



Redes Eléctricas Inteligentes: contexto nacional



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

PRESIDENTE

Mariano Francisco Laplane

DIRETOR EXECUTIVO

Marcio de Miranda Santos

DIRETORES

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Gerson Gomes

EDIÇÃO E REVISÃO | *Tatiana de Carvalho Pires*

DESIGN GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO | *Eduardo Oliveira*

INFOGRÁFICOS | *Luiza Folle*

APOIO TÉCNICO AO PROJETO | *Flávia Pinto e Marina Brasil*

Catálogo na Fonte

C389r

Redes elétricas inteligentes: contexto nacional. – Brasília, DF :
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.

172 p.; il, 24 cm

1. Rede Elétrica. 2. Tecnologias do Sistema Elétrico. I. CGEE. II. Título.

CDU 621.3(81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cggee.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 3º Termo Aditivo/Ação: Temas Estratégicos para o Desenvolvimento do Brasil. - Subação: Panorama Internacional da Implementação de Redes Inteligentes no Setor Elétrico - 51.51.4/MCTI/2011.

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 citada a fonte.

Sugestão de citação: CGEE, título, autoria, ano de publicação, CGEE: Brasília.

Tiragem impressa: 600 unidades. Impresso em 2012.



Redes Eléctricas Inteligentes: contexto nacional

SUPERVISÃO

Marcio de Miranda Santos

CONSULTORES

Alzenira da Rosa Abaide
Fernando Luiz Marcelo Antunes
Janaína Barbosa Almada
João Victor C. Barros
Raimundo Furtado Sampaio
Reginaldo Silva dos Anjos
Ruth Pastôra Saraiva Leão

EQUIPE TÉCNICA DO MCTI

Adriano Duarte
Eduardo Soriano
Jairo José Coura
Marcos de Oliveira Costa
Samira Souza

EQUIPE TÉCNICA CGEE

Ceres Cavalcanti (Coordenadora)
Kátia Beltrão



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Onde o futuro está presente



COLABORADORES

PARTICIPANTES DAS OFICINAS

Adriano Duarte | MCTI
Adrimar Nascimento | MME
Alzenira Abaide | UFSM
Anderson C. A. Nascimento | UNB
Angelo Luiz de Franceschi | ONS
Antônio Juliani | MDIC
Bernardo Wadhy Beneditini | EMBRAER
Bruno Regueira da Costa | IBM
Carla Naves | ABDI
Carlos Eduardo Cabral Carvalho | ANEEL
Carlos Frees | ABDI
Ceres Cavalcanti | CGEE
Daniel Senna Guimarães | CEMIG
Davi Leite | ANEEL
Décio Teixeira | ONS
Djalma Mosqueira Falcão | COPPE/UFRJ
Eduardo do Couto e Silva | CGEE
Eduardo Soriano Lousada | MCTI
Edvaldo Mendonça | América Latina GE Energy
Elaine França Fonseca | Eletrobrás
Fabiana Devienne | MME
Fábio Cavalieri | CEPEL
Fábio Maia | CESAR
Fabio Cavalcante | MDIC
Fernando Luiz Marcelo Antunes | DEE/UFC
Fernando Maia | ABRADDEE
Georges Daniel | UNB
Gustavo de Aguiar Rabelo | IBM
Hector Andres Volskis | ONS

Jairo Coura | MCTI
Jefferson Soares | EPE
João Bosco de Carvalho Lima Freitas | MCTI
José Gabino Matias dos Santos | ABRADDEE
José Henrique Diegues | MCTI
Juliana Falcão | Embaixada Britânica
Julieta Diederichsen | Embraer
Kátia Regina de Alencar Beltrão | CGEE
Leisa Souza | Embaixada Britânica
Leonardo Costa Ribeiro | INMETRO
Luciana Carrijo | Embaixada Britânica
Luis Filomeno Fernandes | UNB
Luiz Cesar Corte | ABRADDEE
Luiz Fernando Rust da Costa Carmo | INMETRO
Márcio Venício Pilar Alcântara | ANEEL
Marco Aurélio Palhas de Carvalho | INEE
Marcos Costa | MCTI
Marcos Franco | MME
Marcos Venicius Vasconcelos | MME
Mariano Laplane | CGEE
Máximo Luiz Pompermayer | ANEEL
Moacir Giansante | CPqD
Neil Hughes | National Grid
Nelson Fonseca Leite | ABRADDEE
Nelson Mincov | CPqD
Ronaldo Motta | MCTI
Samira Sousa | MCTI
Thaise Kemer | GIZ
Torsten Schwab | GIZ

Ação realizada em apoio aos trabalhos da Comissão Técnica MCTI/ANEEL/CNPq, criada pela portaria conjunta MCT e ANEEL nº 230, de 16 de março de 2010.



SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	7
APRESENTAÇÃO	13
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO	15
1.1. Conceitos e características das redes elétricas inteligentes	17
1.2. Visões e motivadores	21
CAPÍTULO 2	
INICIATIVAS INTERNACIONAIS	33
2.1. Principais projetos no mundo	33
2.2. União Europeia	37
2.3. Ásia pacífico	50
2.4. Estados Unidos da América (EUA)	51
2.5. Conclusões e recomendações	57
CAPÍTULO 3	
INICIATIVAS NACIONAIS	59
3.1. Iniciativas de PD&I nacionais	59
3.2. Projetos de concessionárias	63
3.3. Universidades e centros de pesquisa	67
3.4. Empresas atuantes na área	74



3.5. Patentes	80
3.6. Regulamentação	84
3.7. Conclusões e recomendações	88

CAPÍTULO 4

TECNOLOGIAS	91
4.1. Sistema elétrico	93
4.2. Automação e medição inteligente	101
4.3. Sistemas de gerenciamento de energia	107
4.4. Veículo elétrico	126
4.5. Desafios	127
4.6. Considerações finais e recomendações	133

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	137
-----------------------------------	-----



SUMÁRIO EXECUTIVO

Redes Elétricas Inteligentes (REI) é hoje um tema amplamente discutido em todo o mundo. Trata-se de um modelo tecnológico com relativa complexidade conceitual, onde é considerada uma vasta diversidade de tecnologias, de equipamentos e de fabricantes, com uma gama de benefícios associados como inovação tecnológica, desenvolvimento de novos produtos e serviços e novas oportunidades de mercado, atrelados a toda cadeia de provimento e consumo da energia elétrica.

O Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), incumbido de suas funções, encomendou ao CGEE um estudo sobre Redes Elétricas Inteligentes com o objetivo de congrugar uma visão panorâmica sobre as transformações nas redes de energia elétrica. O estudo tem como objetivo subsidiar a inserção do tema Redes Elétricas Inteligentes na política de CT&I em energia.

O tema é abrangente e promissor em inovações e oportunidades, portanto, o estudo destina-se a apresentar um resumido panorama, nacional e internacional sobre o tema, com o olhar apenas em energia elétrica, e conclui com recomendações de grandes linhas que podem ser foco de ações de CT&I.

As Redes Elétricas Inteligentes podem ser compreendidas como a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final. A implementação da REI possibilita uma gama de novos serviços, abrindo a possibilidade de novos mercados. Desta forma, a REI se apresenta como uma das fortes tendências de modernização do sistema elétrico em vários países.

Como um tema relativamente novo e com alto potencial de desenvolvimento de CT&I, vários países vem trabalhando sua estratégia no assunto. Em países europeus e nos EUA já são observadas iniciativas implantadas de projetos de infraestrutura de medição inteligente avançada e de geração distribuída, que são os passos iniciais para uma futura rede de energia elétrica inteligente. Países como China e Coréia do Sul têm se destacado em investimentos futuros de médio e longo prazos para a criação desse tipo de rede elétrica.



Apesar de identificar diferentes iniciativas em vários países e concluir que a REI se mostra como uma forte tendência mundial, os motivadores que levam cada país a investir nesta tendência são diferentes, conforme mostra a Figura 1. De um modo geral, a Europa investe como uma ação para a redução de emissões. Os EUA, por sua vez, foca na melhoria da eficácia da rede, e a Ásia e Pacífico como uma ferramenta que possibilita ações para uma melhora no atendimento à demanda e a busca por um mercado tecnológico emergente.

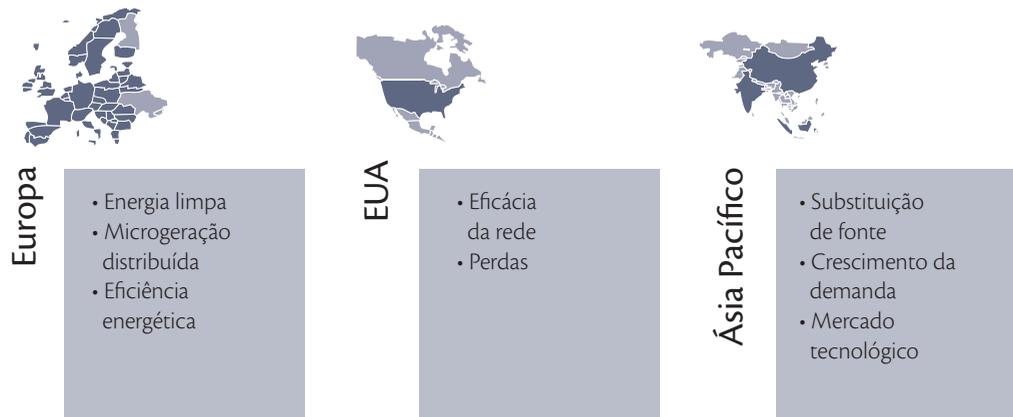


Figura 1 – Motivadores regionais das REI

No que se refere ao Brasil, o estudo abordou diferentes visões dos atores envolvidos de forma a identificar a abrangência e a diversidade do tema. Neste sentido, algumas dimensões foram elencadas para identificar os atores associados a cada uma:

- Política: envolve diferentes ministérios associados ao tema, principalmente o MME, MDIC e o MCTI;
- Regulação: envolve as agências reguladoras Aneel e Anatel;
- Tecnologia: envolve as universidades, institutos e empresas que trabalham com CT&I;
- Norma e certificação: Inmetro, ABNT, laboratórios associados;
- Cadeia produtiva: empresas fornecedoras, empresas de energia;
- Implementador: empresas de energia;
- Mercado: consumidores.



De forma geral, a melhoria de qualidade do serviço de energia e a redução de perdas está entre os motivadores principais do Brasil para investir na REI.

Devido à incerteza de um tema incipiente e estratégico, a necessidade de uma política que defina as diretrizes básicas para o tema é fundamental. O Ministério de Minas e Energia (MME) liderou um grupo interministerial que trabalhou o assunto¹. Este grupo tinha como objetivo estudar o conceito, abordando as diferentes visões dos atores envolvidos no processo e resultou na publicação² oficial do grupo técnico.

Entre as primeiras iniciativas, foi destacada a necessidade de regulamentar cada uma das áreas envolvidas no desenvolvimento da Rede Elétrica Inteligente. Neste processo, a ANEEL publicou:

- Resolução Normativa nº 464 (11/2011), que regulamenta tarifas diferentes por horário de consumo;
- Resolução Normativa nº 482 (04/2012), que define as condições gerais de acesso a micro (até 100kW) e mini (entre 100kW e 1MW) geração de eletricidade;
- Resolução Normativa nº 502 (08/2012), que regulamenta os requisitos básicos para medição eletrônica para o grupo B.

A política de CT&I deve estar em consonância com este processo no sentido de fomentá-lo e promover a sustentabilidade futura.

No Brasil, os primeiros projetos pilotos estão em suas etapas iniciais. Esses projetos de pesquisa e de desenvolvimento serão importantes para futuras decisões em relação à legislação do setor elétrico, que deverão ser tomadas pelos órgãos governamentais responsáveis.

A indústria nacional já demonstra interesse no desenvolvimento de novos produtos para REI, porém, o ponto de maior destaque ainda são inovações e desenvolvimento de medidores. Entretanto, os responsáveis pelo grupo de estudo sobre Redes Elétricas Inteligentes da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) ressaltam que a implantação de um sistema elétrico inteligente irá fomentar a indústria de semicondutores nacional (ABINEE, 2011).

¹ Portaria 440 de 15 de abril de 2010

² Disponível no portal do MME (http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf)



Neste contexto, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) vem liderando um estudo no sentido de mapear a cadeia produtiva e fomentar uma política industrial no assunto.

As principais iniciativas e investimentos no país em REI são de algumas concessionárias de energia elétrica, por meio dos projetos pilotos financiados com recursos do programa de PD&I coordenados pela ANEEL. Observa-se que esses projetos estão distribuídos por todas as regiões do país, contudo os investimentos no Sudeste concentram mais de 71% do total do país. A Tabela 1 apresenta um resumo por região do número de projetos em desenvolvimento e o número de universidades e empresas que estão trabalhando em cada uma das linhas de pesquisa.

Tabela 1 – Quadro resumo geral por linha de pesquisas

Linhas de Pesquisa	Número de Universidades					Número de Empresas					Número de projetos				
	CO	N	NE	S	SE	CO	N	NE	S	SE	CO	N	NE	S	SE
RI01		1	1	3	3		1	1	3	3	1	2	5	5	7
RI02		1	7	3	7		1	7	3	7		1	10	11	16
RI03		1	3	6	6		1	3	6	6	1	1	6	12	18
RI04				2	3				2	3				3	4
RI05					6					6					5
RI06			1	3	6			1	3	6			5	6	12
RI07			1	1	5			1	1	5		1	3	5	7
RI09					2					2			1	7	8
RI0X	1	1	1		4	1	1	1		4					1
Total geral	1	4	14	18	42	1	4	14	18	42	1	1	3	1	8

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL

O Sudeste, por ser o centro de consumo de energia do país, por possuir uma grande quantidade de concessionárias de energia, e por sediar as grandes empresas de serviços e fabricantes de equipamentos, é a região de maior destaque.

Nessa região, o projeto Cidade do Futuro, da concessionária Cemig, realizado na cidade de Sete Lagoas (MG), tem sido um dos considerados de maior relevância devido à sua abrangência em todos os subtemas de Redes Elétricas Inteligentes. Dessa forma, esse projeto deverá promover muitas informações que servirão de base para a tomada de decisões de políticas e planos do governo para o setor.



Os subtemas mais pesquisados são sobre geração distribuída e automação da distribuição que juntos correspondem a 42% do total de projetos no país. A área com maior investimento é a de geração distribuída com 25% do total do país.

As universidades e os centros de pesquisa têm desempenhado um importante papel em parcerias com os projetos de PD&I da ANEEL. Centros de pesquisa como CPqD, Lactec, Fitec, e as universidades como Unicamp, USP, UniverCemig e UFC estão desenvolvendo pesquisas que tem auxiliado nas iniciativas nacionais.

No Brasil, as empresas nacionais estão participando dos projetos das concessionárias com serviços e equipamentos, entretanto, não possuem soluções completas como algumas das multinacionais atuantes no país. Essas, por sua vez, não estão fornecendo a sua solução completa, pois muitas vezes as concessionárias desejam futuras compatibilidades com novos sistemas e equipamentos de outras fornecedoras, isto é a interoperabilidade.

A implementação das Redes Elétricas Inteligentes cria oportunidades que têm impulsionado uma maior atuação de pequenas empresas para a prestação de serviços voltado ao consumidor final de energia. Haverá oportunidades de desenvolvimento, pesquisa e inovações tanto na área tecnológica quanto nas ciências em geral.

Patentes estão sendo geradas em consequência do desenvolvimento dos projetos e das pesquisas em Redes Elétricas Inteligentes. Neste trabalho, foram feitas pesquisas não exaustivas por assunto e por depositante, entretanto, percebeu-se que nos últimos anos vários equipamentos desenvolvidos têm aplicação em temas relacionados a REI. Foi identificado um número baixo de 35 patentes, entre as quais mais de 30% foi em automação da distribuição. Há perspectiva do aumento da geração de patentes em decorrência da conclusão de muitos projetos em desenvolvimento.

Contudo, são observados desafios para a implantação das REI no país. Entre eles, a necessidade de padronização de produtos e regulamentação das diretivas do setor, bem como uma maior atratividade financeira para a comercialização dos produtos e serviços relacionados às Redes Elétricas Inteligentes.

As ações de CT&I podem ser um facilitador neste processo, seja com investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, como em capacitação, parcerias e infraestrutura associadas à es-



tratégia de CT&I no tema. Desta forma, o estudo identificou as linhas temas que devem ser foco destas ações, conforme o resumo ilustrado na Figura 2.

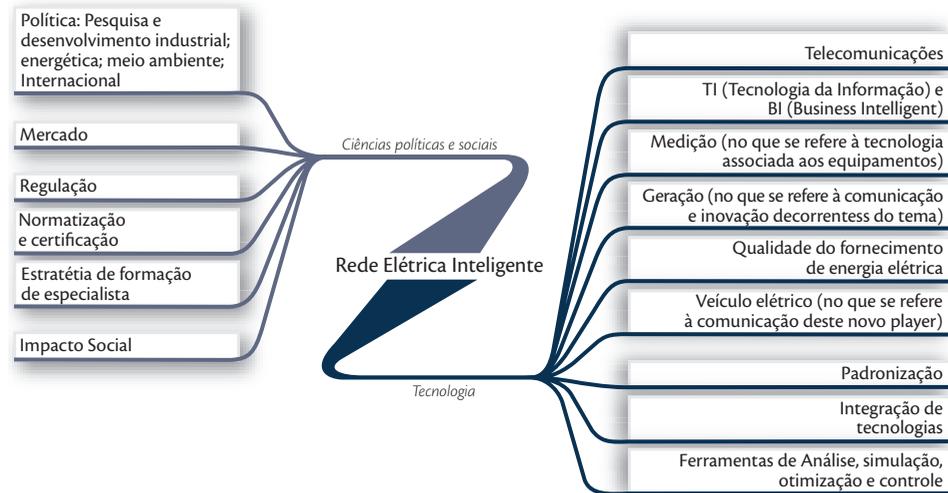


Figura 2 – Blocos e classificação das áreas de pesquisa vinculadas ao tema

Por fim, é fundamental a continuidade do Comitê Técnico que abranja os diversos atores envolvidos, para a definição de diretrizes articulada e convirjam para a elaboração de uma política e de um plano estratégico para o Brasil neste tema.



APRESENTAÇÃO

As Redes Elétricas Inteligentes (REI) podem ser compreendidas como a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final. A implementação da REI possibilita uma gama de novos serviços abrindo a possibilidade de novos mercados. Desta forma, a REI se apresenta como uma das fortes tendências de modernização do sistema elétrico em vários países.

Como um tema relativamente novo e com um alto potencial de desenvolvimento de CT&I, vários países vem trabalhando sua estratégia no assunto.

Desta forma, o presente estudo objetiva debater as diversas visões sobre o tema e identificar as linhas principais que poderiam ser foco de ações de CT&I.

O texto está subdividido em cinco capítulos com objetos bem distintos. O capítulo 1, Introdução, descreve conceitos e características das Redes Elétricas Inteligentes, como as hipóteses adotadas no estudo, e as visões nacionais dos agentes e de instituições ligados direta ou indiretamente ao assunto. Estas informações balizaram a pesquisa para definir o escopo do estudo.

O capítulo 2 apresenta uma breve descrição de iniciativas internacionais relevantes e analisa seus diferentes motivadores, desafios e oportunidades. Seu objetivo é identificar boas práticas e barreiras enfrentadas por outros países, e conclui com algumas análises e recomendações destas experiências para o Brasil.

Após esta breve análise internacional, o texto segue com o capítulo 3, que apresenta as iniciativas nacionais em projetos demonstrativos, pesquisas e patentes, além de comentar o trabalho de centros de pesquisas e empresas no tema. O objetivo deste capítulo é identificar gargalos e a infraestrutura nacional disponível para o desenvolvimento do tema.

Por fim, o capítulo 4 descreve as tecnologias associadas as REI sugeridas pelos especialistas na pesquisa, e o capítulo 5 descreve os desafios e as recomendações, incluindo sugestões de linhas de pesquisa.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico de potência (SEP) compreende uma complexa infraestrutura para fornecimento de energia elétrica, atendendo a padrões de confiabilidade e qualidade, modicidade tarifária e sustentabilidade social e ambiental. O SEP é composto essencialmente de geração, rede de transmissão, rede de distribuição e usuários de energia elétrica. A geração é predominantemente centralizada em grandes usinas conectadas à rede de transmissão, e as redes de distribuição alimentam consumidores industriais, comerciais e residenciais como ilustrado na Figura 1 (XINGHUO, et. al, 2011).

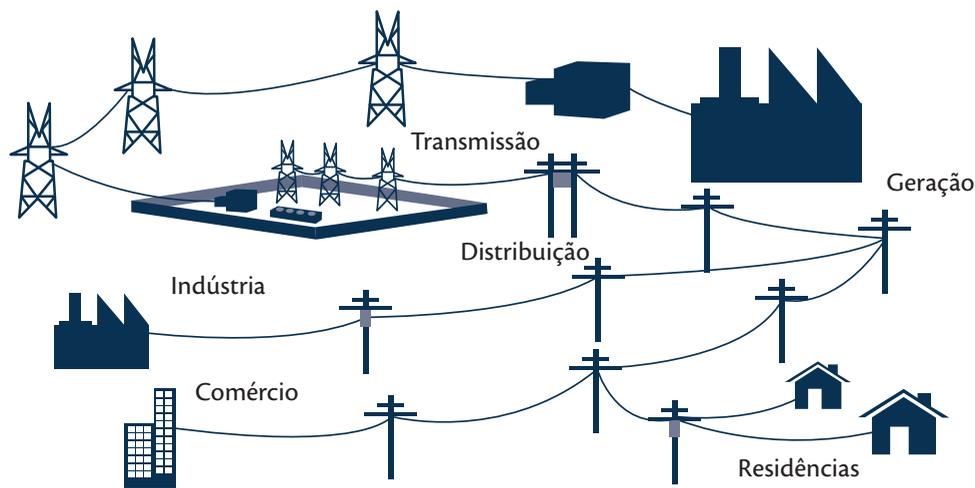


Figura 1 – Rede elétrica convencional

Fonte: Adaptado de (XINGHUO, et. al. 2011)

Numa estrutura hierárquica, o topo da cadeia fornece energia a milhares de consumidores situados em sua base, conforme a Figura 2 (FARHANGI, 2010). O fluxo de energia é unidirecional e os consumidores são meros agentes passivos na cadeia produtiva da energia elétrica. Por razões tecnológicas, em alguns casos, e razões econômicas, em muitos outros, o mercado de energia elétrica está baseado em tarifas fixas e limitações de informações em tempo real sobre gerenciamento da rede e da carga.



