas rotas; e ii) os fatores portadores de futuro que suportam essa evolução.

Portanto, para cada temática, serão apresentadas as linhas de pesquisa consideradas na caracterização da maturidade das suas rotas tecnológicas e os respectivos gráficos de evolução da maturidade, acompanhados dos fatores portadores de futuro.

A métrica Desenvolver e Implantar Soluções de TI (*Analytics*) para Otimizar a Performance em Estação de Tratamento de Água (ETA) e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) visa alcançar plataformas de engajamento do usuário com informações em tempo real, tendo, em primeiro momento, a criação de um ecossistema brasileiro para demonstrar experiências-piloto para então implantar *Analytics* em ETA, ETE, aterros.

A métrica Maximizar o Uso de *WaterSmart Meter* para Gestão de Eventos visa à implementação dos *WaterSmart Meter* nas próximas décadas, tendo a necessidade de fomento à educação tecnológica.

Melhorar a Eficiência Energética em Máquinas, Equipamentos é uma métrica de desenvolvimento contínuo, assim como a métrica Desenvolver e Implantar Soluções para Eficiência Energética.

A métrica Desenvolver e Implantar Soluções de Telemetria e Automação para Reduzir Perdas de Água e de Energia é apresentada em porcentagem de ETA automatizadas, tendo o valor de 10% no horizonte de 2050.

A métrica Desenvolver Tecnologias para Reuso de Água tem como parâmetro a redução de consumo *per capita*. No ano de 2050, espera-se que, com a utilização do reuso, o consumo seja menor que 120 (L/hab.dia) litros por habitante-dia.

As respostas às métricas associadas à estratégia setorial, questão socioambiental, produção de CT&I, estrutura de CT&I, indústria e mercado foram apresentadas na planilha de indicadores, conforme instruções constantes na própria planilha. De forma geral, desenvolvimento econômico, novas tecnologias, parcerias entre entes da cadeia de CT&I, indústria e setor elétrico brasileiro potencializam a melhora ou a participação dessas questões no setor elétrico brasileiro com impacto positivo no desenvolvimento das rotas tecnológicas.

5.3. Estudo e prospecção das rotas tecnológicas

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

5.3.1. Temática: Eficiência pelo lado da demanda

Eficiência energética no saneamento pelo lado da demanda contribui para minimizar o consumo de água e energia no consumidor (domiciliar e/ou industrial). Dividiu-se a temática em rotas relacionadas às tecnologias de reuso e aproveitamento de fontes alternativas (águas pluviais); teorias socioantropológicas (p.ex., normas sociais) que podem alimentar soluções de tecnologia da informação que induzem o uso racional de água pelo consumidor; equipamentos para medições inteligentes (*Smart Meter*, *SmartWater*);¹⁹ algoritmos inteligentes que são capazes de transformar em informações; e, por fim, esta rota contempla os equipamentos economizadores pelo lado da demanda.

¹⁹ *SmartWater networks* são redes inteligentes de água, conceito inovador, atualmente disseminado por uma associação de empresas globais (SWAN Forum) do setor da água que está buscando a inovação do setor por meio da transformação digital.



Roadmap tecnológico

Rota - Reuso industrial

As pesquisas e tecnologias aplicadas ao setor industrial encontram-se em estágio bem mais avançado do que as aplicadas ao residencial. Um dos motivos é que o reuso industrial, geralmente, apresenta-se economicamente viável.

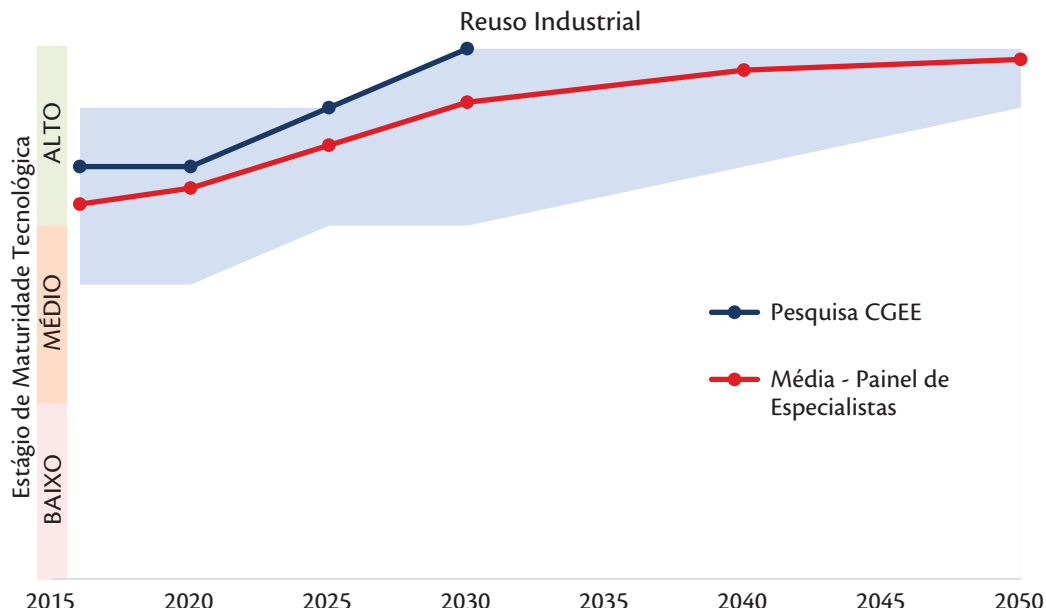


Gráfico 45 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Reuso Industrial

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Reuso domiciliar

Quanto às soluções para tratamento de águas de reuso, observa-se um nível razoável de pesquisas e tecnologias existentes no Brasil, principalmente oriundas da Rede Prosab²⁰ (Finep). No entanto, poucos produtos comerciais têm se mostrado viáveis no mercado. Nessa linha de atuação, o aproveitamento de águas pluviais é o assunto que mais se desenvolveu e é uma cadeia produtiva muito consolidada. Além disso, o Brasil ainda não elaborou uma política nacional de águas de reuso. Tal política está

20 Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosab/produtos>>.

sendo financiada pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA). Dessa forma, as opções tecnológicas deverão ser definidas após o lançamento dessa política.

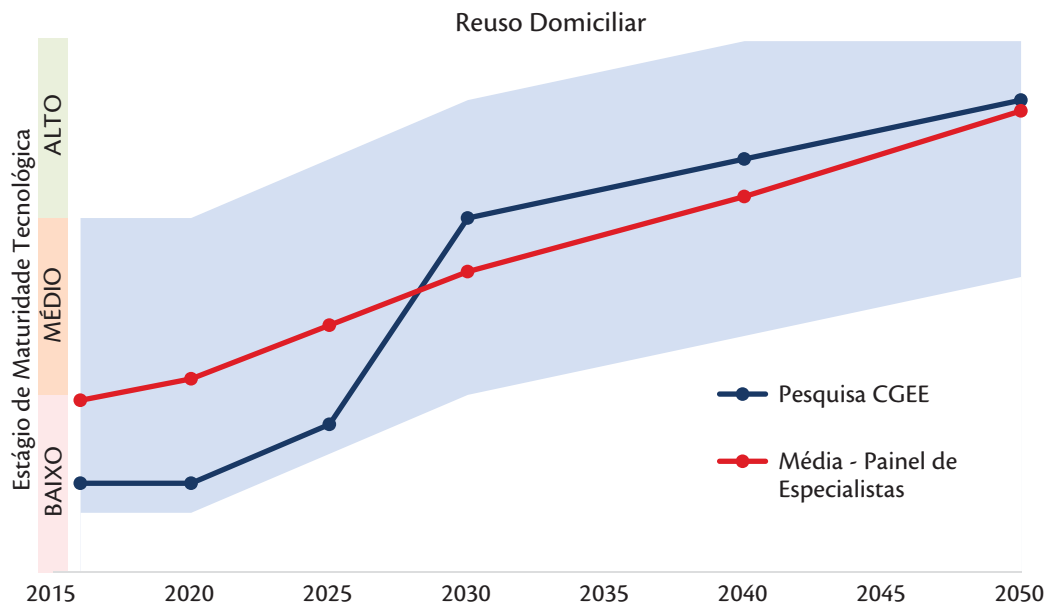


Gráfico 46 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Reuso Domiciliar

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Aproveitamento de águas pluviais

O aproveitamento de águas pluviais apresenta-se em estágio de maturação bem avançado. O Gráfico 47 mostra grande amplitude de opiniões por divergência de conhecimento de alguns deles sobre o tema.

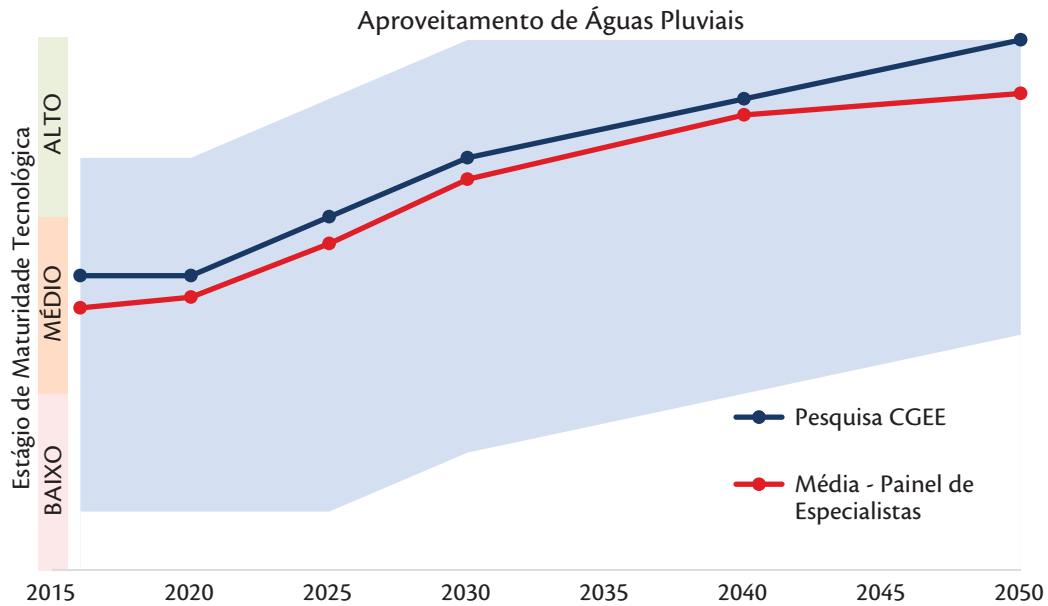


Gráfico 47 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aproveitamento de Águas Pluviais

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 31.

Tabela 31 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Reuso Industrial, Reuso Domiciliar e Aproveitamento de Águas Pluviais

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Eficiência pelo Lado da Demanda	Reuso industrial	Fatores portadores de futuro	Fomento ao desenvolvimento contínuo de materiais e tecnologias para reuso industrial.					
		Maturidade	ALTO					
	Reuso domiciliar	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre métodos de projetos que permitam a reutilização em construções residenciais. Criação de política nacional de águas de reuso.	Aplicação-piloto dos métodos para estudos dos resultados em novas construções.			Metodologias e técnicas de análise de resultados da utilização do reuso domiciliar.	
		Maturidade	MÉDIO				ALTO	
	Aproveitamento de águas pluviais	Fatores portadores de futuro	Aperfeiçoamento e aplicação de tecnologias que viabilizam a captação e o armazenamento das águas da chuva.	Fomento à implementação de métodos que viabilizem o aproveitamento de águas pluviais.			Aprimoramento dos métodos de tratamentos de águas coletadas.	
		Maturidade	MÉDIO				ALTO	

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Normas sociais

Um vasto conjunto de evidências demonstra que as normas sociais impactam uma ampla gama de comportamentos, incluindo atividades de conservação, doações humanitárias, consumo de álcool e hábitos de dieta e exercício. Pesquisadores (FARROW et al., 2017) têm demonstrado que programas de conservação de água e energia envolvendo consumidores podem aplicar as teorias derivadas das normas sociais. Observa-se aplicação dessas teorias na conservação de energia em prédios públicos (LIU et al., 2016). Como é um assunto novo no saneamento, embora bem difundido nos programas de conservação de energia, os especialistas demonstram opiniões adversas quanto ao grau de maturidade.