Figura 2 – Sistema existente

Fonte: Adaptado de (FARHANGI, 2010)

Com o consumo de energia crescendo a uma média aproximada de 4% a.a. no Brasil e 2% a.a. no mundo, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, é fato que governos em todo o mundo busquem alternativas para atender esta demanda com segurança e sustentabilidade. Tornar o sistema elétrico acessível, moderno e confiável é fundamental para a sociedade e para a economia. Para enfrentar os novos desafios do século 21, as redes elétricas devem promover suporte a inserção de fontes renováveis para produção de eletricidade e ser providas de inteligência para melhor gestão de seus ativos, melhor desempenho na operação, para reduzir as perdas técnicas e comerciais, e para permitir uma maior interação com os consumidores. Os desafios do presente vêm exercendo uma forte demanda por inovações no segmento. (FANG et al, 2011).

Um novo modelo de geração, em que coexistem geração centralizada e geração descentralizada, deverá se estabelecer. Milhares de usuários poderão ter geração própria tornando-se simultaneamente, produtores e consumidores de energia elétrica, denominados de “prosumidores” (*prosumer*). O mercado de energia elétrica deverá fazer uso pleno de ambos, grandes produtores centralizados e pequenos produtores distribuídos, além do incremento de diferentes ações em eficiência energética e melhoria na qualidade do atendimento à demanda pela energia. A inserção de fontes renováveis na rede de distribuição, principalmente nas instalações em baixa tensão, aumenta a complexidade da operação do sistema de distribuição.



Assim, o sistema elétrico mundial passará nos próximos anos por mudanças significativas provenientes da integração com as infraestruturas de Tecnologias da Informação e Comunicações (TICs), também devendo estar preparado para o advento dos veículos elétricos e o aumento significativo das fontes de geração distribuída, e as diferentes ações de eficiência energética. Esta nova concepção de rede o transformará num sistema inteligente ou redes inteligentes (*Smart Grids*).

A implantação de Redes Elétricas Inteligentes como principal instrumento de modernização do setor de energia elétrica tem sido uma temática amplamente debatida no âmbito mundial. Trata-se de um modelo tecnológico com relativa complexidade conceitual, onde é considerada uma vasta diversidade de tecnologias, de equipamentos e de fabricantes, com inúmeros benefícios, provenientes da efetiva implantação, a toda cadeia de provimento e consumo de energia elétrica.

Entidades governamentais de vários países têm realizado levantamentos e estudos sobre os aspectos envolvidos neste tipo de modernização com o intuito de definir as principais diretrizes para a implantação das Redes Inteligentes no setor elétrico nos seus países,

Neste capítulo, são apresentados conceitos e características das Redes Elétricas Inteligentes, as diferentes visões das instituições que potencialmente terão influência no tema e algumas considerações finais.

1.1. Conceitos e características das redes elétricas inteligentes

O termo Rede Inteligente (RI) possui uma série de valores e características que são universais. Entre esses valores estão um sistema mais confiável, seguro, econômico, eficiente e ambientalmente correto.

Essencialmente, o conceito de RI está relacionado à abordagem da rede de energia elétrica dotada de tecnologias digitais e recursos computacionais e de comunicação avançados, com o intuito de monitoramento e gerenciamento da eletricidade ao longo da estrutura de transporte e distribuição aos consumidores finais (IEA, 2011a).

Segundo Nist (2009), as RI compreendem sete principais domínios interligados entre si: geração, transmissão, distribuição, consumidor, mercados, operadores de rede e provedores de serviço.



Trata-se de um modelo conceitual que provê uma representação abstraída sobre RI. A Figura 3 ilustra o modelo conceitual que provê essa representação do Nist.

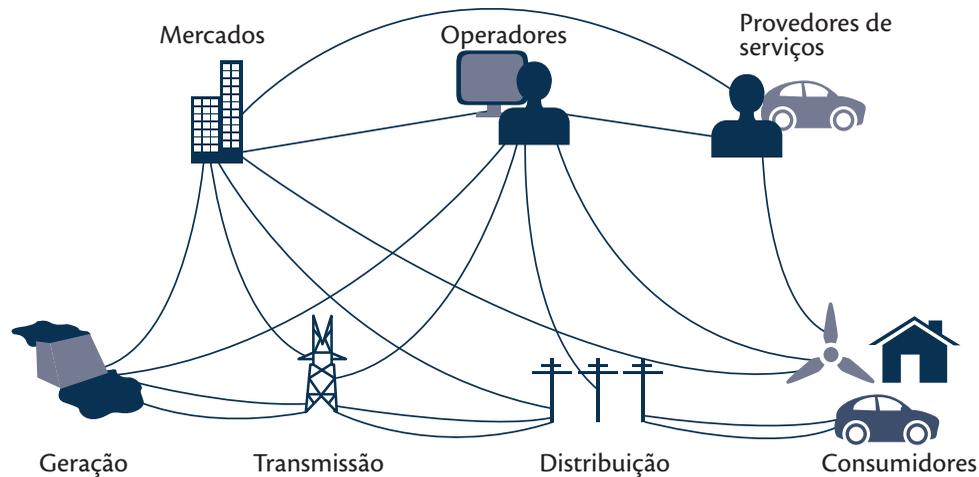


Figura 3 – Modelo conceitual de Rede Inteligente

Fonte: Adaptado de (NIST, 2009).

A Tabela 1, adaptada de (NIST, 2009), lista os referidos domínios com as respectivas descrições.

Tabela 1 – Lista de domínio e respectivas descrições.

Domínio	Atores do domínio
Geração	Relacionado às unidades geradoras de grandes parcelas de eletricidade.
Transmissão	Relacionado aos recursos de transporte de eletricidade a longas distâncias.
Distribuição	Relacionado aos distribuidores de eletricidade aos consumidores.
Cliente	Relacionado aos usuários finais da eletricidade que assumem papel de produtor e consumidor – <i>prosumer</i> ou <i>prosumidor</i> .
Mercados	Relacionado aos operadores e participantes do mercado de energia.
Operadores de Rede	Relacionado aos gerenciadores do fluxo de eletricidade.
Provedores de Serviços	Relacionado aos fornecedores de utilidades e serviços aos consumidores finais.

Fonte: Adaptado de (NIST, 2009).



As grandes mudanças, no entanto, devem ocorrer entre a distribuição e os pequenos consumidores, pois as grandes plantas de geração e o sistema de transmissão já possuem grande parte da automatização disponível, até como requisito para estabilidade alcançada atualmente. Além disso, consumidores e produtores de grande porte já participam do mercado de energia. Dessa forma, a rede de distribuição e a integração de geração nesse nível devem ser os grandes responsáveis pelas mudanças no sistema elétrico de potência, bem como a criação de diversos serviços como: gerenciamento de energia de edificações, gerenciamento de faturas de energia e instalação e manutenção de equipamentos de geração e comunicação.

Os conceitos envolvidos com Redes Elétricas Inteligentes podem ser aplicados às outras infraestruturas semelhantes às das redes elétricas. Aplicações nas redes de abastecimento de água e de gases são exemplos de outros sistemas relacionados.

Com base no exposto, o presente estudo adota o conceito de Redes Elétricas Inteligentes (REI) como a rede elétrica que utiliza tecnologia digital avançada para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade em tempo real com fluxo de energia e de informações bidirecionais entre o sistema de fornecimento de energia e o cliente final, integrando e possibilitando ações por todos os usuários a ela conectados, de modo a fornecer eficientemente uma energia sustentável, econômica e segura. Além de proporcionar ao consumidor informações sobre o seu consumo, tarifa e qualidade do serviço e do produto recebido em tempo real.

Como informa Falcão (2010), a introdução do conceito de REI produzirá uma convergência acentuada entre as infraestruturas de geração, transmissão e distribuição de energia e a infraestrutura de comunicações digitais e processamento de dados. A infraestrutura de comunicações funcionará como no conceito de uma “Internet de Equipamentos”¹, interligando os chamados *Intelligent Electronic Devices* (IEDs) e trocando informações e ações de controle entre os diversos segmentos da rede elétrica. Essa convergência de tecnologias exigirá o desenvolvimento de novos métodos de controle, automação e otimização da operação do sistema elétrico, com forte tendência para utilização de técnicas de resolução distribuída de problemas baseadas na utilização de multi-agentes.

Algumas das características geralmente atribuídas à REI são (IEA, 2011a):

- **Autorrecuperação:** capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;

1 “Internet das coisas”



- **Participação proativa dos consumidores:** habilidade de incluir os equipamentos e comportamento dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede;
- **Tolerância a ataques externos:** capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e *cyber*-ataques;
- **Qualidade de energia:** prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;
- **Capacidade para acomodar uma grande variedade de fontes e demandas:** capacidade de integrar de forma transparente (*plug and play*) uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologias;
- **Menor impacto ambiental** do sistema produtor de eletricidade, reduzindo perdas e utilizando fontes renováveis e de baixo impacto ambiental;
- Resposta da demanda mediante a **atuação remota** em dispositivos dos consumidores;
- **Viabiliza e beneficia-se de mercados competitivos de energia**, favorecendo o mercado varejista e a microgeração.

Assim, as REI apresentam-se como uma alternativa inteligente aos altos investimentos exigidos para atender a demanda da forma tradicional, inserindo a possibilidade de geração distribuída, cogeração, veículos elétricos, automação residencial, predial, comercial e industrial, armazenamento de energia, medição *online*, com capacidade adaptativa e de autorecuperação (HEYDT, 2009). A Figura 4 apresenta uma ilustração desse conceito (NIST,2009).

Por meio das Redes Elétricas Inteligentes, busca-se coordenar as capacidades, as interoperabilidades e as necessidades dos domínios que compõem a rede elétrica, com o intuito final de proporcionar maiores níveis de confiabilidade, sustentabilidade, resiliência e estabilidade ao sistema de forma mais eficiente, reduzindo-se os custos financeiros e os impactos socioambientais envolvidos.

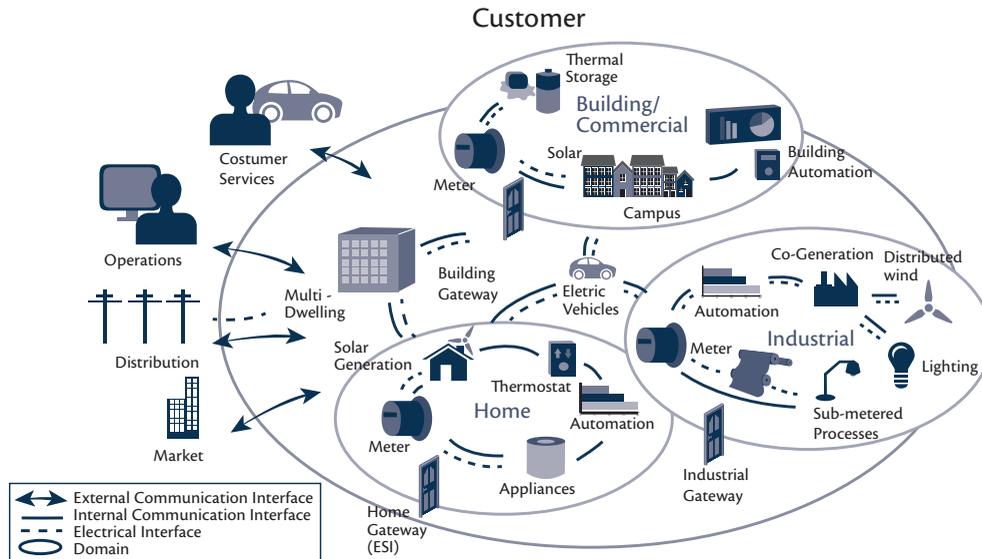


Figura 4 – Representação da REI

Fonte: (NIST, 2009).

1.2. Visões e motivadores

De forma resumida, os principais objetivos e necessidades para a modernização das redes elétricas são listadas como (ARNOLD, 2011):

- Possibilitar de forma confiável e estável a expansão da capacidade de fornecimento de eletricidade, mediante a crescente demanda;
- Melhorar a relação custo-benefício nos processos de produção e de fornecimento de energia elétrica;
- Prover informações ao consumidor sobre o consumo individual de energia elétrica, bem como prover ferramentas para auxiliar no controle e na tomada de decisão acerca do consumo;
- Auxiliar na redução da emissão de gases decorrentes da produção de energia elétrica com recursos fósseis;



- Melhorar os níveis de confiabilidade dos serviços ofertados;
- Explorar novos nichos mercadológicos no setor, por meio do fornecimento de novos produtos e serviços;
- Operar de forma resiliente em situações de ataque ou de desastres naturais;
- Antecipar e responder a perturbações no sistema mediante reconfiguração automática;
- Preparar a rede elétrica para suportar a crescente demanda futura de veículos elétricos;
- Dotar a rede de dispositivos de armazenamento de energia para uso conjunto com fontes intermitentes.

Como o conceito de REI é bastante abrangente, não havendo uma definição única adotada por diferentes governos, o objetivo de seu desenvolvimento também varia. Por exemplo, nos EUA o objetivo principal é abordar o envelhecimento de suas redes, melhorar a qualidade de serviço, gerar empregos e fomento da indústria e aumentar a interação com o usuário. O foco principal na Europa é o de promover o uso de energias renováveis e diminuir a dependência de combustíveis fósseis para uma maior segurança energética.

No caso do Brasil, o objetivo pode ser considerado como englobando tanto os motivos americanos quanto os europeus sob os pontos de vista das concessionárias, dos consumidores e do agente regulador, com destaque para:

- reduzir as perdas técnicas e comerciais (fraudes);
- melhorar a qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras;
- reduzir os custos operacionais;
- melhorar o planejamento da expansão da rede;
- melhorar a gestão dos ativos;
- promover a eficiência energética;
- fomentar a inovação e a indústria tecnológica.

A Figura 5 apresenta a diversidade dos atores envolvidos no desenvolvimento da REI no Brasil. A seguir, é feita uma breve reflexão acerca das diferentes visões destas partes.

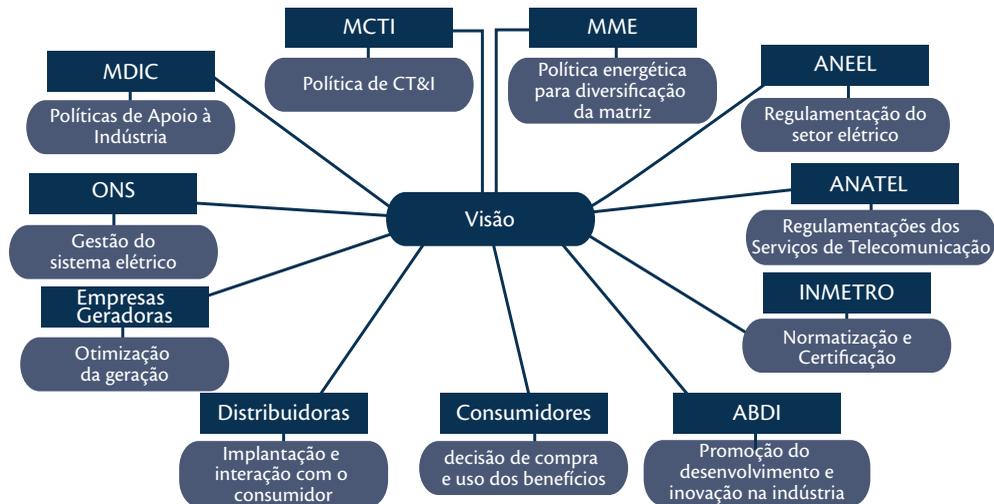


Figura 5 – Representação dos atores envolvidos no desenvolvimento da REI no Brasil

1.2.1. Governo

Política energética e setorial

Ministério de Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

No que tange à política energética nacional, o desenvolvimento do sistema de energia inteligente poderá trazer os seguintes benefícios:

- promoção da segurança energética;
- modicidade tarifária;
- redução da assimetria de informações;
- aperfeiçoamento dos processos regulatórios;
- promoção da diversificação da matriz energética;
- estímulo ao uso eficiente do sistema elétrico.



O MME coordenou um grupo técnico interministerial, criado pela Portaria nº 440, de 15 de abril de 2010, que teve como objetivo estudar o conceito por meio das diferentes visões dos parceiros, e resultou na publicação disponível no site do MME. O ministério também participa e incentiva grupos de trabalho que estudam o desenvolvimento do tema no Brasil.

São vários os desafios que compreendem a implementação da REI no país, desde a definição e implantação de um modelo tarifário, permitindo sua possível reconfiguração para formas ainda mais convenientes, atualizando-se às necessidades do consumidor brasileiro, até a preocupação com a segurança da informação levantada.

O Estado atua como agente normativo e regulador da atividade do sistema elétrico de acordo com as instituições do organograma da Figura 6.



Figura 6 – Diagrama das instituições federais do setor elétrico brasileiro.

Fonte: (CCEE, 2011)

Política industrial

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC)

Dentro das suas atribuições, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) deve formular políticas de apoio às empresas com o objetivo de fomentar uma cadeia



produtiva com participação nacional e investimento no desenvolvimento de soluções para as REI, e estabelecer parcerias de cooperação para a transferência de tecnologia.

O Plano Brasil Maior, do governo federal, mediado pelo MDIC, estabeleceu cinco diretrizes estruturantes para as políticas industrial, tecnológica, de serviços e de comércio exterior para o período de 2011 a 2014. Relacionada ao contexto de RI, a diretriz estruturante “3”, que trata do aprimoramento das cadeias de suprimento em energias, relaciona-se diretamente do desenvolvimento das Redes Elétricas Inteligentes no país.

A visão do MDIC sobre tema Redes Elétricas Inteligentes identifica como oportunidades: desenvolvimento tecnológico e produtivo; diminuir a defasagem tecnológica do setor; e eficiência energética. Por outro lado, a visão do ministério também elenca alguns desafios: demora na regulamentação e nas certificações; plano de negócio não atrativo para o cliente.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

Em suas atribuições de promover a implementação da política industrial no Brasil, a ABDI desenvolve ações conjuntas com o MDIC para o desenvolvimento da indústria brasileira em Tecnologias de Informações e Comunicação (TIC) voltadas à Rede Elétrica Inteligente.

A ABDI atua na promoção, monitoramento e avaliação do Plano Brasil Maior, aproximando entidades públicas e privadas em programas, projetos e ações de natureza estratégica e operacional. A ABDI é responsável pelo diagnóstico em vetores de expansão do mercado em aplicações setoriais, entre elas se destaca a Rede Elétrica Inteligente. As ações incluem a definição de diretrizes para aplicações setoriais de REI para :

- Promover o adensamento da cadeia da Indústria nacional de TIC para REI;
- Desenvolver o processo produtivo básico para as demandas vinculadas a equipamentos e produtos utilizados na REI;
- Articular a aplicações de recursos para o desenvolvimento de produtos e tecnologias nacionais para REI;
- Alinhar as ações das agências reguladoras em torno de áreas chaves em telecomunicação e energia, com as aplicações de REI.



A ABDI coordena um grupo de trabalho para o desenvolvimento da indústria de REI no Brasil. A principal intenção deste grupo de trabalho é a integração de conhecimentos e informações e a identificação de ações para a criação de um programa nacional para desenvolvimento da indústria fornecedora à REI. Participam desse grupo entidades de governo; agentes governamentais; institutos de pesquisa, desenvolvimento e inovação; universidades; centros de pesquisas; indústria de TIC em *hardware*, *software* e equipamentos; e empresas do setor energético. A participação é aberta às instituições instaladas no Brasil.

Política de ciência, tecnologia e inovação

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, responsável pela formulação e implementação da Política Nacional de Ciência e Tecnologia, tem promovido ações integradas e cooperadas para o desenvolvimento da CT&I na área de energia elétrica.

A incipiência do tema Redes Elétricas Inteligentes no mundo, o torna uma ótima oportunidade para o desenvolvimento de tecnologias nacionais e Inovação que é um eixo estruturante no desenvolvimento do país. Neste sentido, o MCTI vem promovendo ações no tema, a exemplo deste estudo. Entretanto, as demais ações a serem implementadas ainda dependem dos resultados deste estudo.

As ações referentes ao tema REI no MCTI estão sendo conduzidas por duas áreas diferentes. A Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação é responsável pelas ações no tema com o foco em energia e a Secretaria de Política de Informática pelas ações com foco nas questões de tecnologia de informação e comunicação.

Agente regulador

Agencia Nacional de Energia (ANEEL)

A ANEEL, como o agente do governo federal diretamente envolvido no processo de conversão inteligente do sistema elétrico, considera o impacto da REI como revolucionário para os consumidores, provocando um grande impulso no sistema de distribuição, moderado no sistema de transmissão e pequeno no sistema de geração centralizada, conforme Figura 7.

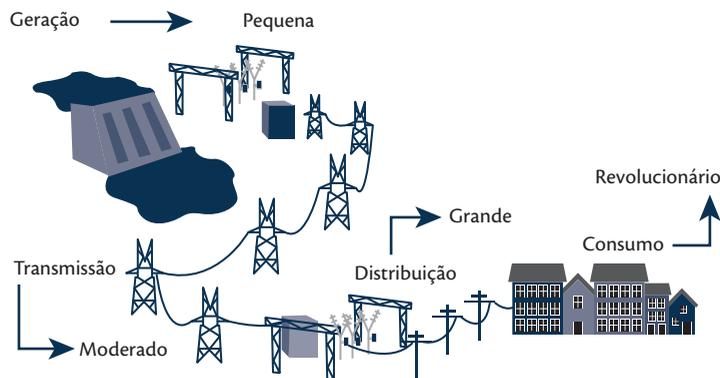


Figura 7 – Impacto da REI no sistema de energia elétrica

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2011).

A agência cumpre dois principais papéis no desenvolvimento de REI no país: como incentivador e como regulamentador. O primeiro, está relacionado às políticas públicas de incentivos a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) para o desenvolvimento das tecnologias e processos, bem como ao acompanhamento dos seus resultados alcançados.

A outra grande função da agência condiz à regulamentação específica das temáticas relacionadas às Redes Elétricas Inteligentes, tais como medição inteligente, microgeração, tarifas diferenciadas e sistema de informações geográficas dos novos dados.

Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel)

O tráfego bidirecional de informações entre os sistemas elétricos interligados é uma das principais características associadas ao conceito de Redes Elétricas Inteligentes. O provimento dessas comunicações é realizado por meio de infraestrutura e serviços de telecomunicações.

Como agente regulamentador do governo federal, a Anatel tem atuado na realização de diretrizes e legislação dos recursos e sistemas de telecomunicações necessários à implantação nacional das REI. As ações do órgão condizem à realização de consultas públicas para as regulamentações da faixa de espectro e homologação de equipamentos para uso em serviços de infraestrutura de sistemas de medição inteligente de água, gás e eletricidade.



Agente normativo

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)

O Inmetro vislumbra sua atuação no desenvolvimento de Redes Elétricas Inteligentes na área de segurança do sistema, provendo requisitos e mecanismos que adicionem confiança e credibilidade a dados metrologicamente relevantes ou críticos que trafegam pela rede.

Este processo de prover segurança que engloba alguns aspectos, tais como:

- Definição do processo de validação dos *softwares* embarcados nos sistemas de medição que utilizem medidores inteligentes de energia elétrica;
- Definir técnicas de proteção de *software* para uma infraestrutura avançada de medição;
- Definir um programa de certificação dos equipamentos utilizados em REI;
- Definir um programa de certificação das redes de telecomunicações utilizadas pelas REI.

1.2.2. Consumidores

Com a introdução da REI, o consumidor terá a oportunidade reduzir custos e promover a eficiência energética, além de ter acesso às novas fontes de energia, oriundas de geração própria ou de novos microgeradores que se inserem na rede, e melhores serviços das empresas de energia.

Com um Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) mais preciso, é possível, por meio de maior disponibilidade de informação e política tarifária de energia elétrica, o consumidor de baixa tensão ser incentivado a mudar de hábitos e reduzir consumo no horário de pico. Essas ações promoverão uma mudança no comportamento de consumo de energia, no qual o consumidor é motivado a escolher equipamentos com melhores níveis eficiência energética. Desta forma, o consumidor assume, assim, o papel de gestor de seu consumo de energia elétrica.

Para o consumidor, principalmente o residencial, é importante que os benefícios alcançados pelas Redes Elétricas Inteligentes não aumentem a tarifa de energia. Por outro lado, será possível ter acesso a melhores ou novos serviços de energia, o que pode ter valores diferenciados.

A utilização de fontes de energia de pequeno porte, oriunda da microgeração própria do consumidor, tende a ser facilitada com a nova tecnologia, além de ter a possibilidade de um retorno



compensativo de desconto ao “prosumidor” devido à comercialização e consequente injeção da parcela de energia não consumida na rede elétrica.

Mediante a disponibilidade para acesso das informações de consumo de energia elétrica, um ponto importante, no contexto das REI para os consumidores, está relacionado à segurança dos seus dados.

Um ponto importante, para os consumidores dentro de um sistema inteligente de energia, é como será a segurança dos seus dados e como serão utilizados pela concessionária, além da disponibilidade desses dados para consulta.

Seguem exemplos de algumas realidades esperadas:

- Equipamentos prediais e eletrodomésticos inteligentes: permitirão o controle da demanda dos consumidores mediante o envio de sinais através do sistema de comunicação bidirecional;
- Microgeração: disponibilização de geração de pequeno porte, através do uso de painéis fotovoltaicos, microgeradores eólicos, células a combustível, entre outros, capazes de produzir energia para consumo próprio e compensação de energia junto à concessionária;
- Sistemas prediais de gerenciamento de energia: sistemas para monitoração e otimização da demanda de residências e edifícios de forma isolada ou através da Internet.

1.2.3. Empresas geradoras

As grandes empresas geradoras de energia elétrica já possuem uma infraestrutura de comunicação com o operador do sistema. No caminho de ter um sistema elétrico mais eficiente, essas foram as primeiras a se modernizarem.

As geradoras de pequeno e de médio portes, principalmente as de energias renováveis, ainda estão ganhando espaço no mercado de energia, e irão se beneficiar com as Redes Elétricas Inteligentes. A nova tecnologia poderá até permitir que pequenos consumidores possam escolher quais fontes irão consumir, como hoje já ocorre em alguns países europeus.



1.2.4. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

O ONS é o responsável pela coordenação e controle da operação da geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Até o presente, o ONS adota as referências para Redes Elétricas Inteligentes que foram definidas pelo *Very Large Power Grid Operators* (VLPGO), grupo que congrega os maiores operadores de energia do mundo.

O ONS entende que, no Brasil, há dois processos importantes que afetam a operação do SIN e que envolvem o uso de REI.

O primeiro, refere-se à aplicação de sistemas inteligentes para a melhoria do desempenho, controle e maior segurança do sistema de transmissão. O ONS vem acompanhando essa evolução através da perspectiva da segurança da operação do SIN.

O outro processo está relacionado às mudanças no sistema de distribuição, que o ONS não tem envolvimento direto, mas que afeta a rede de alta tensão. O ONS tem acompanhado essa evolução na rede de distribuição, que vem acontecendo através da implantação dessas novas tecnologias, como o uso de geração, a colocação de medidores inteligentes e a mudança do perfil da carga dos consumidores.

1.2.5. Empresas distribuidoras de energia

As distribuidoras irão ser as principais implementadoras das Redes Elétricas Inteligentes. Os ganhos para a operação, manutenção e gerenciamento da rede elétrica com a implantação das REI deve trazer uma melhoria significativa na qualidade do serviço prestado e a otimização do sistema elétrico.

Uma das maiores preocupações será com a quantidade e a segurança dos dados agora disponíveis, além da confiabilidade dos sistemas de comunicação e riscos de ataques cibernéticos. Com o monitoramento em tempo real do sistema de uma quantidade maior de pontos, problemas como perdas e furtos de eletricidade devem ser reduzidos.

Com a revolução inteligente que o novo conceito de sistema elétrico está prestes a se iniciar, as concessionárias terão, como motivação, benefícios significativos como: aumentar a eficiência operacional, aumentar e fortalecer o relacionamento com os clientes, otimizar os investimentos,



aumentar a confiabilidade, preparar o ambiente para a microgeração distribuída, redução de perdas técnicas e não técnicas e os gerenciamentos de informações em tempo real.

Por exemplo, o sistema elétrico terá maior capacidade para reagir a eventos inesperados, isolando os elementos problemáticos, enquanto o resto do sistema é restaurado para operar normalmente. Essas ações de autorrecuperação resultam na redução da interrupção do serviço aos consumidores e auxiliam as prestadoras de serviço a gerenciarem melhor suas infraestruturas e seus ativos.

A aplicação de tarifas horárias diferenciadas tornará possível buscar o melhor aproveitamento da infraestrutura do sistema elétrico, incentivando os consumidores a utilizarem a energia fora do horário de ponta.

O medidor inteligente proverá informações e possibilitará ao consumidor gerenciar suas demandas de forma que gere menor custo na conta de energia, seja pelo consumo mais eficiente ou pelo melhor gerenciamento da sua demanda, buscando tarifas mais baixas. As empresas e indústrias poderão determinar os horários de consumo compatíveis com o melhor custo/benefício.

Testes preliminares têm mostrado que os consumidores podem ter economias significativas de energia, simplesmente utilizando as informações, que podem ser disponibilizadas pelo novo sistema, sobre uso da energia e as ferramentas para gerenciá-lo. No entanto, para o sucesso real desta medida é necessária a aceitação, participação e colaboração do consumidor.

A introdução da REI facilitará a inserção da micro e mini geração, principalmente no cenário posterior ao lançamento da Resolução Normativa no 482/2012 que regula a esta conexão. A microgeração distribuída poderá contribuir com o sistema elétrico para os aumentos de carga de forma otimizada, reduzindo-se os picos de demanda, além de favorecer a solução de alguns entraves para o uso de novas tecnologias, como o abastecimento de uma frota de veículos elétricos e o uso de equipamentos inteligentes gerenciáveis via internet, criando serviços antes inexistentes e impulsionando a eficiência energética.

1.2.5. Indústria de fornecedores

Segundo a visão da ABDI, o desenvolvimento de sistemas inteligentes na utilização de energias terá duas implicações futuras relevantes. A primeira, é o uso eficiente da energia com a integra-



ção de diferentes fontes em um mesmo sistema. A segunda, a exigência de processo que permitirá acúmulo de recursos e capacidades tecnológicas nacionais.

A atual fase é de entendimento dos projetos pilotos no Brasil, da identificação das empresas brasileiras e da integração das atividades pelas diferentes entidades governamentais.

O país possui 72,7 milhões de unidades consumidoras (ANEEL, 2012a). Estudos recentes da ANEEL, em parceria com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee), mostram que, dependendo dos cenários futuros adotados, estima-se que seja possível trocar 75 a 120 milhões de medidores até 2030, sendo que até 2020 seria realizado cerca de 38% desse objetivo. Este estudo preocupou-se com os investimentos e a sustentabilidade da cadeia de produção da indústria fornecedora de equipamentos. O cenário com essa decisão se mostra um ambiente atrativo à formação da cadeia produtiva para fornecedores.

As oportunidades começam pela fabricação do medidor inteligente, e se estendem para o desenvolvimento de *softwares*, design de chips, inovação em sensores e equipamentos da rede elétrica, veículos elétricos e a microgeração fotovoltaica, eólica e biomassa.

Haverá, também, influência na definição de uma nova geração de equipamentos eletrônicos inteligentes, domésticos (a chamada linha branca, tais como lavadoras de roupa, geladeiras, fogões, condicionadores de ar) ou industriais.



CAPÍTULO 2

INICIATIVAS INTERNACIONAIS

A plena implantação e integração do novo sistema de Redes Elétricas Inteligentes nas redes de energia elétrica é um processo gradual e em desenvolvimento no mundo. Com o intuito de analisar os impactos decorrentes das inovações com o uso das REI, diversos projetos pilotos e demonstrativos em estágios iniciais têm sido desenvolvidos por entidades governamentais, empresariais e de pesquisa em vários países.

A análise da visão internacional sobre a REI permite visualizar a preocupação mundial com a segurança do fornecimento de energia, com o forte propósito de reduzir a emissão dos gases que provocam o efeito estufa, bem como a atualização tecnológica do sistema elétrico para fazer face às tecnologias emergentes. Existe o compromisso mundial, de longo prazo, no sentido da redução de 80% a 95% das emissões até 2050, aplicável à União Europeia e a outros países industrializados. O cenário do sistema elétrico onde o consumidor era apenas um agente passivo mudou definitivamente. O consumidor passa a poder gerar energia contribuindo com o balanço energético, assim como atuar de forma mais eficaz na gestão do consumo dos equipamentos domésticos.

A seguir, são mencionadas as principais iniciativas que têm antecedido à plena implantação e integração mundial do novo paradigma de REI. Segue com uma abordagem por grupos de países, onde os motivadores, projetos pilotos e os projetos PD&I de destaque no âmbito mundial são comentados.

2.1. Principais projetos no mundo

A entidade *Energy Retail Association* do Reino Unido tem mantido atualizado um mapa que cataloga mais de 250 projetos relacionados a Redes Elétricas Inteligentes. A Figura 8 ilustra o mapa contendo os principais projetos REI no mundo (ENERGY UK, 2012).

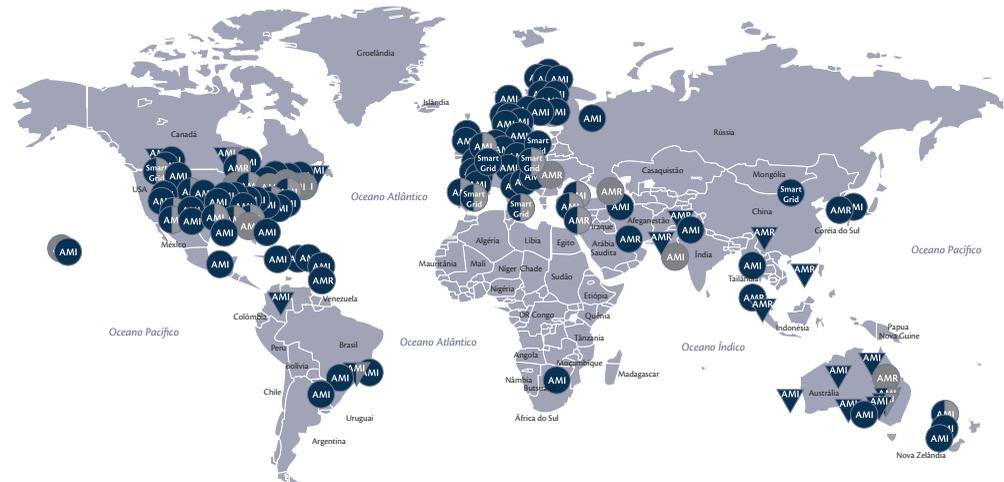


Figura 8 – Mapa dos projetos de REI no mundo

Fonte: (ENERGY UK, 2012).

Em 2010 existiam cerca de 90 projetos pilotos de Redes Elétricas Inteligentes no mundo (WEF, 2010). Segundo a European Commission (2011b), até 2011 foram catalogados 219 projetos relacionados as REI na Europa. Observou-se que na maioria destes projetos há o domínio de desenvolvimento de infraestrutura e de serviços avançados em medição inteligente.

A seguir, tem-se uma visão geral sobre as ações federais para estimular o desenvolvimento e a implantação de REI nos sistemas elétricos mundiais com base nas informações da IEA (2011a).

Austrália – o governo australiano, em parceria com o setor privado de energia, tem desenvolvido o projeto piloto demonstrativo “*Smart Grid, Smart City*”. Esta iniciativa visa reunir informações robustas sobre os custos e os benefícios da REI, auxiliando nas tomadas de decisões futuras pelo governo, pelos provedores e consumidores de energia, e pelos fornecedores de tecnologia nacionais. *Australian Government’s National Energy Efficiency Initiative, IBM Australia, GE Energy Australia, AGL Energy, Sydney Water, Hunter Water Australia e Newcastle City Council* são os principais responsáveis e investidores no país.



China – o governo chinês tem desenvolvido um plano de estímulo de longo prazo para investir em sistemas de água, infraestruturas rurais e redes de energia, incluindo um investimento substancial em REI. Os principais objetivos são reduzir o consumo de energia, aumentar a eficiência da rede elétrica e gerenciar a geração de eletricidade a partir de tecnologias renováveis. O órgão *State Grid Corporation of China* (SGCC) e parcerias governo/indústria/serviço são os principais responsáveis pelos esforços de construção da RI chinesa.

Coréia do Sul – em parceria com a indústria, o governo sul-coreano tem investido em ações para REI por meio do projeto “*Korea’s Jeju Smart Grid Test-bed*” em implantação na ilha Jeju. O projeto consiste na integração de uma REI com seis mil residências, parques eólicos e quatro linhas de distribuição. Os órgãos *Ministry of Knowledge Economy* (MKE) e *Korea Smart Grid Institute* (KSGI), bem como uma parceria formada com 168 empresas estrangeiras, serão os principais responsáveis e investidores no país.

Estados Unidos – mediante o “*American Recovery Reinvestment Act*”, lançado em 2009, o governo americano tem alocado recursos para a modernização da rede elétrica nacional por meio de dois programas: “*Smart Grid Investment Grant*” (SGIG) e o “*Smart Grid Demonstration Program*” (SGDP). A infraestrutura de medição dos consumidores e os desenvolvimentos dos sistemas elétricos de transmissão, de distribuição e de armazenamento são contemplados pelos programas americanos.

Índia – as ações de implementação de REI na Índia estão ligadas aos setores de geração, transmissão, distribuição e qualidade de energia. Objetiva-se aumentar os níveis de eficiência energética e da quota de energias renováveis na rede nacional. Decisões estabelecidas pelos programas “*Electricity Act of 2003*”, “*National Electricity Policy of 2005*” e “*Re-Structured Accelerated Power Development and Reforms Program*” (R-APDRP) incorporaram diretivas importantes para o desenvolvimento do setor elétrico nacional. Órgãos ligados ao *Ministry of Power* (MoP) e às iniciativas *India Smart Grid Task Force & Forum* (ISGTF) coordenam as ações e os investimentos em REI no país.

Japão – os japoneses estão desenvolvendo as tecnologias de REI, incorporando a geração de energias renováveis, a medição inteligente e serviços, bem como os veículos elétricos. Em *Rokkasho Village, Aomori Prefecture*, está sendo desenvolvido um projeto demonstrativo de REI utilizando-se apenas energia gerada por fontes renováveis. O governo japonês e a *Japan Smart Community Alliance* (JSCA) são os principais responsáveis pelas ações.



União Europeia – os governos dos 27 países da União Europeia (UE) têm desenvolvido ações de incentivo à REI para renovar e expandir os sistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição nacionais. A iniciativa “*European Electricity Grid Initiative*” (EEGI), está no contexto da “*EU’s 20-20-20*”, que, por sua vez, foi lançada pela UE contendo as diretivas para reduções de 20% das emissões de gases GHG, aumento em 20% de geração de energia por meio de fontes renováveis e aumento em 20% da eficiência energética até 2020. Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido são os países em destaques nos investimentos em projetos demonstrativos e implantações realizados em REI na UE. Os governos, as concessionárias de serviços e os fornecedores de tecnologia em toda a Europa estão envolvidos no desenvolvimento das REI naquela região. Vale destacar o projeto *InovCity* em Évora da EDP, que gerou subsídios para o projeto que a EDP/Bandeirantes busca replicar em Aparecida/SP/Brasil.

A Tabela 2 lista os principais investimentos federais e privados no mundo em 2010 e as estimativas para os próximos anos (IEA, 2011a), (EUROPEAN COMMISSION, 2011b) e (ZPRYME, 2012).

Tabela 2 – Principais investimentos federais e privados no mundo, em 2010, e estimativas para os próximos anos.

País	Investimentos federais (em 2010)	Estimativas de investimentos federais e privados (próximos anos)
Austrália	US\$ 360 milhões	US\$ 240 bilhões (até 2030)
China	US\$ 7,3 bilhões	US\$ 100 bilhões (2011 - 2016)
Coréia do Sul	US\$ 824 milhões	US\$ 24 a 30 bilhões (até 2030)
EUA	US\$ 7,09 bilhões	US\$ 1,5 trilhões (até 2030)
Índia	não disponível	US\$ 26,2 bilhões (2010 - 2015)
Japão	US\$ 849 milhões	US\$ 1,7 trilhões (até 2030)
União Europeia	US\$ 1,76 bilhões	US\$ 1,88 trilhões (até 2030)

Fonte: Adaptado de (IEA, 2011a), (EUROPEAN COMMISSION, 2011b) e (ZPRYME, 2012).

Observa-se que até o ano de 2010, China, EUA e os países da UE realizaram os maiores investimentos em ações de desenvolvimento em REI, totalizando mais de US\$ 16 bilhões. Para as próximas duas décadas, estima-se que UE, Japão e EUA serão os países com as maiores quantias investidas para a implantação das REI nacionais. Tais países serão acompanhados pelos investimentos



nacionais dos países em desenvolvimento, como a China, Índia e Brasil, com projetos e implantações consideráveis para as modernizações das respectivas redes elétricas.

No primeiro semestre de 2011, a empresa *Innovation Observatory* divulgou o relatório “*Smart Grid Technology Investment: Forecasts for 2010-2030*” com estudos sobre os investimentos mundiais nas tecnologias de Redes Elétricas Inteligentes previstos para o período de 2010 a 2030 (INNOVATION OBSERVATORY LTD, 2011). Segundo o estudo, estima-se que, neste período, os EUA investirão cerca de US\$ 60 bilhões para realizar a implantação massiva de REI. Acredita-se que a China será o mercado de maior investimento em 2016, ultrapassando os EUA, com uma meta de instalação de mais de 360 milhões de medidores inteligentes até 2030.

Na referida pesquisa, foram considerados os desenvolvimentos relacionados com a automação da rede, a infraestrutura de comunicações, serviços de TI, sistemas e *hardware*, integração de sistemas e redes de área local, equipamentos, além de medidores inteligentes.

Considerando-se uma classificação dos dez países que mais investirão em Redes Elétricas Inteligentes, os países Índia e Brasil deverão ocupar, respectivamente, os terceiro e sexto lugares no ranking. Observa-se que ambos os países já anunciaram planos de substituição dos medidores convencionais pelos inteligentes.

Na Índia, é estimada a troca de mais de 130 milhões de medidores inteligentes, enquanto que no Brasil, estima-se a mudança de 63 milhões de unidades até 2021² (INNOVATION OBSERVATORY LTD, 2011).

2.2. União Europeia

Os desafios energéticos atuais estão mudando a visão da geração de eletricidade também na Europa. Os pequenos aproveitamentos com baixa emissão de carbono, combinado com eficiência, proporcionada pelo gerenciamento pelo lado da demanda, permitirá aos consumidores uma interação com o sistema elétrico. Conforme a *European Commission* (2006b), a Europa também

² O estudo da Abradee prevê que esta substituição se dará até 2030, de forma a criar uma cadeia produtiva sustentável.



identifica essas redes centradas no consumidor como um novo caminho, porém tais mudanças fundamentais impactarão no projeto e controle das redes elétricas.

Neste contexto, foi criado o *Smart Grids European Technology Platform* (ETP) para elaborar um plano de desenvolvimento para as redes europeias até 2020 e de longo prazo. Fazem parte representantes da indústria, operadores dos sistemas de transmissão e distribuição de energia, centros de pesquisa e agentes reguladores. Foram indentificados objetivos claros e desenvolvida uma proposta ambiciosa e estratégia para tornar realidade esta visão de benefícios para a Europa e seus consumidores de eletricidade.