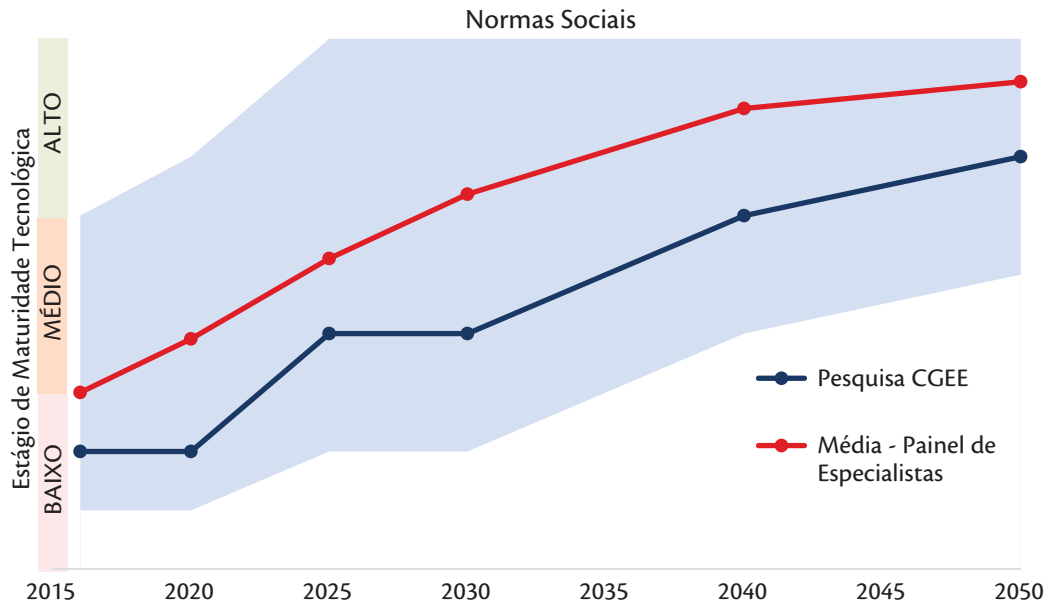


Gráfico 48 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Normas Sociais

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Medição inteligente

O sistema de medição permite a captação remota do consumo, possibilitando, assim, maior controle do usuário.

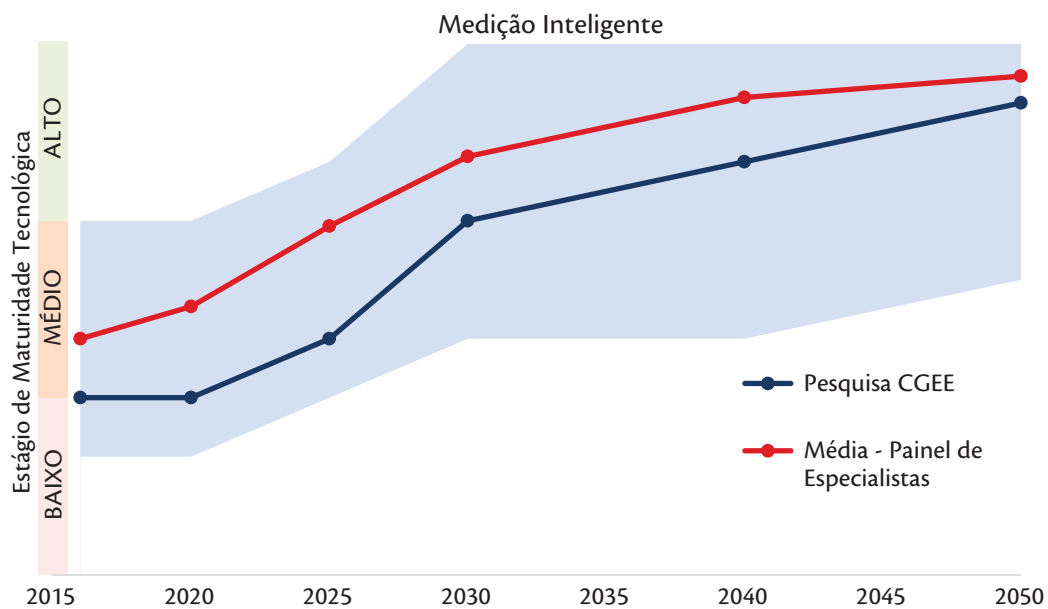


Gráfico 49 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Medição Inteligente

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na Tabela 32.



Tabela 32 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Normas Sociais e Medição Inteligente

Temática	Rota	Dado	Período				
			2016	2020	2025	2030	2040
Temática Eficiência pelo Lado da Demanda	Normas sociais	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre padrões comportamentais e desenvolvimento de uma base de dados para fins de comparação de normas sociais.			Projetos-piloto que favoreçam a análise da influência dos padrões comportamentais impactam no consumo.	
		Maturidade	MÉDIO			ALTO	
	Medição Inteligente	Fatores portadores de futuro	Fomento à melhoria de tecnologias de materiais e de fabricação.		Fomento ao melhoramento contínuo dos processos de medição.		Implementação em grande escala de medidores inteligentes.
		Maturidade	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Algoritmos inteligentes

Nos últimos anos, observa-se aumento dos dispositivos conectados, ampla disponibilidade de sensores no mercado. Em algumas áreas, denominou-se a era da Internet das Coisas (IoT). Empresas globais estão se adaptando, se remodelando a essa nova realidade, investindo naquilo que chamam de revolução digital, embora muitas delas já estejam ofertando ao mercado essas soluções. Alguns pesquisadores (HELMBRECHT et al., 2017) têm recentemente ressaltado que as soluções com inteligência computacional embarcada ofertam valor para a gestão operacional dos sistemas de saneamento.

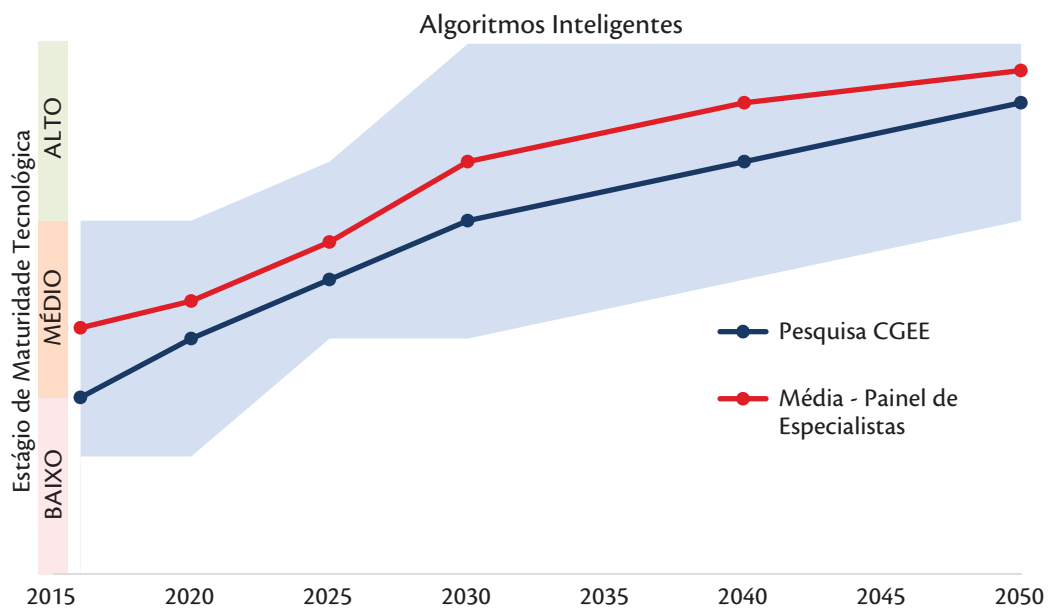


Gráfico 50 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Algoritmos Inteligentes

Fonte: Elaboração própria.

Reconhece-se um mercado dominado por empresas globais estrangeiras. Por outro lado, percebe-se um mercado bem grande nas tecnologias de informação capazes de coletar dados dos sensores.

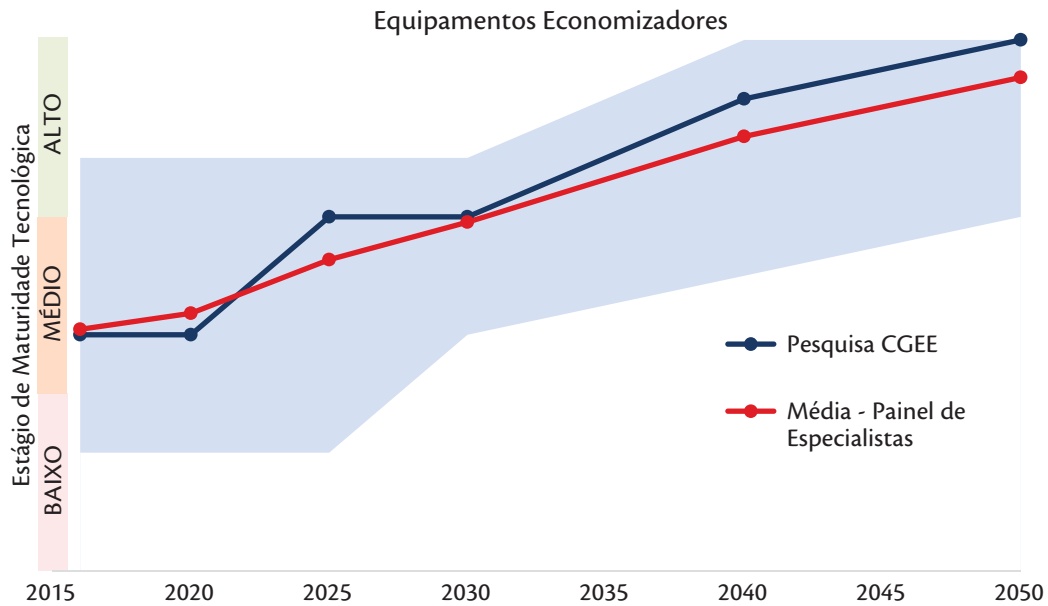


Gráfico 51 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Equipamentos Economizadores

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas
 Algoritmos Inteligentes, Equipamento Economizadores

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Eficiência pelo Lado da Demanda	Algoritmos inteligentes	Fatores portadores de futuro	Tecnologias de TI com elevada capacidade de processamento e armazenamento de dados e novos softwares de gerenciamento de dados com interfaces amigáveis.			Fomento ao desenvolvimento contínuo de <i>softwares</i> .		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Equipamentos economizadores	Fatores portadores de futuro	Aprimoramento de tecnologias capazes de coletar dados dos sensores para medição de economicidade.			Fomento à melhoria de tecnologias de materiais e de fabricação.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

5.4. Temática: Eficiência pelo lado da oferta

Eficiência energética no saneamento pelo lado da oferta é uma temática que engloba metodologias, processos e tecnologias para melhorar a performance de energia nas etapas de tratamento de água e de esgoto; no desenvolvimento de algoritmos inteligentes usando tecnologias de Big Data, Séries Temporais, Otimização, Data Mining para melhorar a eficiência hidroenergética na captação de água e adução de água, expandido também para a gestão de bacias hidrográficas. Esta rota apresenta a qualidade da água como uma temática ainda pouco explorada no setor elétrico, mas que impacta o uso de energia em sistemas de adução de água. Por fim, os equipamentos eficientes para uso em sistemas de produção de água e tratamento de esgoto encontram-se nesta rota.