2.2.1. Motivadores

Segundo a *European Commission* (2006b), o contexto da política energética enfatiza que a Europa entrou numa nova era energética. A política energética gravitará em torno de três grandes objetivos, necessitando de um conjunto coerente e consistente de políticas e medidas para atingi-los:

- A sustentabilidade, para preservar o meio ambiente promovendo o uso das fontes de energia renováveis e a eficiência energética;
- A competitividade, para melhorar a eficácia da rede europeia por meio da utilização do mercado interno da energia;
- A segurança do fornecimento de energia, para melhor coordenar a oferta e a procura energéticas dentro da UE num contexto internacional.

Tais aspectos foram reforçados pela Comissão Europeia quando lançou o documento “Energia Estratégia 2020” (EU’s 20-20-20), que define três metas, conhecidas como 20/20/20, a serem alcançadas por todos os seus países membros até 2020, conforme já citado anteriormente. O documento também define ações a serem tomadas, de modo a enfrentar os desafios da economia de energia de manter um mercado competitivo e dar garantia do fornecimento de energia, além de impulsionar a liderança tecnológica da Europa.

A REI será um meio facilitador para aplicar diversas políticas almeçadas pela EU no setor elétrico, buscando estes pilares acima. Exemplos disso seria a liberação do mercado de energia elétrica de baixa tensão; medidas de eficiência energética; e desenvolvimento da indústria com geração de empregos.



Em 12 de abril de 2011, a Comissão Europeia publicou “*Smart Grids: from Innovation to Deployment*”, que é um conjunto de orientações políticas para impulsionar a implantação das futuras redes de eletricidade europeias. Reunindo o mais recente progresso em tecnologias de informação e comunicação, o desenvolvimento de Redes Elétricas Inteligentes permitirá que a corrente elétrica flua exatamente onde e quando for necessária pelo menor custo. A REI dará aos consumidores a capacidade de acompanhar o seu consumo de energia elétrica em tempo real, por meio dos medidores inteligentes e terão incentivos para economizar energia e reduzir suas faturas de energia. As estimativas mostram que as REI podem reduzir as emissões de CO₂ na UE em 9% e o consumo anual de energia doméstico em 10%. Elas também irão contribuir para garantir e manter o fornecimento seguro do sistema de energia elétrica. Estima-se que a REI irá colaborar com o objetivo da EU para reduzir as emissões da UE de gases de efeito estufa em 80% à 95% até 2050.

A Plataforma Tecnológica Europeia para as redes elétricas do futuro, também chamada de *Smart Grids ETP*, é o principal fórum europeu para a cristalização de políticas e de pesquisa tecnológica e desenvolvimento para o setor de Redes Elétricas Inteligentes, sendo o elo da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2006a). A plataforma tem como missão:

- Construir e manter uma visão compartilhada para o futuro das redes de eletricidade da Europa e servir como um catalisador para a sua implementação;
- Garantir a visão e a implementação mantendo o foco no atendimento das necessidades dos clientes de acordo com a política europeia;
- Manter uma visão de alto nível estratégico, a fim de comunicar eficientemente a evolução do setor e as oportunidades, bem como os potenciais desafios;
- Promover o desenvolvimento da política energética sustentável para uma Europa mais competitiva;
- Promover a pesquisa sobre Redes Elétricas Inteligentes, o desenvolvimento, a demonstração e projetos de implantação relacionados.

De uma forma geral, pode-se dizer que a Europa é motivada principalmente pela meta que implantou 20/20/20. O foco do investimento em Redes Elétricas Inteligentes é um facilitador para atingir o potencial de eficiência energética e para a inserção de fontes renováveis na matriz energética da região.



Como um exemplo, a Alemanha pretende ter 80% de sua matriz energética renovável, reduzindo especialmente o uso de energia nuclear e termelétrica a carvão (Manto).

Como uma política de direcionar o mercado para este objetivo, a Alemanha possui uma tarifa *feed-in* (FIT) de incentivo aos consumidores a investirem em microgeração renovável.

Um exemplo disto é a cidade alemã de Wildpoldsried, que tem investido em fontes renováveis como o vento, o sol e o gás de biomassa (JG PRESS, 2011). A sua rede eletro-produtora, construída para servir os cidadãos, produz duas vezes mais energia verde do que a cidade consome, surgindo assim a necessidade de gerir o excesso de produção de forma sustentável. Ao permitir a gestão dos fluxos energéticos em tempo real, ajustando o consumo à geração e às necessidades da rede de distribuição de energia elétrica, a REI de Wildpoldsried contribuirá fortemente para gerir a capacidade de produção excedente. Será então possível integrar fontes de energia renováveis, solar e eólica, na rede elétrica e assegurar o fornecimento estável de energia (REDE INTELIGENTE, 2011d).

Desta forma, assim como parte da Europa, a Alemanha visa a REI como uma ferramenta para sua política de ampliação do uso de fontes renováveis na matriz energética. Neste sentido, os ministérios de Economia, Meio Ambiente e Educação, da Alemanha, lançaram, em maio de 2011, um programa de fomento à pesquisa e ao desenvolvimento de REI e de armazenamento de eletricidade. Até 2014, as pastas disponibilizarão, em conjunto, € 200 milhões para subsidiar projetos na área.

Outro exemplo europeu a ser citado é o da Itália. De acordo com a Empresa Nacional de Eletricidade da Itália (ENEL), as Redes Elétricas Inteligentes combinam os dispositivos inovadores e serviços com monitoramento avançado, controle e tecnologias de comunicação, com o intuito de:

- Integrar totalmente as fontes de energia renováveis nas redes de eletricidade;
- Envolver os clientes, otimizando o consumo, enquanto melhora o funcionamento do sistema global (gerenciamento da demanda);
- Implementar a infraestrutura necessária para o carregamento da mobilidade elétrica;
- Reduzir significativamente o impacto ambiental do setor elétrico;
- Aumentar a confiabilidade de toda a rede.

A Figura 9 ilustra um modelo de Rede Elétrica Inteligente desenvolvido na Itália.

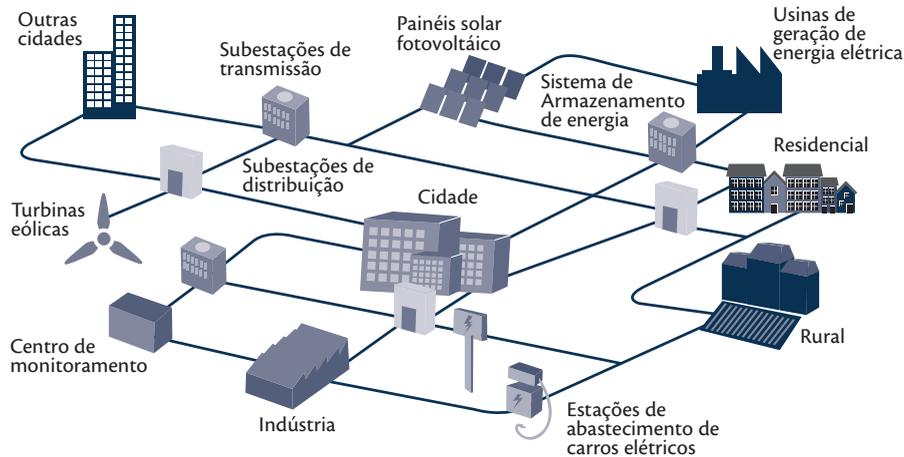


Figura 9 – Modelo de Redes Elétricas Inteligentes desenvolvido na Itália

Fonte: Adaptado de (ENEL, 2011).

A empresa Enel implantou, desde 2001, na Itália, uma solução de REI para gerenciamento remoto da medição inteligente. Trata-se do projeto *Telegestore*, que representa uma solução de medição inteligente em operação em larga escala, sendo uma das iniciativas mais referenciadas mundialmente nesta área (ENEL, 2011).

2.2.2. Grandes áreas envolvidas

Para permitir a União Europeia (UE) obter energia sustentável, competitiva e segura para as próximas décadas, conforme os objetivos já citados, serão envolvidas as grandes áreas de atuação prioritárias que necessitarão medidas concretas para por em prática esta política energética.

O primeiro desafio será realizar a abertura dos mercados, o que significa proporcionar uma concorrência equitativa entre as empresas em nível europeu, para dar à Europa uma energia mais segura (fornecimento assegurado, contínuo) e mais competitiva. Para criar este mercado interno da energia, em termos de UE, é necessário desenvolver esforços prioritariamente nos seguintes domínios:



- **Regulação:** o desenvolvimento de uma rede europeia, com normas comuns sobre as trocas transfronteiras, a fim de permitir aos fornecedores um acesso harmonizado às redes nacionais. Estas normas comuns serão definidas em colaboração pelos operadores de rede e, se necessário, com um regulador europeu de energia;
- **Sistema elétrico:** um plano de interconexões prioritárias para aumentar o investimento nas infraestruturas que ligam as várias redes nacionais, na sua maioria ainda demasiado isoladas;
- **Geração de energia:** o investimento em capacidade de produção para fazer face aos picos de consumo, utilizando a abertura dos mercados e a competitividade para incentivar o investimento;
- **Desverticalização do setor:** uma maior separação das atividades a fim de distinguir claramente as de produção e as de transmissão da eletricidade;
- **Segurança de fornecimento:** aumentar a competitividade da indústria europeia, dispondo de energia a preço acessível.

O sistema de distribuição de energia elétrica passará por profundas alterações desde o seu projeto até a operação, pois será necessário acomodar o fluxo de energia bidirecional, uma vez que a inserção de geração distribuída de pequeno porte será uma nova realidade.

Os sistemas europeus de eletricidade devem passar a operar sob o modelo de mercado em que os geradores são despachados de acordo com as necessidades do mercado e o centro de controle do sistema exercerá um papel de supervisão global (balanço de potência ativa e serviços ancilares, tais como reserva de potência e estabilidade de tensão).

As redes de eletricidade do futuro serão inteligentes de várias formas. Em primeiro lugar, elas permitirão que o consumidor exerça um papel ativo no fornecimento de eletricidade, sendo que o gerenciamento da demanda tornar-se-á uma fonte indireta de geração e a redução do consumo será recompensada. Em segundo lugar, o novo sistema oferecerá uma maior eficiência com as ligações criadas em toda a Europa permitindo um intercâmbio eficaz de energia. Além disso, as preocupações ambientais serão contempladas, graças à exploração de fontes de energia sustentáveis.



Tabela 3 – Projetos de Redes Eléctricas Inteligentes na Europa

País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Portugal	InovGrid		O InovGrid visa a substituição dos atuais medidores para dispositivos eletrônicos chamado Boxes Energia (EB), usando Gerenciamento automatizado da medidor (AMM). Estes EB são integrados com terceira geração de rede elétrica automatizada elétrica (smart grid), no qual são colocados os dispositivos de rede que irá gerenciar o EB através das novas soluções TIC (tecnologia da informação e comunicação), agregando a informação recolhida e oferecendo novos serviços aos consumidores.	EDP Distribuição AS (PT) (www.edpdistribuicao.pt)	2007-2011
Espanha	Almacena/ Armazenamento	Demonstração de Tecnologia de armazenamento específica	Instalação e testes de 1 MW em bateria eletroquímica numa subestação da rede de transmissão.	Red Eléctrica de España S.A (ES)	set 2009- dez 2013
Espanha	Hidrogénio - projetos de Sotavento	Demonstração de Tecnologia de armazenamento específica	O principal objetivo é demonstrar o um sistema gerenciamento da força do vento com base em H2. A instalação tem uma das maiores capacidades global, onde o hidrogénio é utilizado na gestão da produção de energia de um parque eólico.	Gás Natural Fenosa (ES)	2005-2011
Espanha	Smartcity Malaga	Smart Meter e AMI	- Teste e implantação do novo modelo de gestão de energia; - Implementação e integração dos recursos energéticos distribuídos, instalações e armazenamento de energia, abastecimento de veículos elétricos de carga e dispositivos inteligentes de iluminação pública para operação nas novas redes.	Endesa (ES) (www.smartcitymalaga.com)	mar 2009- mar 2013
Espanha	Estrela	Smart Meter e AMI	O projeto visa integrar 100.000 medidores inteligentes com uma variedade de fabricantes de equipamentos e comunicações em um Sistema de Gerenciamento de Medição Avançada (AMM) e gerenciá-lo remotamente. Construir uma solução interoperável e para os medidores inteligentes.	Iberdrola Distribución (ES) (www.iberdrola.es)	abr 2010- mar 2011
França	Linky Piloto	Smart Meter e AMI	piloto Linky é um piloto AMM. Ele consiste na criação de um controlador lógico ("Linky IS") e na implantação experimental de 300.000 medidores + 5.000 concentradores. A criação de todo o sistema é baseado em uma LAN e uma WAN PLC GPRS. Ambos os medidores e concentradores são projetados para serem interoperáveis.	Feder (FR)	2007-2011



País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Reino Unido	Hub Central Redes de Baixo Carbono - Otimização dos recursos de energia renovável em Lincolnshire	Distribuição de Automação Rede de Distribuição de Energia.	O Hub de baixo carbono irá demonstrar como um quantidade expressiva de geração renovável pode ser conectado a uma rede de distribuição primária.	Central Networks (Reino Unido) www.eon-uk.com/distribution/lowcarbonhub.aspx	jan 2011-dez 2014
Reino Unido	CET 2011 Consumidores Liderando a Revolução das Redes	Smart Meter e AMI	Este projeto irá explorar como as novas tarifas podem alterar o comportamento do consumidor, permitirá que as redes de respondam com mais flexibilidade aos consumidores através de dispositivos avançados de controle de tensão, irá explorar as formas de comunicação das redes e medidores inteligentes, fará monitoramento em 600 produtos da linha branca inteligente e 14.000 medidores inteligentes.	CE Electric (UK) (www.networkrevolution.co.uk)	jan 2011-dez 2013
Reino Unido	Baixa Emissão de Carbono em Londres - Um Aprendizado	Smart Meter e AMI	Este projeto vai implementar novas tarifas para EV (veículos elétricos), e a criação de um laboratório de aprendizagem no Imperial College de Londres para testar em grande escala o impacto de tecnologias de baixa emissão de carbono em redes, instalação e monitorar 5.000 medidores inteligentes e monitorar o carregamento EV (veículos elétricos). Um teste de larga escala do sistema integrado de fornecimento de energia ponto a ponto. Economizar a emissão de CO2 em 0,6 bilhões de toneladas entre 2011 e 2050. Em termos financeiros, os benefícios da redução da emissão de carbono a partir do lançamento nacional iria dar um VPL (Valor Presente Líquido) de £ 29 bilhões de 2050. VPL de £ 12 bilhões de benefícios financeiros para os consumidores até 2050.	UK de Redes de Energia (ex-EDF Energy)	jan 2011-jun 2014
Reino Unido	Plugged-in Places - Locais Conectados	Aplicação Residencial - Comportamento do Cliente	O Plugged-in Places fornecerá os pontos para carregamento dos "Plug-in Cars" - veículo elétrico puro (EVs), plug-in de veículos elétricos híbridos (PHEVs) e carros a hidrogênio. Destina-se a demonstrar como o carregamento do veículo do elétrico funciona na prática em uma variedade de configurações diferentes - urbanos, suburbanos e regionais -, bem como testes de tecnologias inovadoras, tais como carregamento rápido, o carregamento indutivo e de troca de baterias.	Various (Reino Unido)	abr 2010-abr 2013
Irlanda	Conexão Distribuída de parques eólicos	Outros	Este projeto compreende três vertentes independentes, todos com o objetivo de permitir a penetração máxima de geração eólica no sistema de distribuição.	ESB Networks (IE)	mai 2009-abr 2012



País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Bélgica	Impacto dos veículos elétricos sobre as redes	Distribuição e Automação de redes	Medidas e modelos do impacto dos carregamentos lentos e rápidos dos veículos elétricos na rede de Ores.	Ores (BE)	set 2010- dez 2011
Bélgica	Linear	Sistema Integrado	O projeto LINEAR é o primeiro passo crucial na transição para Redes Elétricas Inteligentes em Flandres. O projeto enfoca a realização de uma inovação tecnológica e implementação de pesquisas tecnológicas inovadoras e um projeto piloto de grande escala em uma área residencial. Este objetivo será alcançado em estreita colaboração com parceiros industriais e plataformas de inovação Flemish. O escopo do projeto é a instalação de fontes de energia distribuída e gerenciamento de carga de 1000 consumidores no âmbito do projeto de medição inteligente em Hombeek e Leest.	Vito (BE)	2011-2014
Holanda	Easy Street	Sistema Integrado	Insight sobre o funcionamento da tecnologia, incentivos e interação, a fim de mobilizar a flexibilidade de uso do cliente de energia elétrica.	Enexis (NL) (www.enexis.nl/site/slimnet)	jan 2011- jun 2014
Holanda	Energia Inteligente Coletiva	Automação das redes de distribuição	A Energia Inteligente Coletiva é um projeto coletivo de toda a indústria que está montando de 5 a 10 projetos de Redes Elétricas Inteligentes em grande escala para demonstração em toda a Holanda com um total de cerca de 5.000 pequenas empresas privadas e usuários finais. Esta iniciativa da indústria é dedicada ao desenvolvimento prático de serviços de Redes Elétricas Inteligentes de energia, integração de serviços interoperáveis, tecnologias e infraestruturas, eletricidade, ou seja, gás, calor, e as TIC. (TIC – tecnologia da informação e comunicação).	Kema (NL)	2010-2013
Alemanha	Adele Projeto AA-CAES	Demonstração de Tecnologia de armazenamento específica	Ar Comprimido e armazenamento de energia (caso) como buffer para eletricidade do vento e do sol.	RWE Power AG, (DE) (www.rwe.com/rwepower)	dez 2009 - dez 2013
Alemanha	E-Dema	Sistema Integrado	O objetivo do E-Dema é alcançar mais benefícios e eficiência energética para os geradores de eletricidade, serviços públicos municipais, fabricantes de dispositivos e, acima de todos os consumidores.	RWE RWN, (DE) (www.e-dema.de)	2009-2014
Alemanha	E-telligence	Sistema Integrado	A idéia por trás eTelligence é a integração do sistema inteligente de geração de eletricidade e consumo. Para este objetivo, o projeto irá desenvolver os testes de campo: • um mercado regional de energia elétrica; • Os sistemas de feedback, tarifas e programas de incentivo; • geração de energia e sistemas de controle pelo lado da demanda; • TIC modernas e padrões internacionais.	EWE AG (DE) (www.etelligence.de)	nov 2009- out 2012



País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Alemanha	Regenerativa Modellregion Harz	Smart Meter e AMI	Dentro deste projeto, operadores de rede, fornecedores de energia, serviços públicos municipais, operadores de parques eólicos, universidades, institutos de pesquisa e empresas relacionadas TIC irão desenvolver ferramentas, infraestruturas e estratégias para abastecer um bairro completo, com energia elétrica exclusivamente de fontes renováveis.	Fraunhofer IWES (DE) (www.regmodharz.de)	2008-2012
República Tcheca	Região Inteligente	Automação das redes de distribuição	Totalmente automatizada, monitorada e equilibrada as redes de MT e BT, podem facilmente operar de forma ilhada e no modo de operação normal, oferecendo maior qualidade e garantia de fornecimento de energia, unidades de cogeração e operação de energias renováveis.	CEZ Distribuce a.s (CZ)	2011-2014
Áustria	Redes para os consumidores (C2G)	Aplicação Residencial - Comportamento do Cliente	Este estudo investiga a forma como a informação sobre potenciais economias de energia é o melhor apresentado ao consumidor, a fim de reduzir o consumo de energia no smart-grid.	Salzburg AG (AT) (www.smartgridssalzburg.at)	jul 2010- jun 2012)
Áustria	DG Demonet Inteligente LV Rede	Sistema Integrado	O projeto visa permitir uma utilização eficiente e rentável de infraestruturas de rede existentes com base em um conceito de três etapas: planejamento inteligente, monitoramento on-line e gerenciamento de rede ativa. Comunicação em sistemas baseados em conceitos de controle automático para redes de baixa tensão será desenvolvida e avaliada, colocando-os em prática.	Instituto Austríaco de Tecnologia (AT) (www.smartgridssalzburg.at)	mar 2011- mar 2014
Áustria	Intelligent Energy Management	Medidores Inteligentes e AMI	Preparação de Linz Strom para cumprir a política de energia do futuro.	Linz Strom Netz GmbH (AT) (www.linzag.at)	2008-2020
Eslovênia	Sistemas avançados de Uso Eficiente de Energia Elétrica - SURE	Sistema Integrado	O objetivo principal do projeto é a construção de conceitos de rede ativa com base em novas soluções tecnológicas e testar essas soluções em redes de energia real. No âmbito do projeto uma série de projetos de demonstração de campo com redes ativas serão realizadas.	Teces (SL)	jan 2011- jan 2014
Itália	E-mobilidade	Sistema Integrado	E-mobility Itália permite a difusão e o uso de veículos elétricos, graças ao desenvolvimento de infraestrutura de recarga, oferecendo serviços inteligentes e seguros e respeitando o meio ambiente. Smart * Os veículos elétricos serão fornecidos a 100 clientes e 400 estações de recarga (300 estações públicas e 100 estações residenciais) será instalado pela Enel em Roma, Milão e Pisa. Os novos pontos de carga irão alavancar a tecnologia da Enel, incluindo o medidor inteligente Enel com um núcleo para fornecer todas as funcionalidades de medição certificados e garantindo uniformidade em relação à aquisição de dados e gestão de faturamento do consumidor final.	(www.emobilityitaly.it) (www.smartgridprojects.eu/map.html)	dez 2008- dez 2013