Roadmap tecnológico

Rota - Tecnologias de tratamento de água e esgoto

Tecnologias para tratamento de água e esgoto são temas bem consolidados no Brasil. No entanto, podem acontecer algumas rupturas tecnológicas nesta rota. Por exemplo, o uso de membranas



cerâmicas no lugar das poliméricas, o uso de ultravioleta por LED para desinfecção (atualmente, a legislação brasileira não permite; exige a necessidade de residual de cloro) e dionização capacitiva.

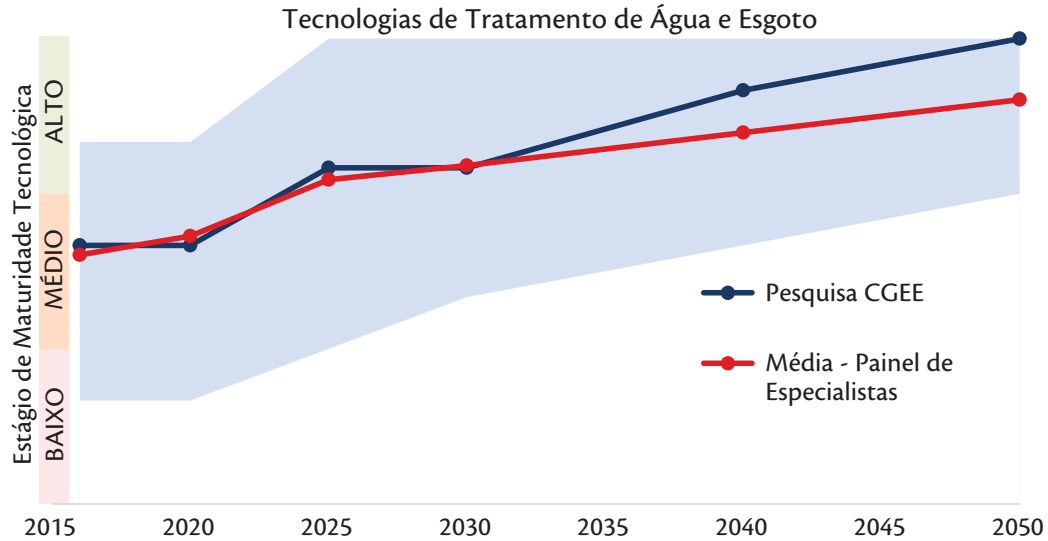


Gráfico 52 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Tecnologias de Tratamento de Água e Esgoto

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas
Algoritmos Inteligentes e Tecnologias de Tratamento de Água e Esgoto

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Eficiência pelo lado da oferta	Tecnologias de tratamento de água e esgoto	Fatores portadores de futuro	Fomento à melhoria de tecnologias e métodos no tratamento da água e esgoto.			Aplicabilidade de novos materiais e técnicas que tragam ruptura tecnológica nos conceitos atuais de tratamento de água e esgoto.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Equipamentos eficientes para sistemas de água e esgoto

No Brasil, há poucas plantas industriais produzindo equipamentos para medições inteligentes.

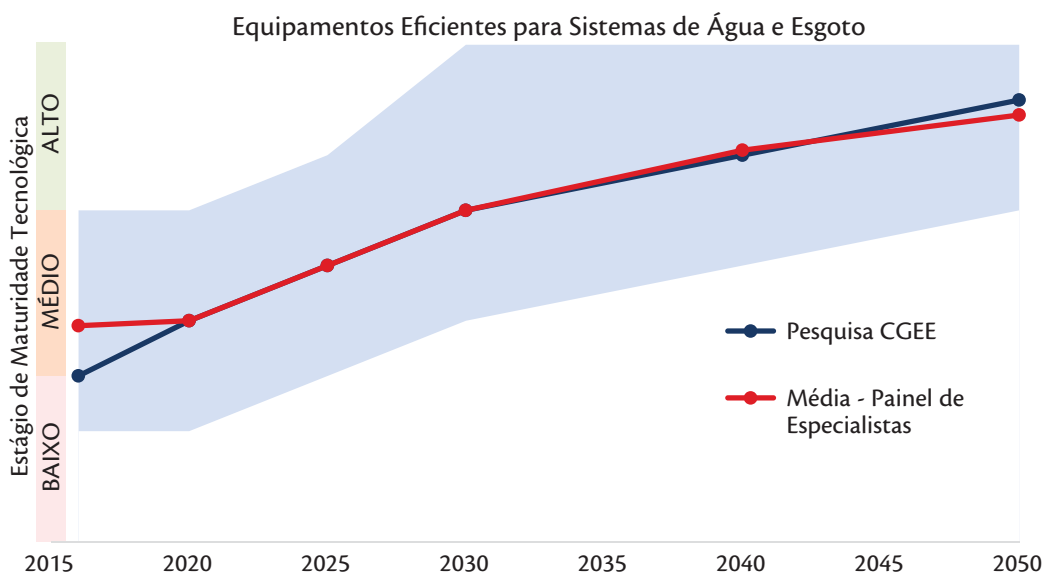


Gráfico 53 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Equipamentos Eficientes para Sistemas de Água e Esgoto

Fonte: Elaboração própria.



Rota - Capacidade de transporte afetada pela qualidade da água

A rota buscará investigar a relação entre os materiais utilizados nas infraestruturas de água, associando a questão qualitativa e verificando o impacto na eficiência energética. Alguns autores (BROO et al., 2001) têm relacionado o impacto da qualidade da água ao consumo de energia.

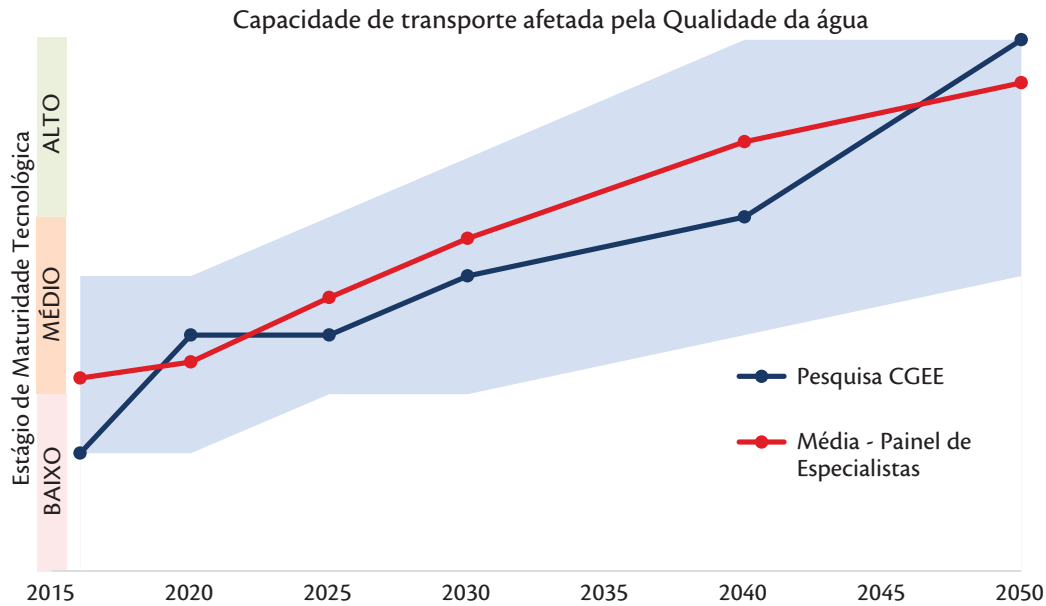


Gráfico 54 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Capacidade de Transporte Afetada pela Qualidade de Água

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas equipamentos eficientes para sistemas de água e esgoto e capacidade de transporte de afetada pela qualidade da água

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Eficiência pelo Lado da Oferta	Equipamentos eficientes para sistemas de água e esgoto	Fatores portadores de futuro	Fomento à indústria para o desenvolvimento de equipamentos eficientes para os padrões nacionais.			Aprimoramento de métodos e estudos para a substituição dos equipamentos utilizados.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Capacidade de transporte afetada pela qualidade da água	Fatores portadores de futuro	Verificação experimental da influência da qualidade da água no consumo de energia e desgaste dos equipamentos do sistema de água e esgoto.			Metodologias de tratamento de água para deixar o processo de transporte de água mais eficiente, por meio da qualidade da água.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

5.5. Temática: Regulação

O ambiente regulatório e os fatores institucionais impactam a melhoria da eficiência energética no saneamento. Diferentemente do setor elétrico, no saneamento, regulam-se as prestações de serviços de água, esgoto, drenagem pluvial e resíduos sólidos. Além disso, a regulação pode ser municipal, intermunicipal ou estadual (Lei Federal nº 11.445/2007; Decreto nº 7.217/2010). Essa exigência legal tem levado as prefeituras municipais, que são os titulares das infraestruturas de saneamento, a adotar modelos de regulação e sistemas de avaliação distintos que não favorecem a melhoria da eficiência energética. Dessa forma, vislumbra-se a necessidade de desenvolver e/ou aprimorar novos modelos econômico-financeiros para eficiência energética. A inclusão da rota gestão de ativos para infraestruturas de saneamento nesta temática justifica-se pela ausência de modelos e metodologias que possibilitam quantificar as intermitências no abastecimento de água, as taxas e a evolução das falhas em tubulações de água e de esgoto, ferramentas de auxílio à tomada de decisão que permitem identificar trechos críticos com alta probabilidade de reabilitação. Por fim, há necessidade de formular modelos de incentivos e tributos para reconhecimento dos investimentos em eficiência, geralmente realizados pelos prestadores.



Roadmap tecnológico

Rota - Modelos econômico-financeiros para eficiência energética

Pesquisas voltadas aos modelos de negócios para ganhos potenciais da eficiência energética no saneamento são um tema crítico que cria barreiras para avanço dos projetos de eficiência. Esta linha de pesquisa elencará os diferentes modelos de parceria público-privado ou público-público existentes no mundo, adaptá-los para a realidade brasileira e aplicá-los em alguns projetos-piloto. Alguns pesquisadores (HOSSEINI et al., 2016) têm mencionado a necessidade de aprofundar os estudos sobre modelos existentes e entender os critérios e riscos dessas aplicações.

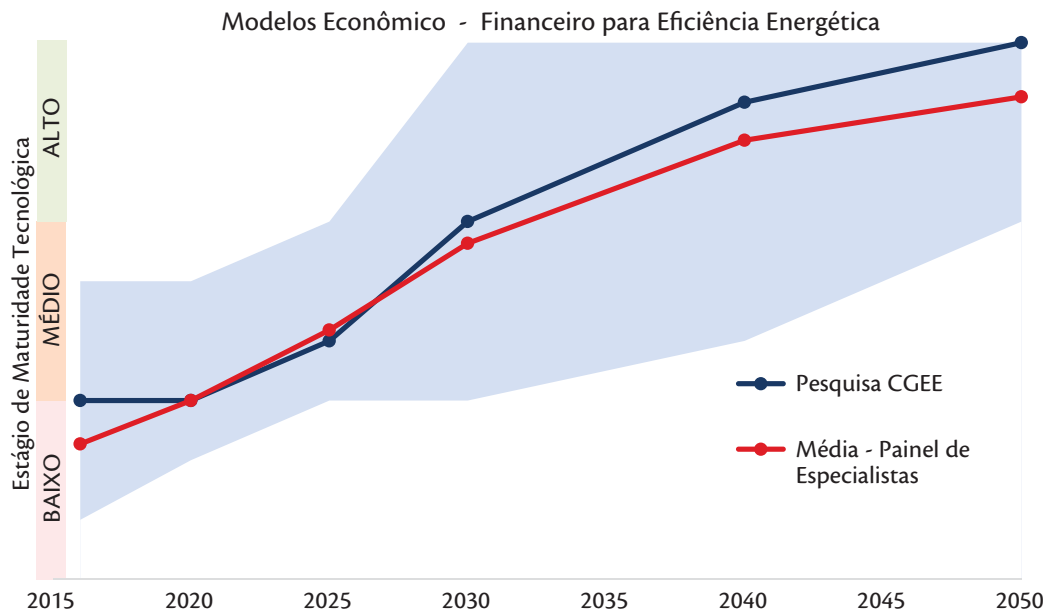


Gráfico 55 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos Econômico-Financeiros para Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Gestão de ativos (modelos, métodos e ferramentas)

Existem centenas de definições de gestão de ativos, cada uma com o seu próprio foco e ponto de vista. A NBR ISO (ABNT-ISO-55000, 2014) define gestão de ativos como “a atividade corporativa

organizada que busca a geração de valores pelos ativos”. Alegre et al. (2010) propuseram uma definição concisa: “a gestão de infraestruturas é uma abordagem de toda a organização que visa assegurar um equilíbrio entre as dimensões de desempenho, risco e custo numa perspectiva a longo prazo”. Nesse contexto, a gestão de ativos demanda a intervenção entre os níveis de planejamento estratégico, tático e operacional. As principais competências envolvidas são: gestão (incluindo economia e sociologia das organizações), engenharia (civil, ambiental, mecânica etc.) e informação (gestão da informação, comunicação, informática etc.).