País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Itália	Energia @ home		O projeto "Energia @ Home" visa desenvolver um sistema no qual "aparelhos inteligentes" podem administrar-se ajustando o consumo de energia dependendo da fonte de alimentação e preços, ou para evitar sobrecargas dentro da casa. Além disso, Energia @ Home fornece informações para o usuário, tais como o consumo de energia dos eletrodomésticos, o custo por hora de energia, nível verde da energia a ser fornecida, esta informação é disponibilizada no PC do usuário, móvel ou no visor do aparelho.	(www.energy_home.it)	jan 2009- dez 2011
Itália	Telegestore		O projeto Enel Telegestore fornece a instalação de mais de 32 milhões de medidores inteligentes. Estes medidores inteligentes permitem a Enel recolher periodicamente os dados sobre a qualidade de tensão e interrupções, os consumos diários, medições de energia ativa e reativa, e gerenciar remotamente atividades contratuais. Os medidores são capazes de transmitir dados relativos a consumos, receber atualizações dos parâmetros contratuais e gerenciar remotamente o fornecimento.	Enel Distribuzione (TI)	dez 2001- dez 2006
Malta	Integrado Utilities Business Systems	Smart Meter e AMI	Substituição de 250.000 medidores por medidores inteligentes e implementação de gerenciamento remoto SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados) para níveis de tensão 132 kV e 33 kV.	Enemalta Corporation e Water Services Corporation (MT)	set 2008- set 2013
Hungria	Projeto piloto de medição inteligente	Smart Meter e AMI	O principal objetivo do projeto-piloto é a obtenção de experiência na operação de sistemas de medição inteligente, e para obter informações detalhadas e precisas sobre as vantagens e desvantagens.	ELMŰ Hálózati Kft (Eletricidade, DSO), (HU)	fev 2011- ago 2012
Suíça	Swiss 2 G	Automação das redes de distribuição	O objetivo do projeto é o desenvolvimento de um algoritmo que permita que um dispositivo possa identificar o estado da rede de distribuição e para tomar as ações apropriadas para estabilizar e melhorar seu desempenho.	Kraftwerke Oberhasli (KWO), (CH)	2010-2013
Polônia	AMI	Medidores Inteligentes e AMI	O projeto é focado no aumento da eficácia da atividade operacional e facilitar a gestão da rede, gerenciamento remoto de sistemas de medição e obtenção de dados; motivação dos consumidores para eficácia de energia e geração distribuída, complementação regulatória de requisitos regulamentares no âmbito das leituras do medidor; facilitar o acesso irrestrito à rede.	ENERGA-OPERADOR AS (PL)	2010-2017



País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Hungria	Piloto Utility Metering Inteligentes multi	Smart Meter e AMI	O principal objetivo do projeto-piloto é a obtenção de experiência na área de criação de um projeto piloto, operando o piloto instalados sistemas de medição inteligente, e para obter informações detalhadas e precisas sobre as vantagens e desvantagens, os problemas do sistema de medição inteligente.	ELMŰ Hálózati Kft (Eletricidade, DSO), (HU)	fev 2011- ago 2012
Eslováquia	Análise custo-benefício para a implementação de medidores inteligentes projeto-piloto	Smart Meter e AMI	O objetivo principal do projeto é para encontrar fatos relevantes e provas identificar para quais segmentos de consumidores a medição inteligente pode ser econômico.	Ministério da Economia da República Eslovaca (SK)	jan 2011- dez 2011
Dinamarca	Agente de controle baseada em sistemas de energia, ForskEL	Smart Meter e AMI	O objetivo é explorar as possibilidades de usar tecnologia para abertura dinâmica do sistema elétrico de alimentação, por exemplo. "Ilhamento" de subsistemas e para estudar como os agentes podem ser utilizados para a implementação de estratégias de controle flexível.	CET - DTU (DK) (www.energienet.dk)	abr 2006- mar 2010
Dinamarca	Consumidor web	Aplicação Home - Comportamento do Cliente	Tornar os dados de consumo disponíveis para os consumidores de uma forma que os ajude a compreender o seu próprio consumo, o seu padrão de consumo e o consumo de energia em geral; motivá-los a otimizar o seu consumo, e permite-lhes realizar economia de energia.	Vestforsyning A/S (DSO) (DK) (www.energienet.dk)	jan 2010 - jan 2011
Dinamarca	EDISON	Distribuição de Automação Grade	O projeto avaliará a introdução de veículos elétricos no sistema de eletricidade da Dinamarca e desenvolver quadros e soluções técnicas que permitam uma demonstração em larga escala. As soluções devem permitir que os veículos elétricos sejam carregados de forma inteligente em termos de estabilidade do sistema e gargalos na rede elétrica local.	Associação de Energia da Dinamarca (DK)	fev 2009- dez 2011
Dinamarca	lpower	Smart Meter e AMI	O objetivo da plataforma é contribuir para o desenvolvimento de um sistema elétrico inteligente e flexível capaz de lidar com uma grande parte da produção de eletricidade sustentável em áreas onde a produção varia devido às condições climáticas (sol, vento etc.).	Riso DTU (DK) (www.dtu.dk)	jan 2011- dez 2016
Suécia	Infra-Estrutura de Carregamento	Sistema Integrado	Foi construído e testado aproximadamente 50 pontos de carregamento, todos eles equipados com medidores inteligentes permitindo sub- medição de nível de usuário específico e funcionalidade on-off remoto. Um one-stop-shop de carregamento foi testada no mercado e desenvolvido dentro do projeto. Um plano de desenvolvimento interno para carregamento de veículos elétricos foi produzido.	Goteborg Energia AB (SE)	jan 2008- dez 2010



País	Projeto	Categoria	Descrição	Responsável/ Organização (endereço)	Período
Finlândia	As redes elétricas inteligentes e mercado	Sistema Integrado	Os objetivos gerais do programa de pesquisa são: criar uma fundação para a inovação de novas soluções, produtos e serviços para permitir a implementação da visão <i>Smart Grids</i> , demonstrações de soluções em ambiente real; cultivar a acumulação de competências nos ambientes de pesquisa e de negócios para assegurar a competitividade a longo prazo; cooperação científica internacional é um pré-requisito para alcançar os objetivos.	Cleen Ou (FI) (www.cleen.fi)	set 2009- set 2014
Chipre	Chipre demonstração de medição inteligente	Smart Meter e AMI	Instalação de 3000 medidores inteligente com a infraestrutura necessária para a avaliação total das funcionalidades e abordagem das melhores práticas para a implantação completa.	Autoridade da Electricidade de Chipre (EAC) CY	jul 2010- jul 2012

Fonte: Adaptado de (JRC-ENER)

2.3. Ásia pacífico

Um grande número de concessionárias de energia elétrica e governos da região Ásia-Pacífico estão iniciando suas ações em Redes Elétricas Inteligentes. Segundo o relatório da *Pike Research*, a base total instalada de medidores inteligentes na região Ásia-Pacífico irá aumentar de 52,8 milhões em 2010 para 350,3 milhões em 2016 (PIKE RESEARCH, 2011d).

De acordo com o analista Andy Bae, os governos e concessionárias da Ásia-Pacífico têm quatro objetivos principais para Rede Elétrica Inteligente e implantações de medição inteligente: melhorar a confiabilidade e segurança da rede elétrica, melhorar a eficiência operacional da infraestrutura de rede, equilibrar a oferta e demanda de energia, e reduzir o impacto do sistema elétrico no ambiente. Para atingir esses objetivos, os principais agentes da indústria em muitos países “estão fazendo um esforço agressivo para instalações de medidores inteligentes” (REDES INTELIGENTES, 2011a).

Bae acrescenta que, entre os países da região, a China tem objetivos mais ambiciosos para instalações de medidores inteligentes. Em 2016, as previsões da *Pike Research* são de que a China representará mais de três quartos da base instalada de medidores inteligentes na Ásia-Pacífico, e o governo declarou planos para continuar uma implantação em grande escala de medidores, pelo menos até 2020. Japão, Coreia do Sul e Austrália também representam grandes mercados para os medidores inteligentes (REDES INTELIGENTES, 2011a).



Na Figura 11 é mostrado o número de medidores acumulados por estes países previstos pelo estudo, no período de 2009 a 2016 (PIKE RESEARCH, 2011d).

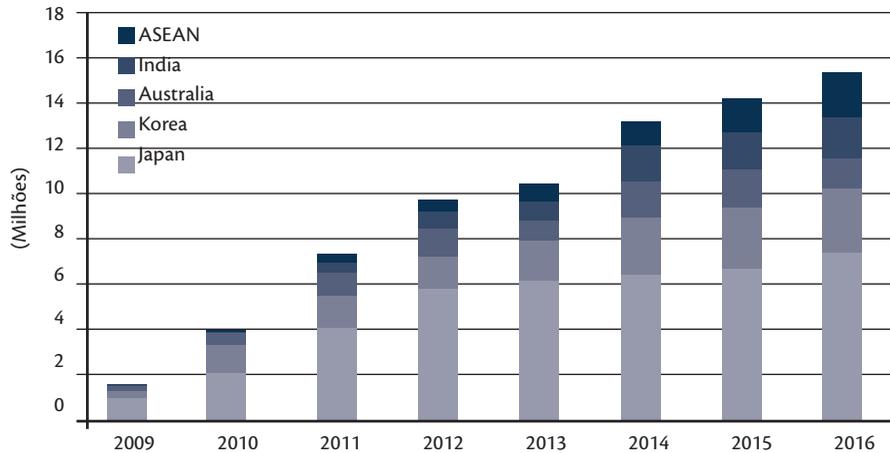


Figura 11 – Previsão da quantidade de medidores inteligentes instalados nos países da Ásia-Pacífico.

Fonte: Adaptado de (PIKE RESEARCH, 2011d).

2.4. Estados Unidos da América (EUA)

Associam-se as seguintes características às Redes Elétricas Inteligentes no contexto americano (CEMIG, 2009):

- Economizar dezenas de bilhões de US\$ com gerência da carga dos consumidores;
- Reduzir drasticamente a emissão de GHG na geração de eletricidade;
- Criar novos mercados, comparável ao avanço da telefonia que em 1980 gerava um faturamento de US\$ 33 bi, passando para US\$ 117 bi em 2006;
- Prover qualidade de energia demandada por uma “economia digitalizada”;
- Aumentar a resistência e a capacidade de recuperação contra ataques cibernéticos e eventos naturais;



- Promover a viabilidade econômica do novo mercado de energia, mesmo com a elevação dos custos iniciais;
- Suportar a participação ativa dos consumidores, inclusive na operação;
- Aumentar a confiabilidade do sistema, reduzindo as possibilidades de quedas do sistema (*self-healing*);
- Acomodar toda nova solução de geração, inclusive armazenamento de energia e geração distribuída.

2.4.1. Motivadores

Possuindo a maior economia e um dos maiores consumos de eletricidade do mundo, os Estados Unidos necessitam aumentar a eficiência do seu sistema de energia. Outros objetivos americanos para as Redes Elétricas Inteligentes são abordar o envelhecimento de suas redes, melhorar os níveis de serviço e aumentar a interação com o usuário (XUE-SONG, et al., 2010).

Os americanos planejam obter 25 % de sua eletricidade a partir de fontes limpas e renováveis até 2025. Atualmente, fontes de energia renováveis, além da hidrelétrica, fornecem cerca de 5% da capacidade instalada. Além disso, a rede atual tem dificuldades em acomodar as fontes de energia variáveis como a eólica e solar, que têm aumentado rapidamente sua participação no sistema. Assim, a perspectiva é que as Redes Elétricas Inteligentes sejam capazes de fazer melhor uso destes recursos energéticos.

Os operadores da rede terão novas ferramentas para reduzir a demanda de energia ou ativar outras fontes rapidamente quando a produção de energia eólica ou solar reduzir.

Também deverá haver mais possibilidades e capacidade de armazenamento de energia para absorver o excesso de vento e sol, de modo a fornecer essa energia quando a rede exigir.

Em 2001, o Instituto Americano de Pesquisas em Energia Elétrica, criou a aliança “*Intelligrid*” para promover pesquisas em Rede Elétrica Inteligente. Em 2003, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S. DOE), lançou o programa “*Grid2030*” com planos para o futuro das redes de energia. Em 2004, lançou o programa *GridWise*, onde prevê um roteiro nacional desta tecnologia. Até o fim de 2007, os Estados Unidos promoveram o desenvolvimento da política das Rede



Elétrica Inteligente com a assinatura da *Energy Independence and Security Act* (EISA). Em abril de 2009, o governo americano anunciou planos de investimentos nesta tecnologia, sendo que em junho do mesmo ano, lançou estudos de padrões e princípios de interoperabilidade (IEEE p.2030, 2009), marcando oficialmente o início da implantação das Redes Elétricas Inteligentes no país.

2.4.2. Grandes áreas de atuação

Uma REI consiste principalmente de quatro partes. Os EUA vêm apresentando atuação nas quatro, todas permeadas por tecnologias de comunicação e informação. São elas:

- *Home Area Network* (HAN): as redes domésticas incluem os aparelhos inteligentes, autogeração, veículos elétricos, e os medidores inteligentes que funcionam como portais de interação com o usuário e estão vinculadas à proposta de consumo moderado e uso eficiente da energia. Representam uma infraestrutura crítica para o desenvolvimento das REI, tendo como principal função capacitar o consumidor, permitindo que o sistema estabeleça contato com a carga e que o consumidor participe da operação do sistema de energia, podendo até mesmo fornecer eletricidade para a rede. O medidor inteligente de energia serve como um sensor e estabelece a troca de informações entre a rede e a carga, permitindo funções como a implantação de tarifas horárias, monitoração da qualidade de energia, chaveamento remoto (corte/religa) e pré-pagamento.
- *Advanced Distribution Operation* (ADO): automação completa dos dispositivos de controle e funções de operação da rede de distribuição com o propósito de autocorreção e de eficiência da REI. Os controles automáticos de chaves, de tensão e de fluxo de reativos exemplificam este tipo de situação.
- *Advanced Transmission Operation* (ATO): foco na gestão de congestionamentos e redução de riscos de interrupções, proporcionando maior troca de informações entre subsistemas e reação rápida a desastres e perturbações dinâmicas. A integração de medição fasorial sincronizada Phase Measurement Unit (PMU), cabos supercondutores de alta temperatura, transmissão CA flexível - *Flexible AC Transmission Systems* (FACTS), relés de proteção avançados e transmissão CC de alta tensão (HVDC) exemplificam este tipo de situação.
- *Advanced Asset Management* (AAM): gestão dos ativos do sistema, que se divide em quatro camadas: consumidor, lógica, serviços de aplicação e serviços de sistema. Os controles de equipamentos, de defeitos, de manutenções das peças de reposição, exemplificam este tipo de situação.



2.4.3. Principais iniciativas

Recentemente, o *U.S. Department of Energy* (DOE) publicou um manual para compartilhar os estudos e análise de desempenho de iniciativas com os conceitos de REI (DOE, 2008). A Figura 12 ilustra o ciclo realimentado de avaliação de projetos por meio do Programa de Feedback de Desempenho de REI (DOE, 2011).



Figura 12 – Ciclo de avaliação do desempenho de projetos REI

Fonte: Adaptado de (DOE, 2011).

No início têm-se as atividades de transição para a Rede Elétrica Inteligente, onde parâmetros importantes são monitorados pelos processos de avaliação de desempenho. As saídas dos processos de monitoramento de desempenho são informações e percepções que, após análise, podem gerar oportunidades para melhorar as ações. Essas oportunidades são validadas, recomendações são formuladas e comunicadas às partes interessadas no processo. Quando praticadas, é esperado que essas recomendações melhorem o desempenho futuro das atividades de transição e o ciclo continua levando a um progresso contínuo em direção à REI.

Mediante as diretrizes nacionais estabelecidas no “*Presidential Memorandum on Transparency and Open Government*”, o governo americano criou os portais “*SmartGrid.gov*” e “*OpenEI*”. Os portais concentram informações sobre as iniciativas federais que apoiam o desenvolvimento das tecnologias, políticas e projetos de transformação da indústria de energia elétrica voltados ao conceito de REI (DOE, 2012a). A Figura 13 ilustra o conteúdo dos referidos portais.

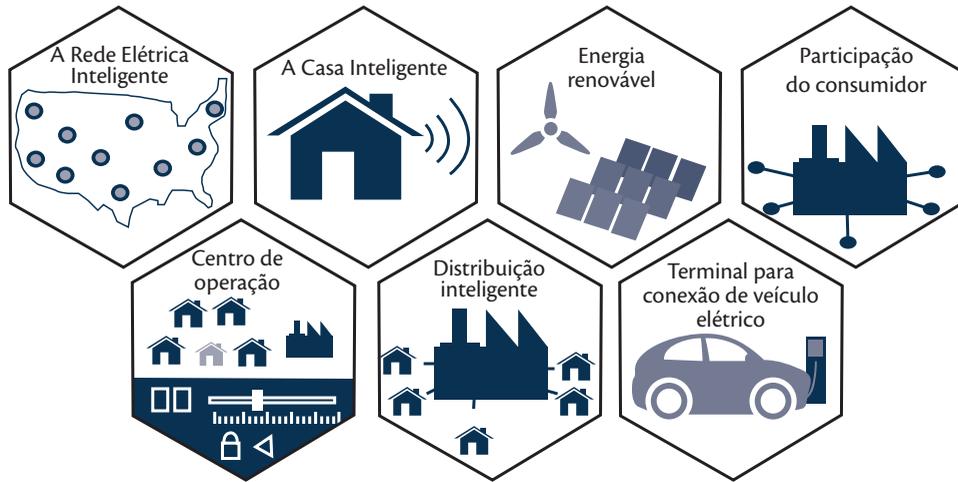


Figura 13 – Exemplo do conteúdo do Portal *SmartGrid.gov*.

Fonte: Adaptado de (DOE, 2012A).

Um objetivo comum entre os projetos de demonstração de tecnologias de REI nos EUA é a redução da demanda de pico, o que resulta em uma melhor utilização e eficiência das instalações do sistema elétrico. No entanto, cada projeto emprega diferentes dispositivos e sistemas.

Assim, com o intuito de ter uma base comum para estimar os benefícios de seus projetos individuais, o escritório do DOE iniciou estudos para desenvolver um quadro metodológico para estimar os benefícios e custos de demonstração, como mostra a Tabela 4 (EPRI, 2010).

O *Electric Power Research Institute* (EPRI) recentemente concedeu patrocínio a projetos de demonstração em *Smart Grid* que têm objetivos gerais semelhantes aos projetos do DOE expostos na Tabela 4. Mais de US\$ 4 bilhões em recursos federais foram disponibilizados para investimentos e projetos de demonstração no tema. Na iniciativa do projeto EPRI, diversos modelos e pesquisas focam a integração de recursos para formar uma “usina virtual” empregando controle integrado de geração distribuída, armazenamento, energias renováveis e tecnologia de resposta à demanda. Essa iniciativa conta com a parceria de empresas de energia, fabricantes e governo, que incluem: American Electric Power Service Corporation (AEP); Ameren Services Company; Central Hudson Gas & Electric; Con Edison; Duke; Electricité de France; Entergy; ESB Networks; FirstEnergy; KCP&L; PNM Resources; Public Service Enterprise Group; Salt River Project; Southern Company; Southwest Power Pool, Inc.; Tennessee Valley Authority (TVA); Wisconsin Public Service.



Tabela 4 – Projetos pilotos demonstrativos de Redes Eléctricas Inteligentes americanos

Organização	Projeto de demonstração	Benefícios
Allegheny Power	Integração de recursos distribuídos e tecnologias avançadas.	Melhorar o desempenho do sistema de distribuição, confiabilidade e segurança
ATK Launch Systems	Integração de geração renovável e armazenamento de recursos energéticos, incluindo tecnologia de ar comprimido de última geração	Reduzir a carga
Chevron Energy Solutions	Integrar a energia solar, células de combustível, armazenamento de energia e sistemas de controle	Reduzir a carga de pico e melhorar a confiabilidade de energia de forma mensurável
City of Fort Collins	Sistema coordenado e integrado de múltiplos recursos distribuídos de 3,5 MW	Alcançar uma redução de 20 a 30 % da carga de pico em múltiplos alimentadores de distribuição
Consolidated Edison Co.	Metodologias para alcançar uma verdadeira interoperabilidade entre uma empresa de distribuição e consumidores	Aumentar a confiabilidade da rede de distribuição e a eficiência de suas operações
Illinois Institute of Technology	Recursos distribuídos, sensores avançados, reconfiguração de alimentadores e controles	Demonstrar que uma potência pode ser entregue ao consumidor quando exigir, de forma econômica, sem falhas e sem aumentar os custos
San Diego Gas and Electric	Alimentador de distribuição despachável para a redução da carga de pico e fazendas eólicas	Melhorar a estabilidade e reduzir picos de carga nos alimentadores / subestações
University of Hawaii	Gestão dos recursos do sistema de distribuição	Qualidade de serviço e confiabilidade, alívio de congestionamento
University of Nevada	Sistemas fotovoltaicos integrados, armazenamento de energia em baterias, e produtos de consumo ligados a medidores avançados	Casas de eficiência energética que superam questões de integração a rede, controle e comunicação

Fonte: Adaptado de (EPRI, 2010).

As três maiores empresas do estado da Califórnia sofrem com o clima, pois o pico de demanda no verão chega perto de 50-100 horas todo ano, ocasionado principalmente pelo uso excessivo de ar condicionado. Dessa maneira, a *Pacific Gas & Electric Co.*, a *Southern California Edison* e a *San Diego Gas & Electric* iniciaram projetos para a implantação de novos medidores com comunicação bidirecional com os seus consumidores, a fim de melhorar o gerenciamento de carga. Em julho de 2006, a PG&E recebeu um projeto de troca de medidores da *California's Energy Agency*, com cerca de nove milhões de medidores para consumidores residenciais no norte da Califórnia. Os novos medidores têm a capacidade de gravação e reportam o consumo de gás e eletricidade, com tarifação horária. De acordo com a *California Public Utilities Commission*, a economia com os novos medidores cobrirá cerca de 70 % do investimento necessário para os medidores inteligentes.



Outros estados dos EUA estão seguindo o exemplo da Califórnia. No Texas, a *Austin Energy* também iniciou a implementação de uma rede *RF-Mesh* bidirecional em cerca de 260 mil medidores inteligentes residenciais em 2008, e mais de 165 mil medidores inteligentes instalados desde 2009.