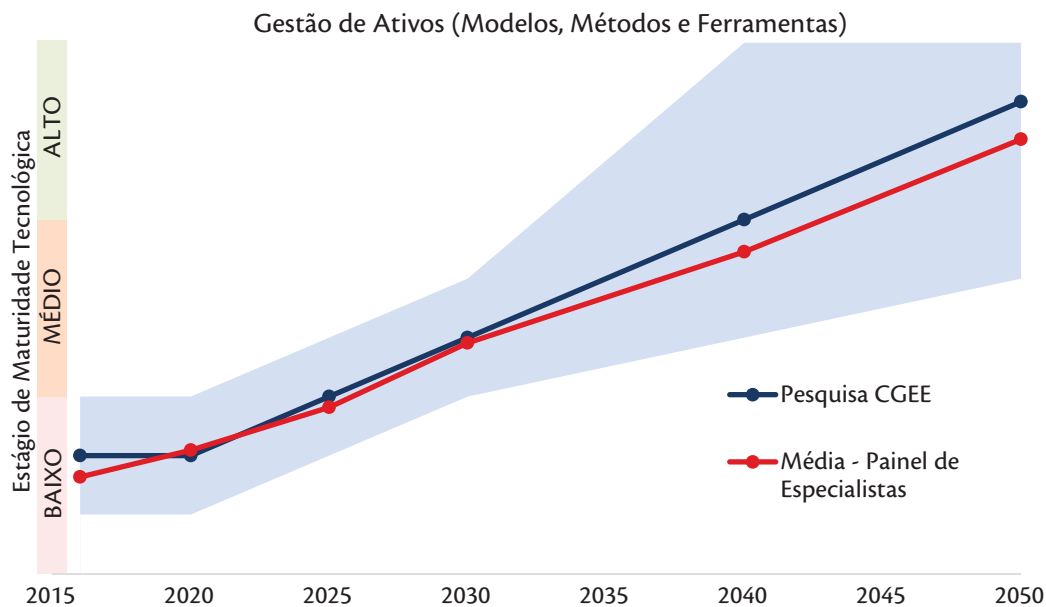


Gráfico 56 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Gestão de Ativos

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Incentivos, tributos e modelos para reconhecimento dos investimentos em eficiência

Esta rota envolve estudos teóricos do campo da economia, do direito e da regulação, necessários para consolidação do ambiente regulatório brasileiro. Nesta rota, serão pesquisados os modelos econômico-financeiros de incentivo aos investimentos em eficiência energética. O impacto dos custos na sociedade também será tema de estudos. Destaca-se pouco esforço e avanços em modelos econômico-financeiros, modernos e eficazes, aceitos pelos órgãos reguladores.

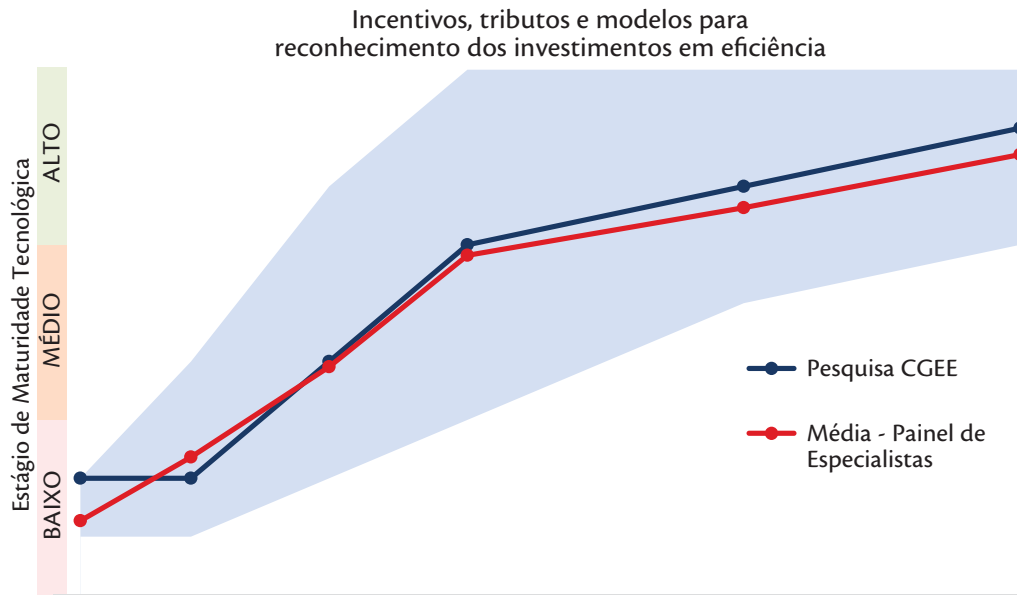


Gráfico 57 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Incentivos, Tributos e Modelos para Reconhecimento dos Investimentos em Eficiência

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 36.

Tabela 36 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos Econômico-Financeiros para Eficiência Energética, Gestão de Ativos (Modelos, Métodos e Ferramentas) e Incentivos, Tributos e Modelos para Reconhecimento dos Investimentos em Eficiência

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Regulação	Modelos econômico-financeiro para eficiência energética	Fatores portadores de futuro	Aprimoramento novos modelos econômico-financeiros para eficiência energética.	Aplicação de projetos-piloto.	Estudo dos modelos de parceria público-privada ou público-público existentes, adaptando à realidade brasileira.			
		Maturidade	MÉDIO		ALTO			
	Gestão de ativos (modelos, métodos e ferramentas)	Fatores portadores de futuro	Integração entre as principais competências envolvidas: gestão, engenharia e informação.		Levantamento de dados sobre a operação e manutenção das empresas.		Processo atualizado e eficaz de versão de ativos.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	
	Incentivos, tributos e modelos para reconhecimento dos investimentos em eficiência	Fatores portadores de futuro	Estudos teóricos do campo da economia, direito e regulação.		Estudos sobre o impacto de custos na sociedade.		Implementação dos modelos de investimentos em eficiência.	
		Maturidade	BAIXO		MÉDIO		ALTO	

Fonte: Elaboração própria.



5.6. Temática: Eficiência operacional

Esta temática desenvolve soluções capazes de otimizar o uso de água e energia. Esta rota apoia-se no arcabouço científico da pesquisa operacional e da modelagem matemática. Nesta rota, parte-se da premissa de que os sistemas de água e esgoto estejam instrumentalizados e com informações advindos de sensores de telemetria, preferencialmente em tempo contínuo. As soluções geradas buscarão resultados para simultaneamente atender proteção ambiental, saúde pública, sustentabilidade econômico-financeira dos prestadores (ISO, 2012), em situações normais e de emergência, promovendo ainda o envolvimento e o engajamento da sociedade por meio das informações tratadas. Na rota metodologia para projetos eficientes, busca-se incluir parâmetros e modelos de cálculo que favoreçam a eficiência energética no saneamento. Atualmente, projetistas desenvolvem projetos com base na norma vigente, criada em um momento em que o setor de saneamento tinha muitos subsídios na tarifa de energia.

Roadmap tecnológico

Rota - Otimização de sistemas de água e de esgoto

A otimização de sistemas, também chamada de pesquisa operacional, faz parte do desenvolvimento científico da Matemática Aplicada. As técnicas de otimização têm evoluído nos últimos anos em decorrência da evolução da computação. Técnicas de otimização baseadas em inteligência artificial têm ganhado espaço no mercado. Em consonância, o rápido avanço da indústria de semicondutores tem contribuído para o desenvolvimento de sensores e circuitos eletrônicos, contribuindo para implantação de redes inteligentes (*smartwater networks*), conforme mencionado por Helmbrecht et al. (2017).

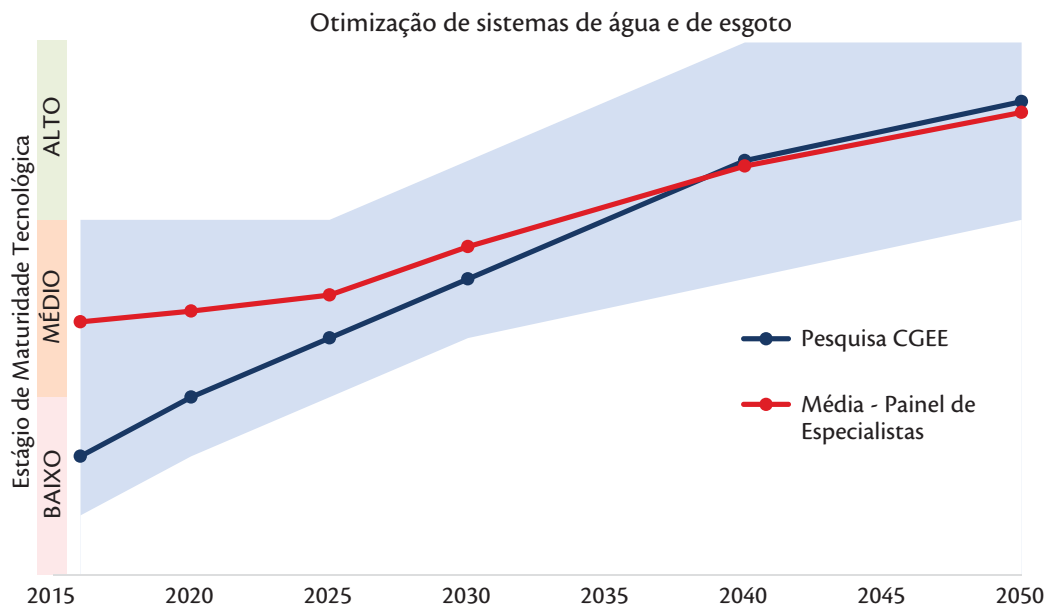


Gráfico 58 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Otimização de Sistemas de Água e de Esgoto

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Metodologias para projetos eficientes

As metodologias referentes aos projetos de eficiência energética precisam ser constantemente revistas. As normas para projetos de concepção de sistemas de água (NBR 12.211; 12.218) e esgoto (NBR 9.648; 9.649) não favorecem soluções para maximizar a eficiência energética. Um exemplo citado foi o lançamento da Metodologia para Diagnóstico Hidroenergético em Sistemas Elevatórios, lançada pela Rede LENHS.²¹

²¹ Disponível em: <<http://www.redelenhs.org>>.