A *Xcel Energy* está compondo um portfólio de tecnologias de REI projetado para fornecer benefícios financeiros, ambientais e operacionais. Isso envolve a transformação da infraestrutura de medição existente para uma robusta rede elétrica com sistema dinâmico de comunicação, fornecendo em tempo real, de alta velocidade, comunicação de duas vias em toda a rede de distribuição; a conversão de subestações para monitoramento remoto e com desempenho otimizado; a instalação de dispositivos de controle programáveis na casa dos consumidores e os sistemas necessários para automatizar totalmente o uso de energia em residências; e integração de infraestrutura para suportar facilmente tecnologias de geração distribuída (como de veículos elétricos *plug-in* com a rede (V2G), sistemas de bateria, turbinas eólicas e painéis solares). Ainda no Texas, a *Centerpoint Energy* está investindo US\$ 50 milhões em sistemas de *self-healing* e terá implantado até 2012 cerca de dois milhões de medidores inteligentes em Houston-Metro e Galveston.

Na América do Norte, a implantação de medidores inteligentes requer um investimento de aproximadamente US\$ 50 bilhões, e a taxa de penetração desses medidores foi cerca de 6 % em 2008 e espera-se alcançar 89 % em 2012 (DEPURU, et al., 2011).

As empresas de TI, Google e Microsoft, entraram na área de eficiência energética com os seus produtos. Uma ferramenta livre para monitoramento de energia (*Power Meter*) foi lançada pela Google em 2009 em parceria com 11 fabricantes e empresas de energia elétrica que aplicavam REI em território dos EUA. A Microsoft lançou uma ferramenta de monitoramento de energia logo após o Google, o Microsoft Hohm. Contudo, recentemente, os suportes a ambos os produtos foram descontinuados temporariamente.

2.5. Conclusões e recomendações

Considerando a situação internacional frente ao novo conceito das REI, observa-se que a Europa demonstra forte tendência e comprometimento com a área de microgeração distribuída, focada na utilização de energia limpa e o crescimento da eficiência energética na região.



A visão dos EUA, por sua vez, mostra o foco na recuperação das redes de distribuição que estão envelhecidas e desgastadas.

Por fim, o foco da Ásia e Pacífico está no mercado, seja em atender a demanda crescente de energia ou ao mercado tecnológico que se abre com esta tendência mundial, apresentando uma diversificada cadeia produtiva. Sua visão é que a REI é uma ferramenta que possibilita uma otimização maior para o atendimento ao crescimento da demanda, com potenciais desenvolvimentos de novas tecnologias e inovações que terão aplicação nos principais mercados de energia.

Como o conceito REI é bastante amplo e ambicioso, também o será a aplicação das novas tecnologias que o envolvem. Todas as regiões que vêm estudando ou já implementando REI têm consciência do potencial tecnológico e de inovações que está por trás do processo e, portanto, todas vêm elaborando planos de inovação de PD&I ou de tecnologia puramente.

No próximo capítulo são feitos levantamento e análise das iniciativas e experiências nacionais.



CAPÍTULO 3

INICIATIVAS NACIONAIS

Assim como os países citados, o Brasil possui diferentes iniciativas desde projetos de PD&I a patentes nacionais. Os projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de Redes Elétricas Inteligentes (REI) que estão sendo realizados pelas parcerias entre as concessionárias de energia elétrica, as universidades, os laboratórios e as empresas fabricantes têm sido importantes para a avaliação da capacidade e dos benefícios decorrentes da implantação das REI no Brasil.

O objetivo deste capítulo é levantar um breve panorama sobre os projetos de PD&I no Brasil no tema REI. Inicia-se com uma apresentação no âmbito do programa de P&D coordenados pela Aneel, seguindo com uma breve descrição sobre os projetos realizados pelas concessionárias e comentários sobre os trabalhos de instituições de PD&I no assunto. O capítulo finaliza com abordagem industrial, com um levantamento das empresas atuantes, fornecedores e patentes nacionais geradas.

3.1. Iniciativas de PD&I nacionais

O levantamento se limitou aos estudos realizados no âmbito do Programa de P&D coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), devido a este ser o principal instrumento que fomentou a pesquisa nacional nesta temática até o momento, segundo os agentes envolvidos no estudo.

Segundo informações da ANEEL, até o período de 2011 constam 178 projetos catalogados no programa de P&D coordenado pela Agência, nos seguintes subtemas:

- Sistemas de medição inteligente de energia elétrica, incluindo novos modelos e testes de novas funcionalidades de medidores eletrônicos de energia elétrica (RI01);
- Automação da distribuição, incluindo sistemas de supervisão das redes de distribuição de energia elétrica (RI02);
- Geração distribuída, microgeração e microrredes (RI03);
- Sistemas de armazenamento distribuídos e baterias (RI04);



- Veículos elétricos e híbridos plugáveis, além de sistemas de carregamento e supervisão associados (RI05);
- Telecomunicações para Rede Elétrica Inteligente (RI06);
- Tecnologias da Informação para Rede Elétrica Inteligente, incluindo sistemas de *BackOffice* (RI07);
- Prédios e residências inteligentes e interação do consumidor com a Rede Elétrica Inteligente (RI08);
- Novos serviços para o consumidor final sobre uma Rede Elétrica Inteligente, como medição de serviços de água e gás, serviços de segurança, serviços de comunicação e serviços de eficiência energética (RI09);
- Outros (RI10).

Os projetos catalogados pela ANEEL totalizam 178 projetos, que somam investimentos de aproximadamente R\$ 411,3 milhões, sendo recursos provenientes das empresas executoras e das parceiras. As Figuras 14 e 15 ilustram, respectivamente, a quantidade e os custos totais, em R\$ milhões, por subtema na área de Redes Elétricas Inteligentes, dos projetos catalogados pela ANEEL. A média dos valores dos projetos é de R\$ 1,89 milhão. A temática “geração distribuída” foi a que teve o maior investimento, maior número de projetos e valores de projeto unitários superiores a média. Com o mesmo número de projetos, mas com quase a metade dos valores investidos, a temática “automação da distribuição” se mostra como um foco das pesquisas. Sem considerar as temáticas RI3, RI9 e o RI10, os valores investidos por projeto variam entre R\$ 1,42 milhão à R\$ 1,98 milhão. As temáticas com valores investidos por projetos mais elevados são “Prédios e residências inteligentes e interação do consumidor com a Rede Elétrica Inteligente” e “Telecomunicações”.

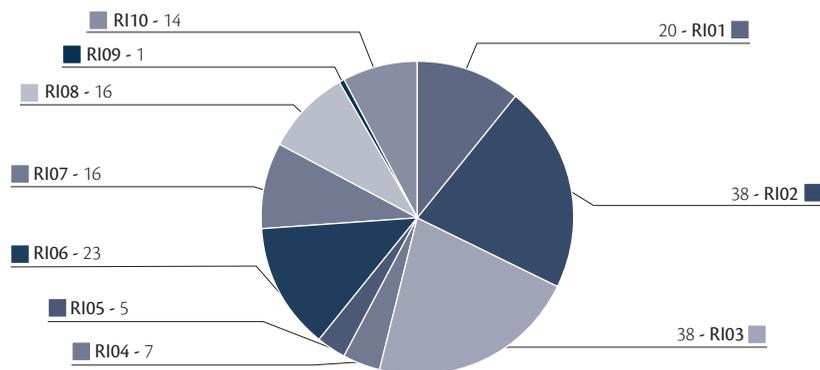


Figura 14 – Quantidade de projetos por subtema catalogados pela ANEEL

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL

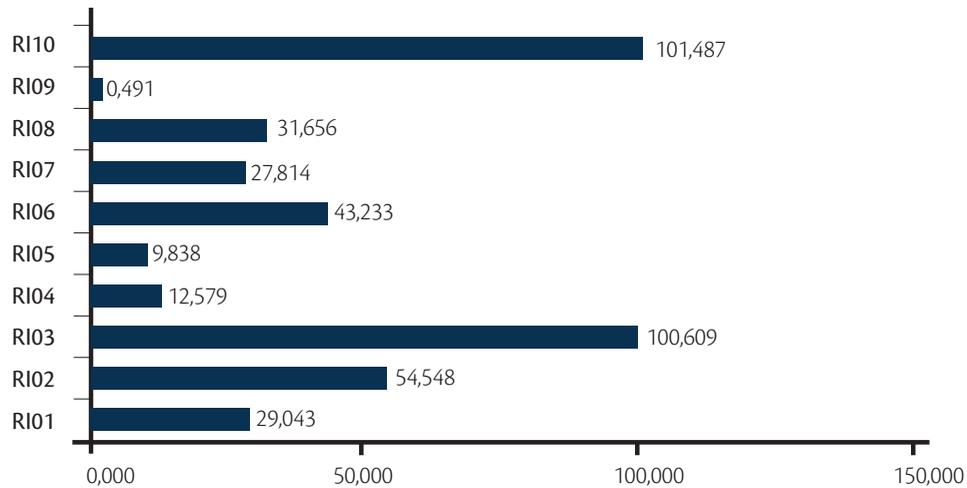


Figura 15 – Custos totais, em R\$ milhões, por subtema, dos projetos catalogados pela ANEEL

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL.

A Figura 16 mostra a distribuição regional da quantidade por subtema de projetos na área de Redes Elétricas Inteligentes catalogados pela ANEEL.

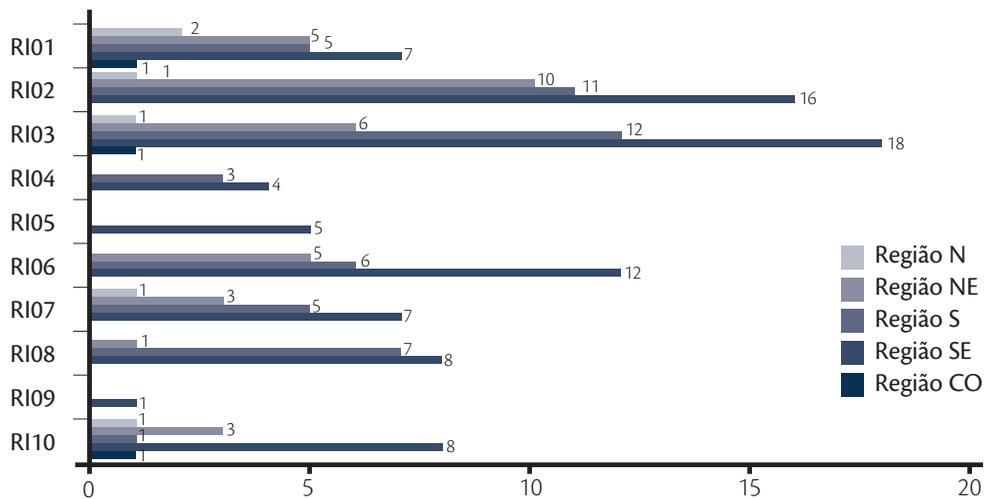


Figura 16 – Distribuição regional da quantidade de projetos, por subtema, catalogados pela ANEEL

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL.



A Figura 17 ilustra a distribuição regional e estadual dos projetos na área de Redes Elétricas Inteligentes catalogados pela ANEEL. A Figura 18 apresenta os custos totais em R\$ milhões por região dos projetos na área de Redes Elétricas Inteligentes catalogados pela ANEEL. A concentração de recursos e número de projetos é muito elevada na Região Sudeste do país, que também lidera as pesquisas em todas as temáticas levantadas, conforme Figura 16. Quando a análise é feita por unidade federativa, São Paulo e Santa Catarina lideram o número de projetos.

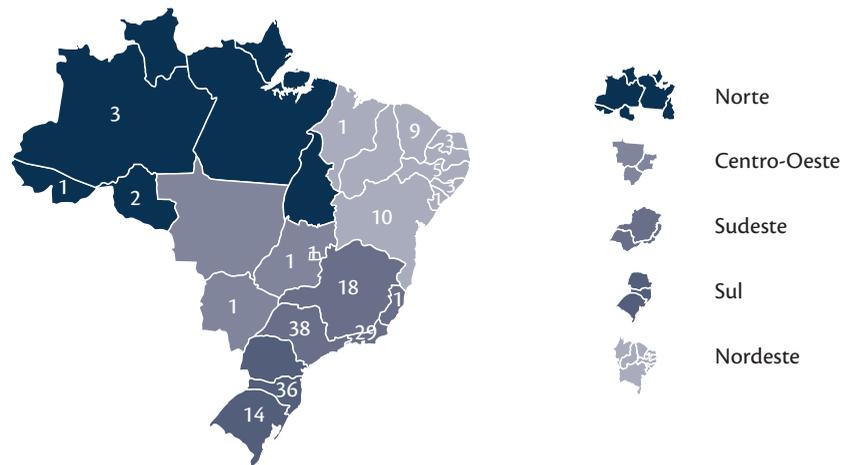


Figura 17 – Distribuição regional dos projetos catalogados pela ANEEL

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL.

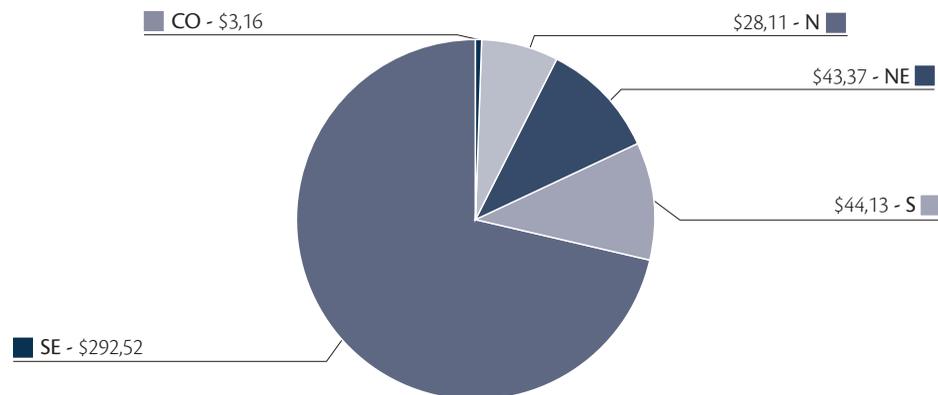


Figura 18 – Custos totais, em R\$ milhões, por região, dos projetos catalogados pela ANEEL

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL.



3.2. Projetos de concessionárias

Várias concessionárias de energia elétrica vêm investindo desde P&D até projetos pilotos de teste no tema Redes Elétricas Inteligentes. A Tabela 5 lista o levantamento destas experiências sem ser exaustivo no assunto.

Os recentes avanços tecnológicos nos setores de energia elétrica, telecomunicações e computação têm impulsionado o desenvolvimento do conceito sobre REI. No Brasil, há projeções, em médio e longo prazos, de que as Redes Elétricas Inteligentes se tornem realidade com a participação do consumidor no gerenciamento na produção de energia elétrica.

No plano nacional, observa-se que as principais ações de desenvolvimento em REI têm sido realizadas pelas parcerias entre as concessionárias, as universidades, os laboratórios e fabricantes.

Por meio destes projetos pilotos, as concessionárias têm dado preferência ao desenvolvimento de padrões técnicos e aos testes de soluções. Isto reflete, em geral, o cuidado das concessionárias em evitarem a utilização de tecnologias e padrões proprietários que dificultam as ações essenciais de interoperabilidade nas REI.

Além dos objetivos de modernizações e de criação de novos serviços para as redes elétricas das concessionárias, os projetos pilotos deverão promover a criação de diretivas para a implantação das REI, o desenvolvimento de arquiteturas conceituais, a comprovação prática de interoperabilidade entre as tecnologias, bem como a elaboração de estratégias de manipulação segura das informações que circulam nas Redes Elétricas Inteligentes.

O órgão regulador ANEEL tem desempenhado importante papel no cenário nacional de desenvolvimento das Redes Elétricas Inteligentes. As propostas de projetos de PD&I para o setor de energia elétrica têm sido elaboradas e catalogadas mediante temáticas definidas estrategicamente pelo órgão visando projetos voltados às REI.

Embora o desenvolvimento das ações nacionais sobre REI ainda seja recente, são observados 178 projetos de desenvolvimento catalogados em dez temáticas. Os custos declarados nas propostas para investimentos superam a marca de R\$ 400 milhões.



Tabela 5 – Lista dos projetos de P&D das concessionárias no tema REI levantados pelo estudo

Instituição (Nome)	T*	Projeto	Local	R\$ (milhões)	Prazo	Descrição	Parcerias
CEMIG Distribuição S/A	RI01, RI02, RI03, RI06, RI07	Projeto Cidades do Futuro (CEMIG)	Sete Lagoas/ MG	215	Dez./ 2013	As ações previstas para o projeto concentram-se nas áreas de automação da medição de consumidores, sistemas de iluminação LED, automação de subestações, automação de redes de distribuição, telecomunicações operacionais, sistemas computacionais da operação do sistema elétrico e gerenciamento e integração de geração distribuída	CPqD, FITec, Fapemig e a empresa espanhola Solária
Ampla Energia e Serviços S/A	RI01, RI02, RI03, RI04, RI05, RI06, RI08, RI0X	Projeto Cidade Inteligente Búzios (Ampla/ Endesa Brasil)	Armação dos Búzios/RJ	31	Dez./ 2013	As ações previstas para o projeto concentram-se nas áreas de telecomunicações e controle; de geração inteligente de energia; de gerenciamento inteligente de energia; de armazenamento inteligente de energia; de iluminação pública inteligente; de veículos inteligentes; de prédios inteligentes e de conscientização e informação dos consumidores	Governo do Estado do Rio de Janeiro, Endesa, Enel
Light Serviços de Eletricidade S/A.	RI01, RI02, RI03, RI04, RI05, RI06, RI09, RI0X	Projeto Smart Grid Light (Light)	Área de concessão da empresa no estado do Rio de Janeiro	35	Dez./ 2014	As ações previstas para o projeto são subdivididas em cinco temáticas: Plataforma Smart Grid, Gestão Otimizada da Rede Subterrânea, Gestão Otimizada da Rede Aérea, Gestão Energética pelo Lado da Demanda e a Gestão de Fontes Renováveis, Armazenamento Distribuído e Veículos Elétricos Recarregáveis	Lactec, CPqD, Axxiom, CAS Tecnologia, INMETRO, CEMIG, fabricantes e universidades



Instituição (Nome)	T*	Projeto	Local	R\$ (milhões)	Prazo	Descrição	Parcerias
Eletrobras	RI01, RI02, RI03, RI06	Projeto Parintins (Eletrobras Amazonas Energia)	Parintins/AM	21	Dez./2013	As ações do projeto consistem na troca de medidores dos 15 mil clientes do município, na automação dos alimentadores e chaves de religamento da rede, na medição e monitoramento de 300 transformadores de distribuição e na implantação de um sistema que amplie o uso do parque gerador de 25MW. Estudo financiado por meio dos respectivos projetos de P&D.	As distribuidoras do grupo Eletrobras Amazonas Energia, Acre, Alagoas, Piauí, Rondônia e Roraima - Cetel e CPQD, assim como com as universidades UFF e UFMA
AES Eletropaulo	RI01, RI02	Projeto Smart Grid (AES Eletropaulo)	São Paulo/SP	18	Dez./2013	O sistema da REI prevista para o projeto deverá integrar o processo de medição, com os de operação e os de automação	CPQD
EDP Bandeirante Energia SA	RI01, RI02, RI06, RI09, RI0X	Projeto InovCity (EDP Bandeirante)	Aparecida do Norte/SP	10	Dez./2015	As ações previstas para o projeto concentram-se nas áreas de iluminação pública eficiente; eficiência energética; geração distribuída; mobilidade elétrica; medição inteligente; educação da comunidade	Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, Ecil Informática, Universidade de São Paulo (USP)
Companhia Energética do Ceará	RI02, RI07	Projeto Cidade Inteligente Aquiraz (Coelce/Endesa)	Aquiraz/CE	1,66	Dez./2013	Os objetivos principais do projeto são o desenvolvimento e a implantação de um piloto de Rede Inteligente com Sistema de Reposição Automática (SRA) para rede de média tensão em 13,8 kV, dotado de um Sistema Inteligente para Mudança Automática de Ajuste do Sistema de Proteção (SIAP) para a rede de média tensão em 13,8 kV	Universidade Federal do Ceará (UFC), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE), Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Synapsis Brasil Ltda

*Temática

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL



A Tabela 6 resume o número de projetos, por subtema, e os respectivos valores totais por região do país.

Tabela 6 – Quadro resumo por linhas de pesquisa número de projetos (NP) e valores (R\$ mi) por região

Tema	Regiões										Total de Projetos	Valor Total
	CO		N		NE		S		SE			
	NP	VALOR	NP	VALOR	NP	VALOR	NP	VALOR	NP	VALOR		
RI01	1	1.145	2	4.391	5	3.854	5	2.889	7	16.763	20	29.042
RI02			1	541	10	12.714	11	7.685	16	33.607	38	54.547
RI03	1	787	1	318	6	9.631	12	13.164	18	76.708	38	100.608
RI04							3	2.236	4	10.342	7	12.578
RI05									5	9.838	5	9.838
RI06					5	8.062	6	4.834	12	30.337	23	43.233
RI07			1	1.065	3	4.322	5	2.524	7	19.903	16	27.814
RI08					1	1.730	7	10.356	8	19.570	16	31.656
RI09									1	490	1	490
RI0X	1	1.232	1	21.793	3	3.057	1	441	8	74.964	14	101.487
TOTAL GERAL	3	3.164	6	28.108	33	43.370	50	44.129	86	292.522	178	411.293

Fonte: elaborado com base nos dados da ANEEL

As Regiões Sudeste e Sul são destaques quanto ao número e aos valores dos projetos de PD&I relacionados às REI. Os valores investidos nos projetos da Região Sudeste superam em cerca de 2,5 vezes a soma dos valores das Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul. Os Estados de São Paulo, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Minas Gerais têm-se destacado nessas regiões.

No cenário nacional, observa-se que as ações realizadas nos principais programas pilotos das concessionárias de energia têm sido focadas inicialmente na implantação da infraestrutura de medição inteligente avançada e na inserção de microrredes geradoras baseadas na energia eólica e solar fotovoltaica. As ações relacionadas com os desenvolvimentos dos veículos elétricos, da reconfiguração automática da rede e dos novos serviços serão enfatizadas posteriormente, facilitadas pela plena implantação das etapas anteriores.



3.3. Universidades e centros de pesquisa

As universidades federais brasileiras são tradicionalmente os centros de pesquisa de maior relevância do país. Os projetos de pesquisa desenvolvidos por elas, normalmente, são financiados por órgãos federais ou estaduais e, em geral, em parceria com empresas interessadas em certas linhas de pesquisa para o desenvolvimento de soluções e produtos.

As universidades brasileiras hoje estão em diversos projetos associados ao tema de REI. Diversos sistemas de medição e de gerenciamento estão sendo desenvolvidos, além de conversores para conexão a diversas fontes de energia renovável e distribuída.

Centros de Pesquisa de destaque no país na área de Rede Elétrica Inteligentes são o CPqD e Lactec. Esses centros de pesquisa apresentam diversas patentes relacionadas ao tema de Redes Elétricas Inteligentes, além de fazer parceria com os principais projetos pilotos em implantação no Brasil.

A Figura 19 mostra os Estados e a distribuição regional onde universidades e centros de pesquisa estão com projetos relacionados a Redes Elétricas Inteligentes no Brasil.

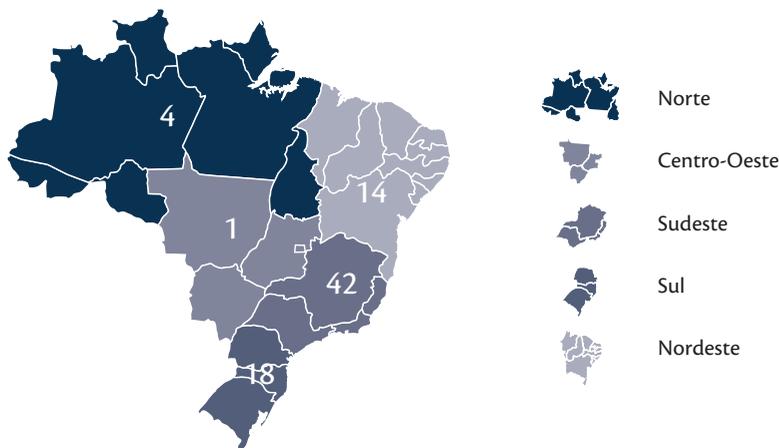


Figura 19 – Mapa de universidades e centros de pesquisa com projetos relacionados a Redes Elétricas Inteligentes



Na Tabela 7 estão listados alguns projetos em andamento em universidades brasileiras.

Tabela 7 – Lista dos projetos nas universidades brasileiras no tema Redes Elétricas Inteligentes

Instituição (Nome)	NP*	T**	Projeto	Descrição	Parcerias	Responsável
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)	1	RI02	O Sistema Eletrônico de Gerenciamento de Cargas da Rede Secundária de Distribuição de Energia ¹	1 -Efetuar, remotamente e em tempo real, tele medição do consumo dos usuários; 2- Balanceamento de fases; 3-Desligamento e religamento de circuitos; 4-Aquisição eletrônica de dados operacionais da rede; 5-Detecção, registro e alerta de desvios e eventos críticos na rede tais como, sobrecargas de transformadores e interrupções de fornecimentos.	- Amazonas Energia; - Fundação de Apoio Institucional Muraki; - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas.	Raimundo Cláudio Gomes
		RI03	Gerenciamento e Controle de Microrrede Inteligente	1-Estudo teórico e experimental do gerenciamento e controle de uma microrrede baseada em fontes renováveis de energia (aerogeradores, painéis fotovoltaicos e células combustíveis); 2-Criação de sistema de armazenamento, com comunicação de dados, operando em modo autônomo e interligado à rede elétrica.		
Universidade Federal do Ceará (UFC)	5	RI03	Desenvolvimento de conversores para sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica	1- Desenvolver conversores no qual a busca do ponto de máxima potência é feita em cada módulo que compõe o painel; 2- Constar de banco de baterias para armazenamento de energia, permitindo assim que o sistema opere como uma microrrede isolada e/ou conectado à rede elétrica.	Grupo de Processamento de Energia e Controle (GPEC)	Fernando Luiz Marcelo Antunes
		RI02	Desenvolvimento de Funções Avançadas para Gestão da Medição e Automação de Sistemas Elétricos baseado em Redes Inteligentes	1-Desenvolver e implantar um piloto de REI com Sistema de Reposição Automática (SRA) e Sistema Inteligente para Mudança Automática de Ajuste do Sistema de Proteção (SIAP) para rede de média tensão em 13,8 kV no campus do Pici da UFC; 2- mplantar sistema de supervisão, controle, proteção e automação na rede de distribuição de média tensão em 13,8 kV do Campus Pici da UFC; 3-Desenvolver simulador para estudo da proteção de redes elétricas.		
		RI01	Sistema de Medição e Gerenciamento de Energia Elétrica	Projetar, instalar e operar um sistema de medição e de gerenciamento da energia elétrica no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará		
		RI0X	Laboratório de Pesquisa em REI	Criar a infra-estrutura de um laboratório de pesquisa em REI	- GPEC - Setec/MCTI	



Instituição (Nome)	NP*	T**	Projeto	Descrição	Parcerias	Responsável
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)	1	RI06	Rede de comunicação para medidores de energia elétrica utilizando tecnologia PLC e wireless	Desenvolver a interface de comunicação IrDA/PLC e dispositivos de rede que permitam a comunicação de medidores de energia elétrica entre si, formando redes locais de medidores, e de redes locais de medidores com o centro operacional da concessionária de energia.	Empresa fabricante de medidores ELSTER	Antônio Marcus Nogueira Lima.
Universidade Federal de Goiás (UFG)	1	RI06	Aplicação da Rede Inteligente na supervisão do fornecimento de energia elétrica em média e baixa tensão utilizando diferentes tecnologias de comunicação	1-Monitoramento remoto de falta de fase e o carregamento de transformadores; 2-Medição de energia em UCs e circuitos alimentadores, via diferentes meios de comunicação, tais como GPRS e PLC, com o objetivo de fornecer subsídios concretos à elaboração do modelo de migração; 3-Medição em UC visa amparar projeto do setor de combate a perdas comerciais da CELG.	CELG	Sérgio Granato de Araújo.
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)	2	RI03	Laboratório Solar Fotovoltaico com capacidade de 30 kW (pico)	O laboratório consta de 264 painéis fotovoltaicos agrupados em 11 arranjos independentes com uma capacidade de 98V/30A por arranjo. O sistema está integrado à rede elétrica de distribuição.	Informação indisponível	André Augusto Ferreira
		RI05	Construção de um Kart elétrico que se interligará à rede elétrica	Construção de um protótipo, em pequena escala, do sistema eletrônico de propulsão de um VE para ser utilizado como laboratório para ensaios experimentais relacionados à conexão de veículos elétricos à rede de energia elétrica.	Ekion Tecnologia de Veículos Elétricos Ltda	
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)	2	RI07	Desenvolvimento de um <i>software</i> para elaboração de projetos de expansão de redes de distribuição de energia.	Permitir a reconfiguração das chaves de manobra da rede em casos de emergência, reduzindo o número de consumidores afetados.	- CEMIG; - Light; - Enacom; - Axxiom Soluções	Jorge Ricardo de Carvalho
		RI03	Parque de energia solar-FV na cidade de Sete Lagoas integrado à rede pública	Parque gerador será dividido em três unidades: a maior delas terá características de uma planta comercial de grande porte; a segunda testará sistemas de médio porte; e a terceira será voltada essencialmente à pesquisa, composta pelas mais modernas tecnologias disponíveis no mercado mundial.	- CEMIG; - Solaria (empresa espanhola)	



Instituição (Nome)	NP*	T**	Projeto	Descrição	Parcerias	Responsável
Universidade Federal do Pará (UFPA)	2	RI09	Desenvolve um projeto para aplicações de funcionalidades de smart grid	Propõe construir uma infraestrutura de instrumentação, computação e comunicação para viabilizar de Cidades Inteligentes, abrangendo desde a aquisição dos dados urbanos brutos por meio de tecnologias de redes de sensores e internet. A comunicação, o armazenamento, e o acesso a esses dados se dá através de diferentes tecnologias e protocolos de redes sem fio.	Informação indisponível	Eduardo Coelho Cerqueira
		RI06	Laboratório do Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM)	Investigar tecnologias e inovações relacionadas com redes de computadores e sistemas distribuídos com ênfase em redes óticas, redes sem fio, redes de sensores sem fio, Internet do futuro e sistemas multimídia.	Informação indisponível	Eduardo Coelho Cerqueira
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	2	RI02	Controle da operação de sistema elétrico isolado - caso Ilha de Fernando de Noronha	Desenvolvimento de um sistema supervisor de controle da operação de sistema elétrico isolado predominantemente com fontes renováveis de energia. Caso da Ilha de Fernando de Noronha	Informação indisponível	Francisco de Assis Neves
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)		RI04	Estudo sobre as tendências atuais, tecnologias, conceitos e aplicações de armazenamento de energia no contexto de REIs (Energy Storage in Smart Grids)	Avaliar e analisar as principais formas de armazenamento de energia: - baterias; - super capacitores; - ar comprimido; - estações de bombeamento; - volantes de inércia (flywheels)	Financiado pela ELO Sistemas Eletrônicos S/A	Carlos Eduardo Pereira



Instituição (Nome)	NP*	T**	Projeto	Descrição	Parcerias	Responsável
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	5	RI03	Projeto Microrredes	1-Instalação de um protótipo de microrrede no Centro de Tecnologia da UFRJ localizado na Cidade Universitária 2-Estudo de esquemas de controle e proteção, dispositivos de conexão à rede elétrica, operação econômica, aspectos regulatórios e impacto socioambiental dessa nova tecnologia.	COPPE e Escola Politécnica	Djalma Mosqueira Falcão
		RI07	Ferramentas Computacionais	Desenvolver ferramentas computacionais (<i>software</i>) para avaliação do impacto de tecnologias de Redes Inteligentes, com geração distribuída, microgeração e microrredes.	P&D com a Light Implantação na Ampla	
		RI0X	Eletrônica de Potência	Pesquisa com aplicações em REI nos seguintes tópicos: Sistema de corrente contínua, Transmissão CA segmentada, controladores diretos de tensão em redes de distribuição e células combustíveis.	Informação indisponível	
		RI02	Desempenho de Sistemas Inteligentes em Rede de Distribuição de Energia	Integração de modelos estocásticos de confiabilidade, desempenho e conceitos oriundos de projetos de redes de comunicação de dados (Internet) considerando diferentes tecnologias de comunicação e as várias camadas da arquitetura de REI.	Informação indisponível	
		RI03	Modernização da rede elétrica do campus da UFRJ (Fundão)	Modernizar a rede elétrica do campus utilizando tecnologias de Redes Inteligentes com sistemas de geração solar fotovoltaica em edifícios	Informação indisponível	
Universidade de São Paulo (UNESP) (Ilha Solteira)	4	RI03	Inversores de baixa potência conectados a reles elétricas inteligentes	Síntese e desenvolvimento de estruturas conversoras para o aproveitamento em corrente alternada (CA) da energia elétrica proveniente da conversão fotovoltaica com conexão à rede em baixa tensão.	CNPq Fapesp WEG	Carlos Alberto Canesin
		RI05	Conversão de um trolleybus para operação em conexão direta com a rede de distribuição em CA	Desenvolvimento de um projeto completo com maquete 3D em CAD e protótipo de escala nominal.	AES-Eletropaulo	
		RI03	Integração inteligente de múltiplas fontes de energias renováveis à rede em baixa tensão	Desenvolvimento de conversores para a integração de fontes renováveis de energia ao sistema elétrico de distribuição e/ou sistemas isolados.	Elektro	



Instituição (Nome)	NP*	T**	Projeto	Descrição	Parcerias	Responsável
Universidade de Campinas (UNICAMP)	4	RI03 RI05	Geração distribuída e de qualidade de energia em redes de distribuição e em veículos elétricos	Realizado pelo Laboratório de Condicionamento da Energia Elétrica		José Antenor Pomilio
		RI06	Implantação de infovias municipais	Realizado pelo Laboratório de Redes de Comunicações		
		RI03	Microinversores e sistemas de geração integrados com microturbinas a gás e células a combustível	Realizado pelo Laboratório de Eletrônica de Potência	Fapesp CNPq CAPESFEIS/ UNESPDEE/ UFCDEE/ PUC-RS	
		RI0X	Criação de um Laboratório Integrado de Pesquisas em Redes Inteligentes	1 -Integração inteligente de múltiplas fontes à rede BT. 2 -Realização de pesquisas avançadas para desenvolvimento e inovação tecnológica em redes inteligentes, dando especial atenção a: - Condicionamento da energia elétrica; - Armazenamento de energia; - Qualidade da energia elétrica; - Processamento de dados em tempo real e comunicação otimizada para Medição Inteligente; - Novos paradigmas de comunicação para controle e monitoramento em redes inteligentes, com novas arquiteturas de comunicação.		
Universidade Federal do Pampa (Unipampa)	2	RI02	Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes para Operação de Equipamentos Telecomandados	Desenvolvimento uma ferramenta computacional confiável e robusta para monitoração, operação e controle dos equipamentos de distribuição telecomandados, para restabelecer a energia elétrica de forma automática.	AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia	Vinícius Jacques Garcia
		RI07	Desenvolvimento de Software Análise de Sistemas Elétricos	Propor novos métodos eficientes e <i>software</i> para reconfiguração de sistemas de distribuição a partir de métodos de tomada de decisão multi-criterial, com ênfase em perdas de potência elétrica e confiabilidade de sistemas usando o método de Bellman-Zadeh, que usa algoritmo fuzzy.	CNPq	
Universidade de São Paulo (USP)		RI0X	Desenvolvimento de tecnologias de redes elétricas inteligentes.	Os equipamentos deverão ser implantados na área de concessão da EDP Bandeirantes na cidade de Aparecida (SP). Desenvolvimento de tecnologias de REI em: - geração distribuída; - iluminação pública eficiente; - opções tarifárias; - sistema de gestão de consumo; - automação de redes; - aquecimento solar de baixo custo.	EDP (Projeto com duração de cinco anos)	João Brito Martins (EDP)

*NP- número de projetos | **T- Temática

1 - A financiadora do projeto foi a distribuidora Amazonas Energia a partir de um P&D aprovado pela ANEEL.



As universidades e os centros de pesquisa brasileiros estão desenvolvendo projetos em várias áreas de Redes Elétricas Inteligentes, como sistemas de comunicação para medidores, sistemas de gerenciamento de demanda, conversores para o acoplamento de geração renovável à rede elétrica e veículos elétricos. Além disso, duas universidades têm projetos de construção de um laboratório dedicado a REI.

A Tabela 8 mostra o resumo regional dos projetos das universidades e dos centros de pesquisa por tema. Os códigos de identificação das temáticas foram apresentados na seção 3.1 deste capítulo.

Tabela 8 – Quadro resumo de universidades por linhas de pesquisas

Linhas de Pesquisa	Temas por região					Total geral
	CO	N	NE	S	SE	
RI01		1	1	3	3	8
RI02		1	7	3	7	18
RI03		1	3	6	6	16
RI04				2	3	5
RI05					6	6
RI06			1	3	6	10
RI07			1	1	5	7
RI09					2	2
RI0X	1	1	1		4	7
Total geral	1	4	14	18	42	79

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL.

Observa-se que a Região Sudeste apresenta o maior número de projetos e são bem distribuídos por área de conhecimento. Enquanto na Região Sul, um terço dos projetos está concentrado na área de geração distribuída e microrredes (RI03), no Nordeste metade dos projetos estão concentrados na área de automação da distribuição (RI02). As Regiões Norte e Centro-Oeste possuem, juntas, apenas cinco projetos.

Esses dados mostram o déficit de desenvolvimento de pesquisa no Norte e Centro-Oeste. Nota-se que, embora a Região Nordeste seja naturalmente um lugar para o desenvolvimento de pesquisas em geração distribuída devido às suas características de radiação solar e regime de ventos, as empresas



que procuram parceria com as universidades dessa região preferem pesquisas para automação de suas redes em detrimento de pesquisas para o desenvolvimento de geração distribuída.

Observa-se ainda que a pesquisa sobre veículos elétricos está quase que inteiramente concentrada na Região Sudeste, e a pesquisa sobre o desenvolvimento de novos serviços direcionados ao consumidor final ainda é restrita. Essa última deve ser uma das áreas de Redes Elétricas Inteligentes a produzir mais empregos devido à grande quantidade de consumidores finais nos mais diversos setores (residencial, comercial e industrial) e o número de variáveis gerenciáveis em uma REI.

3.4. Empresas atuantes na área

No mundo, as principais iniciativas em Redes Elétricas Inteligentes estão relacionadas com a implantação de infraestrutura avançada de medição e tecnologias de comunicação. Diversas empresas e concessionárias do setor de energia elétrica têm acelerado as implantações, cada vez mais crescentes, de medidores inteligentes nas redes de energia.

No final de 2010, as empresas *Landis+Gyr*, *Itron*, *Sensus* e *GE Energy* foram consideradas as quatro líderes de mercado em termos de equipamentos medidores inteligentes instalados nos EUA, representando 91% do total (*SMART GRID NEWS*, 2011f).

Neste ano, foi divulgado pela empresa *Zpryme Research & Consulting*, um ranking com as 20 empresas líderes em investimentos em projetos relacionados a REI. A análise considerou 131 projetos relacionados ao *American Recovery and Reinvestment Act of 2009* (ARRA), durante o período de fevereiro de 2009 a março de 2012. Foram totalizados cerca de US\$ 1,13 bilhões aplicados. A Tabela 9 exibe o referido *ranking*. (*ZPRYME*, 2012).

No Brasil, as empresas *Landis+Gyr* e a EDP Brasil/Ecil Informática têm tido relativo destaque no fornecimento de medidores inteligentes no cenário nacional. Ambas as empresas possuem equipamentos medidores de energia homologados pelo Inmetro.

Além da medição, outras áreas também estão sendo desenvolvidas, principalmente, as tecnologias de comunicação e informação. O maior destaque nesse setor no Brasil é o CPqD, que participa de três relevantes projetos pilotos de REI.



Tabela 9 – Ranking das 20 empresas líderes mundiais em investimentos em projetos de REI.

Posição	Empresa	Valor investido (US\$ mi)	Valor investido (%)
1ª	Itron	304,83	27,0
2ª	Trilliant Networks Inc.	99,49	8,8
3ª	GE	98,67	8,7
4ª	Honeywell	60,93	5,4
5ª	Landis+Gyr	56,22	5,0
6ª	Accenture	53,96	4,8
7ª	Cooper Power Systems	48,68	4,3
8ª	Sensus	43,32	3,8
9ª	Elster	42,30	3,7
10ª	IBM	42,26	3,7
11ª	S&C Electric Company	39,43	3,5
12ª	Alcatel Lucent	38,66	3,4
13ª	BSC	32,08	2,8
14ª	A123 Systems	29,92	2,7
15ª	Oracle	28,67	2,5
16ª	Silver Spring Networks Inc.	28,61	2,5
17ª	Beacon Power Corporation	24,06	2,1
18ª	Tantalus	21,06	1,9
19ª	Schweitzer Engineering Labs, Inc.	18,40	1,6
20ª	Ervin Cable Construction, LLC	16,96	1,5
	Total geral	1128,51	100,0

Fonte: Adaptado de (ZPRYME, 2012).



3.4.1. Panorama das empresas atuantes no Brasil

Como citado anteriormente, os PD&I são os principais investimentos em Redes Elétricas Inteligentes no Brasil. As concessionárias de energia têm criado parcerias com empresas nacionais e multinacionais para implementação dos seus projetos. A Figura 20 apresenta a distribuição regional das empresas envolvidas em projetos nacionais catalogados pela ANEEL.

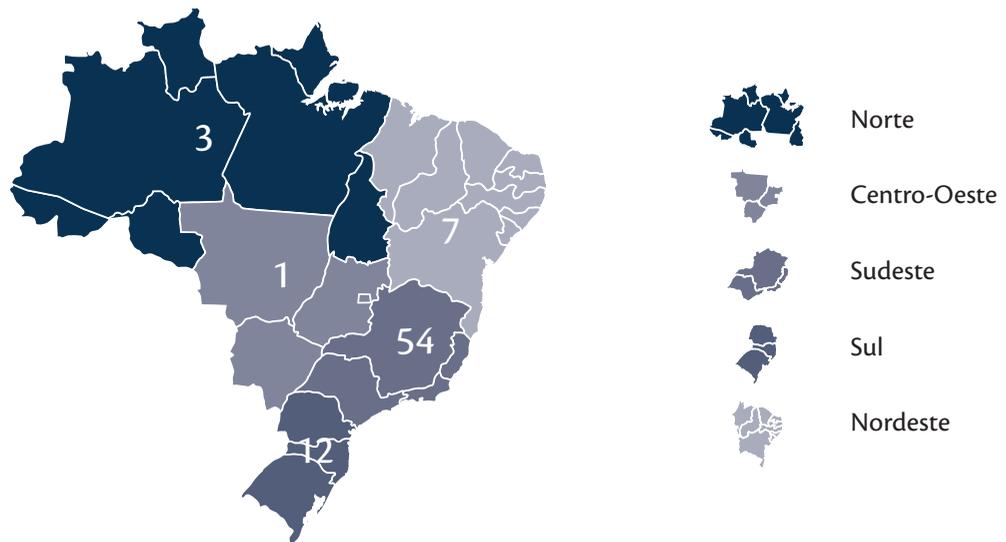


Figura 20 – Distribuição regional das empresas catalogadas pela ANEEL

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL.

Em seguida, são apresentadas algumas empresas parceiras dos projetos de PD&I:

Axxiom

Empresa que presta serviço na área de automação de redes de distribuição. A empresa é parceira da distribuidora Light no projeto de *Smart Grid* na cidade do Rio de Janeiro. A sede da empresa fica localizada em Belo Horizonte.