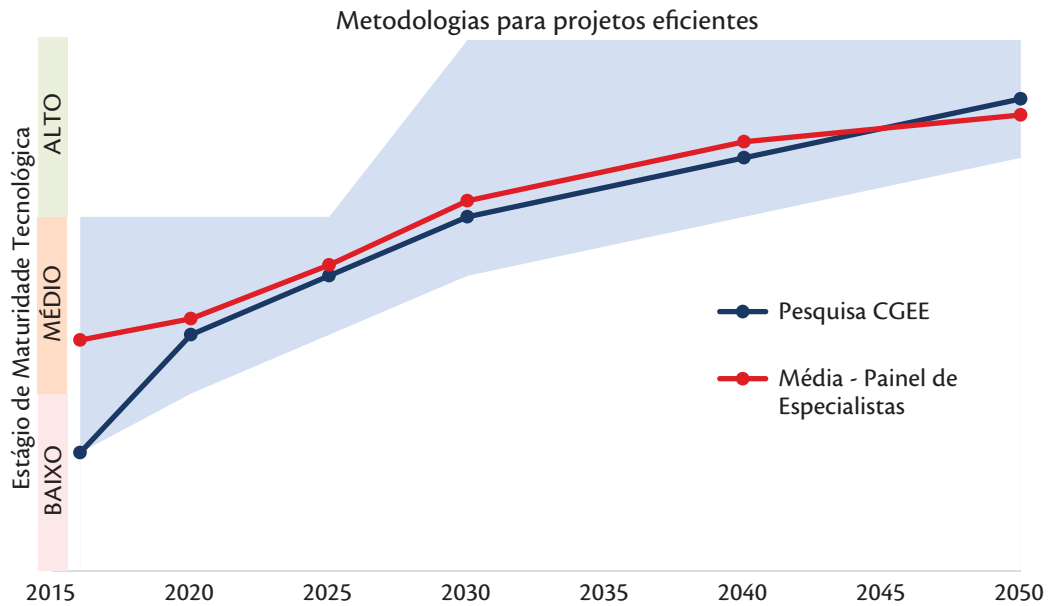


Gráfico 59 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias para Projetos Eficientes

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Otimização de Sistemas de Água e Esgoto e Metodologias para Projetos Eficientes

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática Eficiência Operacional	Otimização de sistemas de água e de esgoto	Fatores portadores de futuro	Aprimoramento científico dos métodos computacionais.		Técnicas de otimização baseadas em inteligência artificial.		Avanço da indústria de semicondutores que apontarão o desenvolvimento de sensores e circuitos eletrônicos contribuindo para implantação de redes inteligentes (<i>smartwater networks</i>).	
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Metodologias para projetos eficientes	Fatores portadores de futuro	Revisão dos métodos referentes aos projetos de eficiência energética.		Desenvolvimento de novos métodos.		Avaliação e coleta de dados dos resultados obtidos com os métodos.	
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

5.7. Temática: Geração de energia

Embora amplamente difundida no mundo, esta temática, no Brasil, ainda apresenta limitações. Encontra-se bem difundida a utilização do metano gerado a partir do tratamento anaeróbio primário de efluentes domésticos (UASB ou lagoas anaeróbias cobertas) e na suinocultura. A rota bioenergia procurará estudar com profundidade a geração de energia a partir de resíduos, baseando-se em países (p.ex., Alemanha) onde tais tecnologias já estão disseminadas. Associados aos estudos de geração de energia, surgem os equipamentos para microgeração, envolvendo não apenas a geração de energia a partir de efluentes, mas também a energia potencial gerada pelas bombas trabalhando como turbina e as válvulas redutoras de pressão nas redes de água.



Roadmap tecnológico

Rota - Bioenergia (gases, hidrogênio, biodiesel)

O aproveitamento de subprodutos do tratamento de água e de esgoto tem sido alvo de estudos por décadas no Brasil. De acordo com Mota et al. (2009), além das vantagens relacionadas ao menor consumo de energia, os efluentes de reatores anaeróbios podem oferecer vantagem adicional na recuperação de nutrientes do esgoto sanitário, principalmente fósforo, uma vez que contém fosfato e nitrogênio amoniacal, nutrientes desejados para o uso agrônômico. Esta rota precisa ser consolidada no Brasil, destacando-se ainda que a geração de energia necessita de equipamentos e ambiente regulatório que favoreça o fornecimento de matéria-prima.

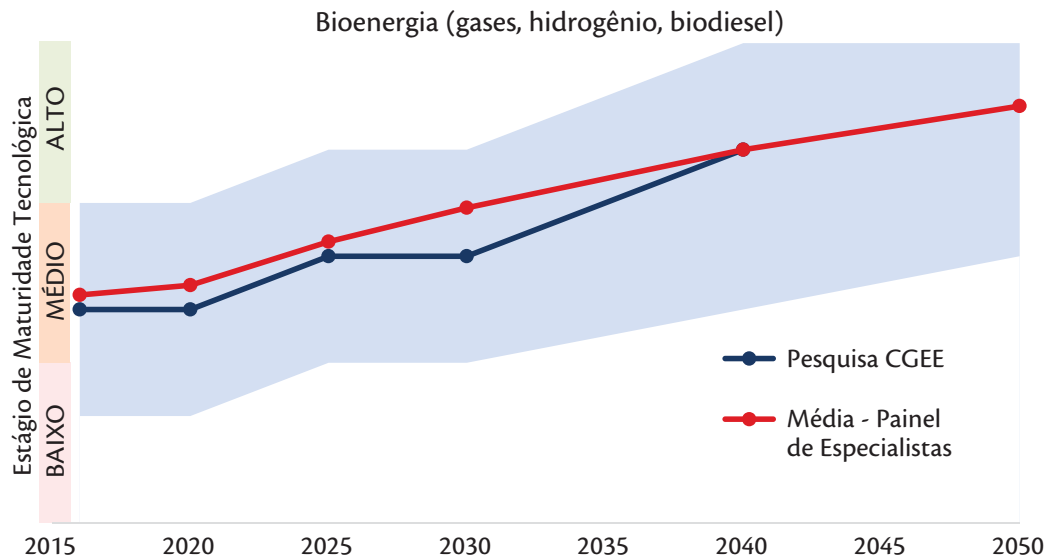


Gráfico 60 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Bioenergia

Fonte: Elaboração própria.

Rota - Equipamentos para microgeração

Os equipamentos para microgeração em sistemas de saneamento ainda são bem escassos no Brasil. Existem poucos grupos de pesquisa atuando nessa linha. Talvez esse tenha sido o motivo de os especialistas acreditarem na maturidade dessa linha em data próxima a 2050.

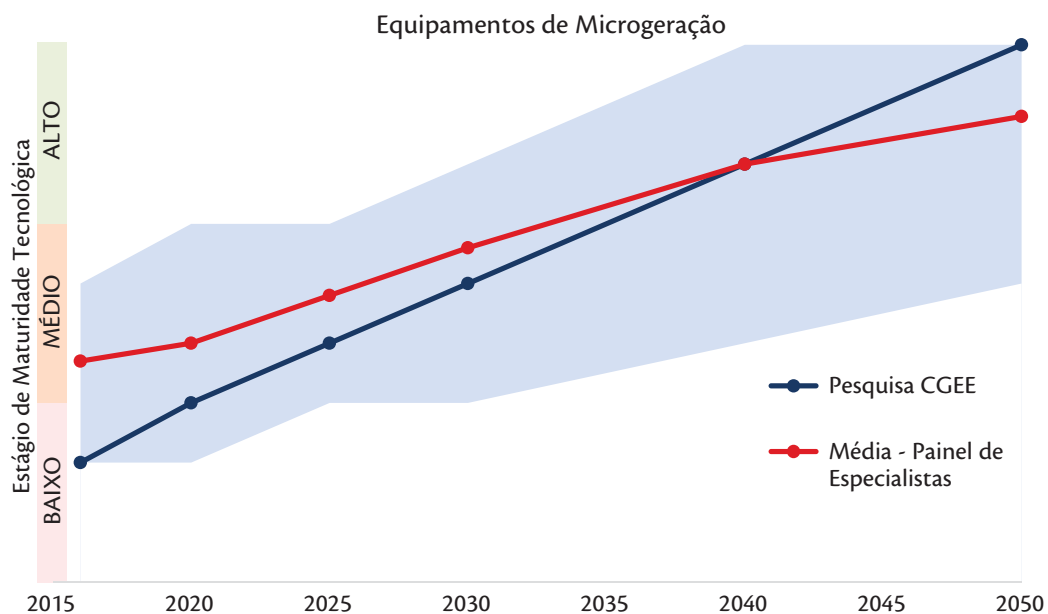


Gráfico 61 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Equipamentos de Microgeração

Fonte: Elaboração própria.

Os fatores portadores de futuro que aportam a evolução da maturidade das respectivas rotas são apresentados na tabela 38.



Tabela 38 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Bioenergia e Equipamentos de Microgeração

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Geração de energia	Bioenergia (gases, hidrogênio, biodiesel)	Fatores portadores de futuro	Consolidação e aplicação dos métodos já desenvolvidos em ambiente laboratorial.			Desenvolvimento de novos equipamentos com foco na geração de energia. Ambiente regulatório favorável ao fornecimento de matéria-prima.		
		Maturidade	MÉDIO			ALTO		
	Equipamentos para microgeração	Fatores portadores de futuro	Estudos avançados sobre equipamentos de microgeração. Fomentando à pesquisa.		Teste em ambiente laboratorial.	Fomento ao melhoramento contínuo de tecnologias e métodos com foco na geração.		Implementação de equipamentos com capacidade de gerar energia no contexto do saneamento.
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO		ALTO		

Fonte: Elaboração própria.

5.8. Priorização

Será apresentada, nesse item, a ordem de prioridade para as rotas abordadas na macrotemática. Conforme mencionado na metodologia, essa priorização é o resultado de um painel de especialistas que levaram em conta a visão de futuro da macrotemática e os respectivos objetivos específicos, além de elementos facilitadores e limitadores observados nas respectivas tabelas de questões portadoras de futuro.

Para essa macrotemática, as seguintes rotas tecnológicas foram priorizadas, conforme apresentado na Tabela 39.

Tabela 39 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Saneamento

Prioridade	Rota Tecnológica	Temática
1	Modelos econômico-financeiros para eficiência energética	Regulação
2	Otimização de sistemas de água e de esgoto	Eficiência operacional
3	Metodologias para projetos eficientes	Eficiência operacional
4	Algoritmos inteligentes pelo lado da demanda	Eficiência pelo lado da demanda
5	Algoritmos inteligentes pelo lado da oferta	Eficiência pelo lado da oferta
6	Equipamentos eficientes para sistemas de água e esgoto (lado da oferta)	Eficiência pelo lado da oferta
7	Medição inteligente (lado da demanda)	Eficiência pelo lado da demanda
8	Equipamentos economizadores pelo lado da demanda	Eficiência pelo lado da demanda
9	Normas sociais	Eficiência pelo lado da demanda
10	Gestão de ativos (modelos, métodos e ferramentas)	Regulação
11	Incentivos, tributos e modelos para reconhecimento dos investimentos em eficiência	Regulação
12	Capacidade de transporte afetada pela qualidade da água	Eficiência pelo lado da oferta
13	Tecnologias de tratamento de água e esgoto pelo lado da oferta	Eficiência pelo lado da oferta
14	Reuso domiciliar	Eficiência pelo lado da demanda
15	Equipamentos para microgeração	Geração de energia
16	Aproveitamento de águas pluviais	Eficiência pelo lado da demanda
17	Reuso industrial	Geração de energia
18	Bioenergia (gases, hidrogênio, biodiesel)	Eficiência pelo lado da demanda

Fonte: Elaboração própria.

Conforme estudos internacionais (WORLD BANK, 2016), o setor de saneamento tem sido encorajado a atrair recursos privados e implementar modelos de negócios, como parceria público-privada. Essa ação prevê negócios de longo prazo, aproximadamente 30 anos, e pode ser um risco para a indústria nacional, considerando que fundos internacionais estão associados com tecnologias produzidas fora do Brasil.



As soluções geradas para atender esse fim devem garantir proteção ambiental e, ao mesmo tempo, saúde pública, garantir a sustentabilidade econômico-financeira dos prestadores (ISO, 2012) por meio de arranjos institucionais de longo prazo, prover tecnologias capazes de prestar serviços em situações normais e de emergência e promover o envolvimento e o engajamento da sociedade por meio das informações do setor e de programas educacionais. Infelizmente, não serão alcançadas as metas previstas no plano de água, esgoto e drenagem, que considera 2030 como horizonte de planejamento, e aquelas previstas no plano de resíduos sólidos para 2031. Segundo dados divulgados no mercado, que compilam informações do SNIS (2016), as metas de universalização só seriam alcançadas após 2050.



Referências



Referências bibliográficas

ABDOU, O.A. Effects of luminous environment on worker productivity in building spaces. *Journal of Architectural Engineering*, v.3, n.3, p.124-132, Sept. 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Manual do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica** Brasília : 2012.

_____. **Programa de Eficiência Energética**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/programa-eficiencia-energetica/-/asset_publisher/2094kK2bH%20DLPmo%20/contente/medicao-e-verificacao-m-v-/656831?inheritRedirect=%20false&redirect=%20http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fpt%2Fprograma-eficiencia-energetica%3%20Fp_p%20_id%3D101_INSTANCE_94kK2bHDLPmo%26p_p_lifecycle%3Do%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%%203D1%%2026p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 20 mai. 2017.

_____. **Relatório síntese dos programas de combate ao desperdício de energia elétrica - Ciclo 1998/1999** Brasília: Aneel, 1999.

_____. **Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010**. Brasília: ANEEL, 2010.

_____. **Resolução Normativa nº. 479, de 03 de abril de 2012**. Brasília: ANEEL, 2012.

_____. **Resolução Normativa 482/2012**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

_____. **Resolução Normativa 687/2015**. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

_____. **Site**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>.

_____. **Supervisão, controle e proteção de sistemas de energia elétrica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1619>. Acesso em: 10 mai. 2017.

AMAN, M.M.; JASMON, G.B.; MOKHLIS, H.; BAKAR, A.H.A. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy*, n. 52, p. 482-500. 2013.

ASARI, M.; FUKUI, K.; SAKAI, S.-I. Life-cycle flow of mercury and recycling scenario of fluorescent lamps in Japan. *Science of the Total Environment*, v. 393, n. 1, p. 1-10. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO. **Abilux Informa**, Ano 4, nº 55, dezembro de 2015. São Paulo: Abilux, 2015. Disponível em: <http://www.abilux.com.br/informes/055_Informa.html>. Acesso em: 27 mai. 2017.

_____. **Abilux Informa**, Ano 6, nº 68, janeiro de 2017. São Paulo: 2017. Disponível em: <http://www.abilux.com.br/informes/o68_Informa.html>. Acesso em: 27 mai. 2017.

_____. **Levantamento do estágio tecnológico do setor de iluminação**. São Paulo: Abilux, 2005. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/pdf/diagnostico.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ABESCO. **ISO 5001 Gestão de Energia**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/iso-50001-gestao-de-energia/>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5101: Iluminação pública — Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 5413: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO - ABRVA. **Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento**. Instalações de refrigeração industrial estão mais eficientes. Disponível em: <<http://abrava.com.br/?p=8827>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

BENCHMARKING INDUSTRIAL. **Programa melhores práticas para excelência industrial**. Disponível em: http://www.mbc.org.br/mbc/uploads/biblioteca/1157402740_17A.pdf. Acesso em: 04/03/2017.

BENCHMARKING INDUSTRIAL. Elsevier Inc., 2004. v.6

BEZERRA, F.N.R. **Sustentabilidade da matriz energética brasileira**. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Economia Rural - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2016.

BORSCHIVER, S.; NAVEIRO, R. **Inovação e difusão tecnológica em automação industrial**. Brasília: SENAI. DN, 2011. 96p. (Série Estudos Setoriais, 11).

BOUBEKRI, M. Life cycle cost analysis of building re-lamping alternatives]. **Renewable Sustainable Energy** v.4, n. 023119, 13 p. 2012.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 jul. 2000.

_____. Ministério de Minas e Energia - MME. **Balanco de energia útil - BEU 2005**. Brasília: MME/FDTE, 2005. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/6_-_Eficiencia_no_Uso_de_Energia/2_-_Balanco_de_Energia_xtil_-_BEU_2005.zip>. Acesso em: 04 set. 2009.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2007. 12 v.



CARVALHO, H.M.B. de. Metodologia de avaliação e aumento da eficiência energética em manufatura de elementos discretos: aplicação em usinagem. 145 p.. Tese (Doutorado em Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2015.

CASAMAYOR, J.L.; SU, D.; Environmental impact assessment of lighting products. **Key Engineering Materials**, n. 486, p. 171-174. 2011.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento das Regiões Norte e Nordeste do Brasil: Novos desafios para a política nacional de CT&I.** - Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=6999>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

CENTRO DE PESQUISAS EM ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL. **Supervisão e controle de sistemas elétricos em tempo real.** Disponível em: <<http://www.cepel.br/linhas-de-pesquisa/menu/supervisao-e-controle-de-sistemas-eletricos-em-tempo-real.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

_____. SAGE - Sistema aberto de gerenciamento de energia. Disponível em: <http://www.cepel.br/produtos/sage-sistema-aberto-de-gerenciamento-de-energia.htm>. Acesso em 10/05/2017.

CHEN, J.; PAN, Y.; RENISON, A. **An investigation into light bulb sustainability**, Ecological Economic Development Studies (SEEDS) Student Reports of University of British Columbia, 21 p. 2009.

CHEN, Z.-L.; WANG, A.-Y. Assessment method for green lighting product. *Chongqing Jianzhu Daxue Xuebao/Journal of Chongqing Jianshu University*, v. 22, n. 3, p. 7-11. 2000.

COLLAÇO, F.M.de A. **Planejamento e políticas públicas: uma análise sobre a gestão Energética Descentralizada em âmbito municipal no Brasil.** 191f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **CIE 145:2002: the correlation of models for vision and visual performance.** Viena CIE, 2002. Disponível em: <http://div1.cie.co.at/?i_ca_id=551&pubid=43>. Acesso em: 8 out. 2014.

_____. **CIE 191:2010: Recommended system for mesopic photometry based on visual performance.** Viena: CIE, 2010. Disponível em: <http://www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=788>. Acesso em: 8 out. 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS - CNI. **Eficiência energética na Indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional.** Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/busca/?q=+efici%C3%Aancia+energ%C3%A9tica++na+ind%C3%BAstri+a%3A>. Acesso em: 20 mai. 2017.

_____. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: uma visão institucional: sumário executivo.** Brasília: CNI, 2010. 58p.

CORTELETTI, D. **Ferramenta de autoavaliação do potencial de eficiência energética aplicada às indústrias do setor metalmeccânico**. 135f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2015.

COSER, D. et al. Licenciamento ambiental aplicado a indústria de papel e celulose: impactos ambientais e medidas mitigadoras, **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas/MS. v.13. n.1. 11 p. 2016.

COSTA, E. et al. Integração da programação da produção com o controle de processo na indústria de processo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2015. Fortaleza: ABEPRO, 2015. 13 p. **Anais...** 2005.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA - IV REGIÃO - CRQ4. **Galvanização e outros processos. tratamentos de superfícies**. Disponível em: http://www.crq4.org.br/quimica.vivatratamento_de_superficies. Acesso em: 15 mai. 2017.

DALE, A.T.; BILEC, M.M.; MARRIOTT, J.; HARTLEY, D.; JURGENS, C.; ZATCOFF, E. Preliminary comparative life-cycle impacts of streetlight technology. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 17, n.4, p. 193-199. 2012.

DIAS, R.M. **Instalação de uma microrrede fotovoltaica conectada/isolada com estocagem e monitoramento com controle da carga alimentada**. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Unisinos, São Leopoldo. 2015.

DUBBERLEY, M.; AGOGINO, A.M.; HORVATH, A. **Life-cycle assessment of an intelligent lighting system using a distributed wireless mote network**; IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, p. 122-127. 2004.

DUTRA, A.J.; SOBRAL, L.G. O processo eletroquímico como alternativa para o tratamento de efluentes cianídricos. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto. v.55 n.4 Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672002000400007#end>. Acesso em: 15 mai. 2017.

ECKELMAN, M.J. **Hybrid life cycle energy assessment of commercial LED lamps**; (2009) 2009 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST '09 in Cooperation with 2009; IEEE International Symposium on Technology and Society, ISTAS, art. no. 5156742, .

ELOHOLMA, M. et al. Mesopic models*/from brightness matching to of different SPD. Part 1 - Visual Performance. **Lighting Research Technology**, v.39, n.3, p. 215-232, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica Ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013a.

_____. **Balanço Energético Nacional BEN 2016: Ano base 2015**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2008. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf. Acesso em: 27 maio 2017.



_____. **Balço Energético Nacional 2008: Ano base 2007**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2008. Disponível em: http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html. Acesso em: 04 set. 2009.

_____. **Nota técnica DEA 13/15: Demanda de Energia 2050**. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br> >. Rio de Janeiro/RJ. 2016. Acesso em: 24 jan.2017.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME, 2007.

_____. **Plano Nacional de Energia - PNE 2050**: Termo de referência. Rio de Janeiro: EPE, 2013b. (Nota Técnica DEA 05/13).

_____. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. v. 8, n. 92. Mai. 2015: Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 17 ago. 2015.

FACCIN, K.; BALESTRIN, A., práticas colaborativas em P&D: um estudo na indústria brasileira de semicondutores. **Revista Adm.Mackenzie**, v.16. n.6. p.190-219. São Paulo. Dez. 2015.

FOSTERVOLD, K.I.; NERSVEEN, J. Proportions of direct and indirect indoor lighting - the effect on health, well-being and cognitive performance of office workers. **Lighting Research Technology**, v.40, p.175-200, 2008

FOTIOS, S.; CHEAL, C. Lighting for subsidiary streets: investigation of lamps visual performance in night-time driving: a review. **Lighting Research Technology**, v.37, n.2, p. 155-175, 2005.

GARRETT, P.; COLLINS, M. **Life cycle assessment of product stewardship options for mercury-containing lamps in New Zealand: Final Report**, Report of Environmental Resources Management (ERM) for the Ministry for the Environment, 171 p. 2009.

GLOBAL COMPASS. **Planejamento estratégico para internacionalização do setor de iluminação**. [S.l.] Global Compass, 2011. (Relatório Final do Projeto Lux Export/APEX 2011-2015).

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v.14, n.3, p.91-97, 2000.

GOMES, C.A. da C. **O Brasil e seus futuros**. Brasília: SENAI.DN., 2010. p. 122-131 (Série de Estudos Educacionais, n.8).

GOMES, V.E. de O. **Método para o aumento de eficiência energética em sistemas de manufatura discreta em nível de produção**. 160f. Tese (Doutorado em Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2015.

GONÇALVES, F. do N. O impacto das novas tecnologias na empresa: Algumas reflexões. **Revista Contemporânea**, n1. 2003/2. UERJ.

GOODMAN, T. et al. **Lighting for improved human performance, health and well-being, and increased energy efficiency - a scoping study for CIE-UK**. Teddington: National Physical Laboratory, 2006. 84p. (Report DQL-OR019).

GOUARDÈRES, F. **Parlamento Europeu**. Artigo 173º do Tratado sobre o funcionamento da União Europeia. Dez/2016. Disponível em: < http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuid=FTU_5.9.1.html>. Acesso em: 18 fev. 2017.

GREENPEACE BRASIL. **Revolução energética** - Rumo a um Brasil com 100% de Energias Limpas e Renováveis. Cenário Brasileiro 2016. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/image/2015/Dezembro/2016/Revolu%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica%202016.%20Greenpeace%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

GRUBLER, A. Transitions in Energy Use. In: **Encyclopedia of energy**. S.I.

GUTIERREZ, R.H.; GONÇALVES, O.A.V.; LUQUETTI, I.J.A. Gestão do consumo de energia elétrica: revisão da literatura nas bases Scopus e Scielo. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 12. & INOVARSE 3., Responsabilidade Social Aplicada. Set.2016 **Anais...** 2016. Disponível em: <<http://www.inovarse.org/node/4607>> Acesso em: 18 fev. 2017.

GYDESEN, A.; MAIMANN, D. **Life cycle analyses of integral compact fluorescent lamps versus incandescent lamps, energy and emissions**, Technical University of Denmark 7 p. 1991.

HANSEN, M., **Energy-efficient lighting lifecycle**, White Paper, Cree, Inc. 2009.

HARTLEY D.; JURGENS, C.; ZATCOFF, E., **Life cycle assessment of streetlight technologies**, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA. 2009.

HENDRICKSON, C.T.; MATTHEWS, D.H.; ASHE, M.; JARAMILLO, P.; MCMICHAEL, F.C. Reducing environmental burdens of solid-state lighting through end-of-life design. **Environ. Res. Lett.** v. 5, n. 014016, 9p. 2010.

HUIJBREGTS, M.A.J. Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. **Journal of Environmental Science & Technology**, v.44, n.6, pp.2189-2196. Jan.2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO, **Portaria n.º 20 de 15 de fevereiro de 2017**, Brasília, MICES, 2017

INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **Guide on interior lighting**. [S.l.]: ICI, 1986. (CIE 29.2)

_____. **Lighting of work places - Part 1: Indoor**. [S.l.]: ICI, 2002. (CIE S 008/E: 2001/ISO 8995-1:2002(E)).

_____. **Recommended system for mesopic photometry based on visual performance**. [S.l.]: ICI, 2010. (CIE 191).



_____. **The correlation of models for vision and visual performance.** [S.l.]: ICI, 2002b. (CIE 145:2002).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Conservation in Buildings and Community Systems. **Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings.** Paris: IEA/ECBCS, 2010. (Annex 45)

_____. **Energy Efficiency Market Report 2015.** Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MediumTermEnergyefficiencyMarketReport2015.pdf>>. Acesso em 05 ago. 2015.

_____. **World energy outlook 2008.** Paris: OECD/ IEA, 2008.

IZSÓ, L. et al. Psychophysiological, performance and subjective correlates of different lighting conditions. **Lighting Research Technology**, v.41, p.349-360, 2009.

KRAEMER, M.E.P. **Resíduos industriais e a questão ambiental associada à contabilidade aplicada ao ambiente natural.** Disponível em: <http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-08/index.php/pensarcontabil/article/viewFile/45/45> Acesso em: 04 mar. 2017.

LANDIS, A. E.; BILEC, M. M.; RAJAGOPALAN, N. Life cycle assessment for evaluating green products and materials. In: US-JAPAN WORKSHOP ON LIFE CYCLE ASSESSMENT OF SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE MATERIALS SAPPORO, Japan, 6 p. 2009. **Proceedings...** Japan: 2009.

LIM, S.-R.; KANG, D.; OGUNSEITAN, O.A.; SCHOENUNG, J.M. Potential environmental impacts from the metals in incandescent, compact fluorescent lamp (CFL), and lightemitting diode (LED) bulbs. **Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 1040-1047. 2013.

LOE, D.L. Energy efficiency in lighting - considerations and possibilities. **Lighting Research Technology**, v.41, p.209-218, 2009.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.23, n.65, p.121-130, 2009.

MATTHEWS, D.H.; MATTHEWS, H.S.; JARAMILLO, P.; WEBER, C.L. Energy consumption in the production of high-brightness light-emitting diodes. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE SYSTEMS AND TECHNOLOGY, ISSST '09 in Cooperation with 2009; IEEE International Symposium on Technology and Society, ISTAS, art. no. 5156691, 2009.

MAYHOUB, M.S.; CARTER, D.J. Hybrid lighting systems: performance and design. **Lighting Research Technology**, v.44, p.261-276, 2012.

MICHAUD, R.; BELLEY, C. **Comparative life cycle assessment of light bulbs: incandescents and compact fluorescents.** Interuniversity Research Centre for the Life Cycle of Products, Report for Hydro-Québec Distribution, 84p. 2008.

MORAIS, L.C. de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras.** 128f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia, Bauru. 2015.

N¹⁴ ENERGY LIMITED AND PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, **Life-cycle assessment of energy and environmental impacts of led lighting products - Part 2: LED Manufacturing and Performance**. Report for Solid-State Lighting Program of Energy Efficiency and Renewable Energy - U.S. Department of Energy, 78 p. 2012.

NAVIGANT CONSULTING, INC., **Life-Cycle assessment of energy and environmental impacts of led lighting products part I: review of the life-cycle energy consumption of incandescent, compact fluorescent, and led lamps**, (2012) Report for Solid-State Lighting Program of Energy Efficiency and Renewable Energy - U.S. Department of Energy, 52 p.

NERI, P.; BUTTOL, P.; DANIELLI, G.; PARESCHI, R.; TANI, G. Life cycle assessment of an emergency lamp manufactured by the firm BEGHELLI. In: THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, 4193, p. 96-105. 2001. **Proceedings of SPIE**. 2001.

OKIGAMI, P.T. **Avaliação das ferramentas EVSM e MEFA para modelagem do fluxo de energia em projetos de eficiência energética na indústria**. 70f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2015.

OLIVEIRA, N.; SANTOS, F.A. Análise da cadeia de suprimentos de uma indústria de bens de capital. In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA, 8., Sistemas produtivos: da Inovação à sustentabilidade. São Paulo, 2013. 13p. Anais... São Paulo: 2013. Disponível em: < http://www.cps.sp.gov.br/pos-graduacao/workshop-de-pos-graduacao-e-pesquisa/008-workshop-2013/trabalhos/logistica_e_gestao_da_cadeia_de_suprimentos/120484_737_749_FINAL.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2017.

OLIVETTI, E.A.; DUAN, H.; KIRCHAIN, R.E. **Exploration into the environmental assessment of electrical products- phase i: method development for carbon footprint assessment as applied to motor and lighting products**, Materials Systems Laboratory - MIT, Report for National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 51 p. 2012.

OSRAM. **Life cycle assessment of illuminants a comparison of light bulbs, compact fluorescent lamps and led lamps**, Osram, Alemanha: 2009.

PARSONS, D. The environmental impact of compact fluorescent lamps and incandescent lamps for australian conditions. University of Southern Queensland, **The Environmental Engineer**, v.7, n. 2. p. 8-14. 2006.

PFEIFER, R.P. Comparison between filament lamps and compact fluorescent lamps, **Int. J. LCA** v. 1, n. 1, p. 8-14. 1996.



- QUIRK, I. **Life-Cycle assessment and policy implications of energy efficient lighting technologies**, University of California, 14 p. 2009.
- RAMROTH, L. **Comparison of life-cycle analyses of compact fluorescent and incandescent lamps based on rated life of compact fluorescent lamp**, Rocky Mountain Institute, Feb. 2008.
- REIS, L.B. **Geração de energia elétrica**. 2. ed., São Paulo: Manole Ed. 2011.
- RIBEIRO, J, F. et al. **A integração de sistemas industriais de tecnologias avançadas de manufatura em ambiente de ensino de engenharia**. COBENGE, 2003.
- RUTTER, P.; KEIRSTEAD, J. A brief history and the possible future of urban energy systems. **Energy Policy**, v.50, p.72-80, Nov. 2012.
- SCHNAPP, R. **International energy agency**. energy statistics. França: 7 jun. 2012. Disponível em:< https://www.iea.org/media/workshops/2012/eeindicators/Session5a_Schanapp.pdf >. Acesso em 20 jun. 2013.
- SILVA, M.C. **Ações de Eficiência energética - um estudo econômico aplicado em sistemas de iluminação**. 1. ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2011, 88 p.
- SILVA, L. L. F. **Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- SILVA NETO, A.M. **Método para avaliação do grau de maturidade no processo de desenvolvimento de produtos na indústria metal-mecânica**. 161f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2015.
- SONEJI, H. **Life cycle energy comparison of compact fluorescent and incandescent light bulbs**. Sustainability Science Paper, LUMES, Lund University, Sweden, 8 p. 2008.
- TÄHKÄMÖ, L.; BAZZANA, M.; RAVEL, P.; GRANNEC, F.; MARTINSONS, C.; ZISSIS, G. Life cycle assessment of light-emitting diode downlight luminaire-a case study. **International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-10. Article in Press. 2012.
- TÄHKÄMÖ, L.. PUOLAKKA, M.. HALONEN, L.. ZISSIS, G. Comparison of life cycle assessments of LED light sources. **Journal of Light and Visual Environment**, v. 36, n. 2, p. 44-53. 2012.
- TÄHKÄMÖ, L.; YLINEN, A.; PUOLAKKA, M.; HALONEN, L. Life cycle cost analysis of three renewed street lighting installations in Finland. **Int J Life Cycle Assess** n.17, p. 154-164. 2012.
- TECHATO, K.; WATTS, D.J.; CHAIPRAPAT, S. Life cycle analysis of retrofitting with high energy efficiency air-conditioner and fluorescent lamp in existing buildings. **Energy Policy** n. 37, p. 318-325, 2009.

TICHELEN, P.V. et al. **Preparatory studies for eco-design requirements for EuPs: Final Draft Lot: 9: Public Street Lighting**. Report of VITO for the European Commission DGTREN unit D3, 2007,344 p.

_____. **Preparatory studies for eco-design requirements of EuPs: Final Report, Lot 8: Office Lighting**. Report of VITO for the European Commission DGTREN unit D3, 2007, 110 p.

_____. **Preparatory studies for eco-design requirements of EuPs: Lot 19: Domestic Lighting, Part 1- Non-directional Light Sources**. Report of VITO for the European Commission DGTREN unit D3, 2009, 657 p.

ULRICH, K. **Tecnologia de filtragem torna empresa líder em roupas de proteção**. Disponível em: < <http://www.dw.com/pt-br/tecnologia-de-filtragem-torna-empresa-l%C3%ADder-em-roupas-de-prote%C3%A7%C3%A3o/a-17015299> >. Acesso em: 05 mar. 2017.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Life-cycle assessment of energy and environmental impacts of led lighting products - Part 2: LED Manufacturing and Performance**. Washington DC, DOE, 2012b. 78p. (Report of Solid-State Lighting Program of Energy Efficiency and Renewable Energy).

VALENTE JUNIOR, P. de A.F. **Gestão energética e de resíduos sólidos no Brasil: dialética destas políticas sob a ótica do direito ambiental**. 133f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) - Escola Superior Dom Helder Câmara, Bauru. 2013.

VEITCH, J.A. et al. Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: a linked mechanisms approach. **Lighting Research Technology**, v.40, p.133-151, 2008.

VIRIDIS SOLUÇÕES EM ENERGIA S.A. **ISO 50001** Porque sua empresa deve se certificar? Minas Gerais: 2016. Disponível em: <https://viridis.energy/pt/blog/iso-50001-porque-sua-empresa-deve-se-certificar?gclid=CjoKEQjwhpnGBRDkPjY-y9rdutABEiQAWNcslOO4dOvc5NAA2b3kfmM_1FML63f7eSARG_bBAlMWLUaAvEB8P8HAQ>. Acesso em: 03 abr. 2017.

WAKI, K. Impact assessment of life cycle assessment case study of LCA of lighting fixtures. **Nihon Enerugi Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Energy**, v.78, n. 4, p. 280-286.1999.

WANG, C.; SELIGER, G. Energy-oriented layout planning for production facilities. In: TOWARDS LIFE CICLE SUSTENTABILITY MANAGEMENT, 2011. Berlin. **Proceedings...** Berlin: LCM, 2011. p.122-131.

WANG, N.; BOUBEKRI, M. Design recommendations based on cognitive, mood and preference assessments in a sunlit workspace. **Lighting Research Technology**, v.43, p.55-72, 2011.

WELZ, T.; HISCHIER, R.; HILTY, L.M. Environmental impacts of lighting technologies - Life cycle assessment and sensitivity analysis. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 31, n. 3, p. 334-343. 2011.

WILHELM, B. et al. Increased illuminance at the workplace: Does it have advantages for daytime shifts? **Lighting Research Technology**, v.43, p.185-199, 2011.



WITTMANN, D. **A indústria de energia elétrica no Brasil e o desenvolvimento sustentável: uma proposta para o horizonte 2050 à luz da teoria de sistemas.** 200f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Ecoefficiency: creating more value with less impact.** Geneve, WBCSD, 2000b.

YOUNG, R. **Global manufacturing trends: what can we learn from the HB LED market explosion?** Austin: IMS Research, 2012.

ZONATTI, W.F. **Ageração de resíduos sólidos da indústria têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem.** 250f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016.

Anexo - Planilha de indicadores

Ver documento em formato digital disponível em <https://www.cgee.org.br/energia>.



Listas



Lista de Figuras

Figura 1 - Custos das Medidas de Eficiência Energética Estudadas para os Setores Comercial e Público	44
Figura 2 - Consumo Final Energético	123
Figura 3 - Níveis da Cadeia Produtiva	128

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Identificação e Aproveitamento de Padrões Internacionais	59
Gráfico 2 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Modelos Analíticos Próprios	60
Gráfico 3 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Novos Estudos de Aspectos Comportamentais	61
Gráfico 4 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Participação em Normas e Recomendações Internacionais	64
Gráfico 5 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Tecnologias para Agregar Valor Local (cadeia produtiva)	65
Gráfico 6 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Atualização de Sistemas para Tecnologia a LED	67
Gráfico 7 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Padrões para Tecnologia a OLED	68
Gráfico 8 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Desenvolvimento de Materiais, Componentes e Dispositivos para Serviços Ancilares	70
Gráfico 9 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Condicionamento Passivo	87
Gráfico 10 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Iluminação Natural	88
Gráfico 11 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Processo de Projeto	90
Gráfico 12 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Simulação Computacional	91
Gráfico 13 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Integração de Sistemas	92
Gráfico 14 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Qualidade Ambiental, Conforto Térmico e Luminoso	94
Gráfico 15 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Operação, Manutenção, Controles e Automação	95
Gráfico 16 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Iluminação Artificial	97
Gráfico 17 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Energias Renováveis	98
Gráfico 18 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aquecimento e Resfriamento Eficientes (água e ar)	100
Gráfico 19 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Envoltórias Dinâmicas	101
Gráfico 20 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Materiais, Componentes e Sistemas Transparentes/Translúcidos de Alto Desempenho	103
Gráfico 21 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Materiais, Componentes e Sistemas Opacos de Alto Desempenho	104
Gráfico 22 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Urbanismo Eficiente	106
Gráfico 23 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Microclimas, Ilhas de Calor e Mudanças Climáticas	107



Gráfico 24 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistemas de Certificação	109
Gráfico 25 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias para Otimização de Bases de Dados	110
Gráfico 26 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Caracterização de Materiais Construtivos	112
Gráfico 27 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Análise do Ciclo de Vida Energético	113
Gráfico 28 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Motores Elétricos	130
Gráfico 29 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistemas Térmicos	131
Gráfico 30 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Resfriamento e Refrigeração	132
Gráfico 31 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Processos de Separação	134
Gráfico 32 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Processos Termo e Eletroquímicos	135
Gráfico 33 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistemas de Ar Comprimido	136
Gráfico 34 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Uso de Resíduos Industriais	138
Gráfico 35 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Bombeamento	139
Gráfico 36 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Transporte de Massa	141
Gráfico 37 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Ventilação	142
Gráfico 38 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Padrões, Normas e Regulamentos	144
Gráfico 39 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Sistema de Supervisão e Controle de Energia	145
Gráfico 40 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Indicadores e Benchmark	147
Gráfico 41 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Avaliação de Resultado de Programas EE na Indústria	148
Gráfico 42 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Gerenciamento pelo Lado da Demanda	150
Gráfico 43 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Compartilhamento Energético em Complexos Industriais	151
Gráfico 44 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Integração de Fontes Energéticas Dentro da Unidade Industrial	152
Gráfico 45 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Reuso Industrial	165
Gráfico 46 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Reuso Domiciliar	166
Gráfico 47 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Aproveitamento de Águas Pluviais	167
Gráfico 48 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Normas Sociais	169
Gráfico 49 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Medição Inteligente	170
Gráfico 50 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Algoritmos Inteligentes	172
Gráfico 51 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Equipamentos Economizadores	173
Gráfico 52 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Tecnologias de Tratamento de Água e Esgoto	175
Gráfico 53 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Equipamentos Eficientes para Sistemas de Água e Esgoto	176

Gráfico 54 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Capacidade de Transporte Afetada pela Qualidade de Água	177
Gráfico 55 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Modelos Econômico-Financeiros para Eficiência Energética	179
Gráfico 56 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Gestão de Ativos	180
Gráfico 57 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Incentivos, Tributos e Modelos para Reconhecimento dos Investimentos em Eficiência	181
Gráfico 58 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Otimização de Sistemas de Água e de Esgoto	184
Gráfico 59 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Metodologias para Projetos Eficientes	185
Gráfico 60 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Bioenergia	187
Gráfico 61 - Evolução da Maturidade Tecnológica da Rota Equipamentos de Microgeração	188



Lista de Tabelas

Tabela 1 - Consumo por Classe - Brasil em GWh	40
Tabela 2 - Custo da Energia Conservada por Uso Final	41
Tabela 3 - Consumo Final de Energia Elétrica para Iluminação por Setor	42
Tabela 4 - Parâmetros de Qualidade da Iluminação para Definição da Unidade Funcional	49
Tabela 5 - Consumo de Energia Elétrica (estimativa para 2017)	55
Tabela 6 - Consumo para Iluminação (estimativa para 2017)	55
Tabela 7 - Métrica para Indicadores e Cenário Geral Utilizados na Planilha de Indicadores	56
Tabela 8 - Dimensões e Questões Externas à Pesquisa com Risco de Influência sobre o Sucesso do Planejamento	57
Tabela 9 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Identificação e Aproveitamento de Padrões Internacionais, Desenvolvimento de Modelos Analíticos Próprios e Novos Estudos de Aspectos Comportamentais	62
Tabela 10 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Participação em Normas e Recomendações Internacionais e Desenvolvimento de Tecnologias para Agregar Valor Local (cadeia produtiva)	66
Tabela 11 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Atualização de Sistemas para Tecnologia a LED, Desenvolvimento de Padrões para Tecnologia a OLED e Desenvolvimento de Materiais, Componentes e Dispositivos para Serviços Ancilares	71
Tabela 12 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Sistemas de Iluminação Eficientes	72
Tabela 13 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Condicionamento Passivo e Iluminação Natural	89
Tabela 14 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Processo de Projeto, Simulação Computacional e Integração de Sistemas	93
Tabela 15 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Qualidade Ambiental, Conforto Térmico e Luminoso e Operação, Manutenção, Controles e Automação	96
Tabela 16 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Iluminação Artificial e Energias Renováveis	99
Tabela 17 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Aquecimento e Resfriamento Eficientes (água e ar) e Envoltoérias Dinâmicas	102
Tabela 18 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Materiais, Componentes e Sistemas Transparentes/Translúcidos de Alto Desempenho e Materiais, Componentes e Sistemas Opacos de Alto Desempenho	105
Tabela 19 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Urbanismo Eficiente e Microclimas, Ilhas de Calor	108
Tabela 20 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Sistemas de Certificação e Metodologias para Otimização de Bases de Dados	111

Tabela 21 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Caracterização de Materiais e Análise do Ciclo de Vida Energético	114
Tabela 22 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Edificações Eficientes	115
Tabela 23 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Sistema de Resfriamento e Refrigeração, Sistemas Térmicos e Motores elétricos	133
Tabela 24 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Processos de Separação, Processos Termo e Eletroquímicos e Sistemas de Ar Comprimido	137
Tabela 25 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Uso de Resíduos Industriais e Sistema de Bombeamento	140
Tabela 26 - Fatores Portadores de Futuro da Evolução do Sistema de Transporte de Massa e Sistema de Ventilação	143
Tabela 27 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Sistema de Transporte de Massa e Sistema de Supervisão e Controle de Energia	146
Tabela 28 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Indicadores e <i>Benchmark</i> e Avaliação de Resultado de Programas EE na Indústria	149
Tabela 29 - Fatores Portadores de Futuro da Evolução das Rotas	153
Tabela 30 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Indústria	154
Tabela 31 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Reuso Industrial, Reuso Domiciliar e Aproveitamento de Águas Pluviais	168
Tabela 32 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Normas Sociais e Medição Inteligente	171
Tabela 33 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Algoritmos Inteligentes, Equipamento Economizadores	174
Tabela 34 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Algoritmos Inteligentes e Tecnologias de Tratamento de Água e Esgoto	176
Tabela 35 - Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas equipamentos eficientes para sistemas de água e esgoto e capacidade de transporte de afetada pela qualidade da água	178
Tabela 36 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Modelos Econômico-Financeiros para Eficiência Energética, Gestão de Ativos (Modelos, Métodos e Ferramentas) e Incentivos, Tributos e Modelos para Reconhecimento dos Investimentos em Eficiência	182
Tabela 37 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Otimização de Sistemas de Água e Esgoto e Metodologias para Projetos Eficientes	186
Tabela 38 - Fatores Portadores de Futuro para as Rotas Tecnológicas Bioenergia e Equipamentos de Microgeração	189
Tabela 39 - Ordem de Prioridade para as Rotas Abordadas na Macrotemática Saneamento	190



Lista de siglas e abreviaturas

ABDI | Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABILUX | Associação Brasileira da Indústria da Iluminação
ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA | Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento
ACCV | Avaliação do custo do ciclo de vida
ACV | Avaliação de ciclo de vida
ANEEL | Agência Nacional de Energia elétrica
APEX | Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos
BEN | Balanço Energético Nacional
BEU | Balanço de Energia Útil
BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CED | Cumulative energy demand
CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CIE | Commission Internationale de l'Éclairage
CNI | Confederação Nacional da Indústria
CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COB | Chip on board
CT&I | Ciência, tecnologia e inovação
EE | Eficiência energética
EPE | Empresa de Pesquisa Energética
ESCO | Empresa de serviços energéticos ou *energy service company*
EUA | Estados Unidos da América
FINEP | Financiadora de Estudos e Projetos
GEE | Gases de efeito estufa
IEA | International Energy Agency
IEC | International Electrotechnical Commission
IICA | Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
IoT | Internet of Things
IRC | Índice de reprodução de cores
ISO | International Organization for Standardization
LCA | Life cycle assessment
LED | Light-emitting diode
M&V | Medição e verificação
MCTIC | Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC | Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MEE | Medidas de eficiência energética
MME | Ministério de Minas e Energia

O&M | Operação e manutenção
ODS | Objetivos do desenvolvimento sustentável
OEM | Original equipment manufacturer
OLED | Organic Light Emitting Diode
ONS | Operador Nacional do Sistema Elétrico
OWC | Optical wireless communication
PCM | Phase Change Materials
PD&I | Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDE | Plano Decenal de Energia
PEE | Programa de Eficientização Energética
PIB | Produto Interno Bruto
PNE | Plano Nacional de Energia
PoE | Power Over Ethernet
PROÁLCOOL | Programa Nacional do Álcool
RAIS | Relação Anual de Informações Sociais
REI | Redes Elétrica Inteligentes
SCADA/SEM | Supervisory Control and Data Acquisition/Energy Management Systems
SIN | Sistema Interligado Nacional
TCC | Temperatura de cor correlata
UE | União Europeia
UF | Unidade da Federação
UGR | Unified glare rating
ZEB | Zero energy building

Empresas:



Comitê estratégico:





Acesse www.cgee.org.br/energia



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