CAS Tecnologia

A empresa presta serviços na área da tecnologia da informação e possui solução em medição inteligente. A empresa está prestando serviço à concessionária de energia Light no projeto PD&I. A sede da empresa fica em São Paulo.

Concert Technologies

A empresa possui três sedes no Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte). O foco de atuação da empresa é promover a integração de sistemas e processos em conformidade com o CIM – *Common Information Model* e com os conceitos de REI. Os centros de controle com tecnologia Concert se encontram em operação nas concessionárias de distribuição AES Eletropaulo, Cemig e LIGHT.

Ecil Informática

A Ecil tem ênfase nas áreas de energia e telecomunicações, fornecendo equipamentos e soluções para a rede de distribuição. O ponto de destaque da empresa em REI é a participação no projeto InovCity, fornecendo os medidores inteligentes que foram homologados pelo Inmetro. A empresa é localizada em Barueri (SP).

FITec

A FITec é uma instituição científica tecnológica privada, sem fins lucrativos, que fornece a seus clientes e parceiros soluções e consultoria em PD&I nas áreas de eletroeletrônica, tecnologia da informação e comunicações, energia e automação. A empresa está prestando consultoria em telecomunicação e rede de dados à distribuidora de energia Cemig, no projeto Cidade do Futuro. A matriz da empresa fica em Recife.

IBM

A IBM, uma das maiores empresas de tecnologia da informação do mundo, possui uma parceria com a CPFL em projeto de telemedição para grupo A. A empresa participa de outros projetos de REI em outros países. Há filiais da IBM distribuídas em todo o Brasil.



Kema

Empresa multinacional que possui sede no Rio de Janeiro, tem como clientes no Brasil as concessionárias Cemig e Energisa. Possui soluções em diversas áreas de REI (medição inteligente, automação da distribuição e TI).

KNBS

A KNBS tem participado de projetos de PD&I nos moldes da ANEEL, criando, desenvolvendo e entregando soluções em diversas áreas de negócios: medição inteligente, perdas comerciais, eficiência energética, planejamento de novos negócios em redes PLC, consolidação de cadastros, gestão socioambiental e REI. A empresa possui um projeto piloto com 50 medidores inteligentes em Campinas (SP) financiado pela Finep.

3.4.2. Outras empresas

Existem empresas multinacionais com sedes no Brasil que participam de projetos de REI no mundo e disponibilizam equipamentos e soluções.

As grandes distribuidoras de equipamentos elétricos (Siemens, ABB, Cooper, Schneider, etc.) possuem escritórios ou sedes no Brasil e participam de projetos de REI no mundo. Essas empresas apresentam diversas soluções para as redes elétricas inteligentes.

ELO, *GE Energy*, *Itron*, *Landis+Gyr* e Nansen são empresas fornecedoras de medidores inteligentes.

Silver Spring Networks é uma empresa que apresenta soluções em REI com tecnologia de rede, tecnologia de segurança, medição inteligente, automação da distribuição e outros. A empresa possui uma plataforma unificada dentro do conceito de REI.

É importante ressaltar que as pequenas empresas prestadoras de serviço na área de automação residencial e gerenciamento de energia, normalmente utilizam seus próprios “medidores inteligentes”, desenvolvidos pela própria empresa (p.ex. Jota *SMART GRID*, *Lectron*, *Intelligent Home* e etc.), com expectativa de forte crescimento, pois com a implementação das REI esse seguimento de mercado está aquecido.



3.4.3. Conclusões

No Brasil, as empresas estão tendo a oportunidade de trabalhar em parceria com as concessionárias de energia nos grandes projetos de PD&I, que atualmente é a principal fonte de investimento nacional em REI.

A Tabela 10 mostra o número de empresas que atuam nos projetos de pesquisas, em cada um dos segmentos de Redes Elétricas Inteligentes, por região no país. As linhas de atuações das empresas foram determinadas pelo tipo de projetos que as mesmas estão envolvidas.

Tabela 10 – Quadro resumo de empresas por linhas de pesquisa e por região

Linhas de Atuações	Temas por região					Total geral
	CO	N	NE	S	SE	
RI01	1		1	1	7	10
RI02			2	2	9	13
RI03				4	10	14
RI04		1			2	3
RI05					3	3
RI06			1	2	6	9
RI07					6	6
RI08			2	3	6	11
RI0X		2	1		5	8
Total geral	1	3	7	12	54	77

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL

Percebe-se que o Sudeste apresenta 70% das empresas atuantes no Brasil, reflexo da quantidade de projetos e de investimentos na região que concentra 71% do investimento e aproximadamente 48% dos projetos.

Geração distribuída e automação na distribuição são as linhas de pesquisa com o maior número de empresas atuantes, reflexo da quantidade de projetos de PD&I. É importante também ressaltar o tema de medição inteligente que, apesar de ser o quarto tema com maior número de empresas, foi o único tema que apresenta empresas em quatro regiões.



A Tabela 10 mostra um déficit no que diz respeito ao tema Rlo9, não apresentando nenhuma empresa na área. O tema está relacionado com os novos serviços para o consumidor final de energia, seguimento que se espera a maior atuação das pequenas empresas. A não existência de empresas trabalhando nesse tema em projetos de PD&I está relacionado pelo pequeno montante de investimentos em projetos, uma vez que apenas um projeto está sendo realizado.

Os setores de carregamento de baterias e de veículos elétricos são setores que apresentam uma pequena quantidade de empresas, concentradas na região sudeste do país. Esse pequeno número é reflexo do pequeno investimento.

Como ressaltado anteriormente, a Região Centro-Oeste é uma região onde o investimento em REI ainda é muito pequeno, com apenas uma empresa atuando na área de medidores inteligentes.

3.5. Patentes

As etapas para conseguir uma patente no Brasil passam pelo depósito do pedido, exame preliminar, publicação, requerimento de exame e exame técnico. O pedido de patente permanece em sigilo por 18 meses, contados a partir do depósito. Após essa etapa, é publicado um resumo do pedido na Revista da Propriedade Industrial. Portanto, os pedidos mais recentes de patente ainda não são conhecidos (INPI, 2011).

A busca por patentes nacionais relacionadas às REI para o setor elétrico foi realizada por meio da página do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Inpi), que deixa disponível a busca por palavras do resumo, depositante ou título da patente, e no Portal Inovação (CGEE, 2007), que deixa disponível a busca por palavras-chave. Os resultados estão disponíveis na Tabela 11 (INPI, 2011).

A metodologia de pesquisa utilizada foi por meio da formação de *strings* de busca. Foram utilizados termos gerais relacionados com a área de REI. Os termos utilizados foram: “rede inteligente”, “medidor inteligente”, “medidor eletrônico”, “gerenciamento demanda”, “gerenciamento energia”, “*smart grid*”, “inteligente”, “microgeração”, “minigeração”, “geração de pequeno porte”, “automação distribuição” e “comunicação *mesh*”.



Por meio da divulgação de patentes por meios eletrônicos e eventos na área de REI foram obtidas informações diretas de depositantes de patentes recorrentes. Os centros de pesquisa CPqD e Lactec foram, portanto, utilizados como filtro na pesquisa por depositante.

Com as pesquisas realizadas, foram encontradas patentes de dispositivos e aparelhos para gerenciamento doméstico de energia, como tomadas inteligentes, chuveiro eletrônico microcontrolado e sistemas de controle para iluminação. Se esses equipamentos forem bem utilizados deve haver um ganho significativo na eficiência energética.

Para a rede elétrica, a maioria das patentes são sistemas para prevenção e detecção automática de faltas para reestabelecimento da energia de forma mais rápida e segura, com comunicação direta com os centros de controle das concessionárias. Em relação aos sistemas de comunicação, a maioria das patentes encontradas foi depositada pelo CPqD.

Foram encontradas patentes brasileiras para medidores inteligentes e também sistemas para coleta de dados de medidores via radio frequência. Embora fosse esperado um grande número de patentes internacionais nessa área, elas não foram localizadas.

Foi realizada também uma pesquisa pelas patentes depositadas aqui no Brasil pelos principais investidores do setor de REI no mundo. Notou-se que, embora seja vasto, o número de patentes dessas empresas aqui no Brasil, os números mais significativos nos últimos dois anos foram da Siemens e ABB.

Tabela 11 – Patentes relacionadas às Redes Elétricas Inteligentes

Depositante	Nome da patente
Gerenciamento da demanda	
Emílio de Paolis Júnior (BR/PR)	Tomada inteligente
Willian Toshio Sakai (BR/SP)	Benjamin temporizador para aparelhos eletroeletrônicos em geral
Cláudio Orlandi Lasso (BR/MG)	Aperfeiçoamentos introduzidos em chuveiro eletrônico micro-controlado e com acionamento remoto
Luis Eduardo Ribeiro (BR/RJ)	Módulo de controle e gerenciamento de rede de iluminação pública



Depositante	Nome da patente
LACTEC (BR/PR)	Sistema remoto de gerenciamento de energia elétrica em consumidores
LACTEC (BR/PR)	Sistema de comando e controle de potência em grupo para iluminação pública
STIELETRONICA S. A	Gerenciador inteligente de demanda
Geração de energia	
Marcelo Graziano (BR)	Sistema interativo de geração e racionalização de energia e cogeração à rede de alimentação das concessionárias de energia
Luciano Dutra Rabelo (BR/MG)	Rotor eólico tubular com sistema de contrapeso
Paulo da Fonseca Alves Pereira (BR/SP)	Processo e equipamento para lastro e produção de hidrogênio a partir de geração elétrica distribuída sustentável
Paulo da Fonseca Alves Pereira (BR/SP)	Duto eletroeletrônico ecológico para alta potência elétrica descentralizada
José Antenor Pomílio, Fellipe Saldanha Garcia e André Augusto Ferreira	Método de Controle Para Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica Híbrido
José Antenor Pomílio	Conversor CC-CA trifásico com comutação em baixa frequência e baixa distorção harmônica
Automação da distribuição	
CPFL (BR/SP) / LACTEC (BR/PR)	Sistema de detecção e comunicação de rompimento de condutor elétrico em redes de distribuição de energia elétrica
LACTEC (BR/PR)	Equipamento eletrônico integrado de sensoriamento e transmissão de falta de energia em baixa tensão
Marcio Abud Marcelino (BR/SP)	Temporizador inteligente com sinalização para manutenção preventiva
LACTEC (BR/PR)	Dispositivo localizador de faltas aplicável em redes aéreas de distribuição de energia elétrica
LACTEC (BR/PR)	Instrumento para monitoração de qualidade de energia elétrica
LACTEC (BR/PR)	Sistema remoto de recarga, controle de demanda e monitoramento de falta de energia para consumidores de baixa tensão
LACTEC (BR/PR)	Dispositivo para tele-monitoração de pontos críticos de altura cabo-solo de linhas de transmissão
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL (BR/RJ)	Sistema de auto-monitoramento individualizado para transformadores em instalações de medição de energia e método de auto-monitoramento e diagnóstico de transformadores em instalações de medição de energia
Companhia Piratininga de Força e Luz - CPFL (BR/SP) / Nansen S.A. Instrumentos de Precisão. (BR/MG) / KNBS Telecomunicações e Informática LTDA (BR/SP)	Sistema de coleta de dados de medidores via radio frequência



Depositante	Nome da patente
Schneider Electric Industries S.A. (FR)	Dispositivo auxiliar e processo de transmissão de dados, unidade auxiliar e disjuntor de circuito elétrico compreendendo o dito dispositivo
Icardo Mallacco, Elderson Carlos Cleto, Romulo Cortez de Paula e Benedito Alvarenga	Adaptador eletrônico-digital inteligente para telemedição de hidrômetros e medidores de eletricidade convencionais
Tecnologia de comunicação	
CPQD - (BR/SP)	Estação terminal e topologia de rede WIMAX ADCHOC-MESH
CPQD - (BR/SP)	Método e sistema para geração tempo real de mapas temáticos AD-HOC via web
CPQD - (BR/SP)	Metodologia para dimensionamento de capacidade de redes ADHOC-MESH sem fio
Identech - Next Indústria e Comércio de Produtos Eletrônicos Ltda. (BR/PR) / André Sanches Fonseca Sobrinho (BR/PA) / Fundação Araucária (BR/PR)	Terminal coletor de consumo
S.L.M.M. Sistemas Ltda. (BR/SP) / Nobre de La Torre Informática Ltda. (BR/SP)	Extensor de conexão serial para medidores de energia elétrica
Medidores de energia	
Rodrigo Schmidt Casemiro (BR/MS)	Leitor de consumo de energia elétrica com detector de rompimento de lacre, <i>online</i> e interruptor/religador eletrônico de fornecimento de energia por controle remoto centralizado
LANDIS+GYR EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA (BR/PR)	Dispositivo de medição de fluxo de produto e sistema de medição de fluxo de produto fornecido por uma rede de distribuição de energia
ELO SISTEMAS ELETRONICOS S.A (BR/RS)	Sistema de controle de medidores
MONTREL CONTROLES ELETRÔNICOS LTDA (BR/SP)	Dispositivo analisador de desvio de registro de energia elétrica (ADR)
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento	Medidor eletrônico digital de energia elétrica com pré-venda automática por cartão
Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina - SATC e Cooperativa De Eletrificação Rural de Morro da Fumaça LTDA	Medidor de energia elétrica com pré-pagamento através de cartão sem contato e gravador de cartão associado

Fonte: Elaborado com base nos dados de (INPI, 2011) e (CGEE,2007).

As patentes encontradas nas pesquisas estão distribuídas por algumas das áreas de aplicação em REI, porém o número de patentes ainda é pequeno. A Tabela 12 apresenta o resumo do número de patentes por linha de pesquisa. É importante lembrar que o número de patentes pode ser maior, porém não foram encontradas durante as pesquisas, devido as palavras chaves adotadas.



Tabela 12 – Número de patentes por linha de pesquisa

Linhas de Pesquisa	Número de Patentes
RI01	6
RI02	11
RI03	5
RI04	1
RI05	-
RI06	5
RI07	-
RI08	7
RI09	-
RI0x	-

Fonte: Elaborado com base nos dados da ANEEL, (INPI, 2011) e (CGEE, 2007).

O maior número de patentes é na área de automação de redes elétricas (RI02), um dos motivos deve ser porque esses equipamentos são desenvolvidos para solucionar problemas específicos de empresas que financiam os projetos.

Outra fato interessante é que quando o tema é geração de energia de pequeno porte (RI03) ou gerenciadores de demanda (RI08), os depositantes são geralmente pessoas físicas, enquanto que em temas como automação e medidores (RI01) as empresas dominam. Isso mostra quais setores atraem mais economicamente os investimentos privados.

3.6. Regulamentação

A Agenda Regulatória Indicativa da ANEEL para o biênio 2012/2013 apresenta uma relação de temas passíveis de regulamentação ou melhorias que serão debatidos por meio de audiências e consultas públicas durante os dois anos. Entre os temas relacionados às Redes Elétricas Inteligentes estão a implantação de medidores eletrônicos em unidades consumidoras de baixa tensão, a regulamentação das modalidades de faturamento pré-pago e pós-pago eletrônico e o aprimoramento da regulamentação da estrutura tarifária. A agência realizou audiência pública sobre Pro-



cedimentos de Regulação Tarifária (Proret) na perspectiva de incluir a modicidade tarifária para consumidores de baixa tensão (ANEEL, 2011a).

3.6.1. Medição eletrônica

Com o intuito de definir o modelo e os requisitos mínimos padronizados associados à medição eletrônica para novas instalações e para substituições de rotina, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) colocou o tema em audiência pública nº 043/2010, no mês de outubro de 2010 (ANEEL, 2010).

No momento, a regulação sobre os medidores inteligentes está pendente. Este retardo na aprovação está relacionado à audiência pública nº 120/2010 que trata da alteração da estrutura tarifária. A diferenciação de tarifas por horário de consumo está prevista pelo novo regulamento (SMART GRID NEWS, 2011).

A depreciação dos medidores eletrônicos é um ponto de preocupação das concessionárias distribuidoras de energia elétrica. Ainda sem regulamentação, a ANEEL propõe um período de depreciação de 13 anos, contra 25 anos do medidor eletromecânico. No entanto, os testes e as aplicações dos novos medidores têm mostrado que a depreciação acontece antes desse período. As distribuidoras aguardam regulamentação da ANEEL e garantia dos fornecedores, embora entendam que não dá para ter novas funcionalidades com medidores eletromecânicos.

Segundo a agência reguladora, a aprovação do padrão brasileiro para os equipamentos deve ser dada em meados 2012, após votação pela diretoria colegiada.

Após a aprovação do regulamento dos medidores inteligentes, o próximo passo é criar um plano para a substituição, em longo prazo, dos 69,33 milhões de unidades consumidoras nacionais.

A Tabela 13 exhibe as quantidades e porcentagens regionais de unidades consumidoras, catalogadas pela ANEEL até junho deste ano, no país (ANEEL, 2012a).



Tabela 13 – Divisão regional da quantidade de unidades consumidoras no país.

Região	Número de unidades consumidoras (em milhões)	Número de unidades consumidoras (em %)
Sudeste	31,56	45,52
Nordeste	18,25	26,32
Sul	10,92	15,75
Centro-Oeste	5,23	7,55
Norte	3,37	4,86
Total geral	69,33	100,0

Fonte: Adaptado da (ANEEL, 2012a).

Quanto à homologação dos modelos de medidores inteligentes junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), alguns modelos já foram aprovados. Há mais de 20 medidores inteligentes para o mercado nacional (JORNAL DA ENERGIA, 2011b). Contudo, a comercialização destes modelos ainda não foi liberada pelo órgão.

3.6.2. Geração de pequeno porte

O conceito de geração distribuída no Brasil foi determinado pelo Decreto nº 5.136 de 2004, como qualquer fonte conectada ao sistema elétrico de distribuição, exceto fontes hidráulicas com capacidade instalada superior a 30 MW e unidades térmicas com rendimento inferior a 75% (ANEEL, 2004). A partir dessa definição, o Prodlist trata de alguns itens importantes para a conexão dessas unidades de geração:

- Procedimentos para a conexão;
- Nível de tensão de conexão, dependendo do nível de potência;
- Requisitos mínimos de proteção;
- Equipamentos de medição;
- Níveis de qualidade aceitável para conexão das unidades.

Além disso, o Prodlist definiu e regulamentou o agrupamento de centrais de geração distribuída, o centro de despacho de geração distribuída e a microrrede. Essas medidas, entretanto, não fo-



ram suficientes para disseminar a geração de menor porte. Por isso, em 2010, foi realizada uma consulta pública para o recebimento de contribuições visando reduzir as barreiras para a instalação de geração distribuída de pequeno porte, a partir de fontes renováveis, conectada em tensão de distribuição.

Entre as contribuições, foi de senso comum que o Prodist deve fornecer os requisitos mínimos para a conexão dessas unidades de geração, que servirão como base para as normas que cada distribuidora deverá fazer (ANEEL, 2011b).

Em abril de 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. A microgeração distribuída é definida como central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW. Para a minigeração, a potência instalada deve ser superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MWp. Tanto a micro como minigeração devem fazer uso de fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. A Resolução prevê a compensação de energia ativa consumida com a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída.

3.6.3. Estrutura tarifária

A nova estrutura tarifária passou pelo processo de consulta pública e a ANEEL prevê a aplicação em 2012 da chamada bandeira tarifária: Verde, Amarela e Vermelha. Para o Grupo B, ao qual pertencem os consumidores residenciais, será criada a modalidade Branca. Na tarifa Branca, haverá valores diferenciados para as horas e dias da semana, considerando momentos definidos como ponta ou fora de ponta. Sábados, domingos e feriados, seriam considerados com custo fora de ponta durante todo o dia. No restante da semana, haveria divisões: dividida em três postos horários: ponta, intermediária e fora de ponta. Entretanto, essa tarifa vai ser opcional. A adoção da modalidade Branca implicará na necessidade de se instalar medidores eletrônicos de energia. Essa etapa será cumprida ao longo do 3º Ciclo de Revisões Tarifárias.

Além disso, a partir de 2014, serão criados sinalizadores de tarifa para todas as modalidades de consumidores que funcionarão como semáforo indicando o quanto o consumo de energia está exigindo do sistema.



As experiências adquiridas ao longo do 3º Ciclo de revisão servirão para definir a metodologia adotada para a tarifação no 4º Ciclo de Revisão Tarifária que iniciará em 2015 (ANEEL, 2011c).

3.7. Conclusões e recomendações

O tema Redes Elétricas Inteligentes é algo relativamente recente em todo o mundo. Todavia, já é possível mapear o desenvolvimento das ações nacionais sobre Redes Elétricas Inteligentes considerando apenas os projetos do programa de PD&I coordenado pela ANEEL: 178 projetos de desenvolvimento catalogados em dez temáticas, totalizando um investimento que supera a marca de R\$ 400 milhões. Há uma forte concentração desses projetos nas Regiões Sudeste e Sul, com destaque para os Estados de São Paulo, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

No Brasil há, por parte das concessionárias, relativa cautela na utilização de tecnologias e padrões proprietários que dificultam as ações essenciais de interoperabilidade nas REI.

Os projetos pilotos na etapa atual possui um papel fundamental, entre outros, de fomentar a criação de diretivas de implantação das REI, o desenvolvimento de arquiteturas conceituais, a comprovação prática de interoperabilidade entre as tecnologias, bem como a elaboração de estratégias de manipulação segura das informações que circulam nas REI. O foco desses projetos têm sido na implantação da infraestrutura de medição inteligente avançada e na inserção de microrredes geradoras baseadas na energia eólica e solar fotovoltaica.

As ações relacionadas com o desenvolvimento dos veículos elétricos, da reconfiguração automática da rede e dos novos serviços deverão ser enfatizadas em um segundo momento, facilitadas pela plena implantação das etapas anteriores. Ressalta-se que as atuais pesquisas em carros elétricos têm se concentrado basicamente na Região Sudeste, assim como as poucas empresas levantadas.

A pesquisa sobre o desenvolvimento de novos serviços direcionados ao consumidor final ainda é bem restrita. Essa última poderá ser uma das áreas de REI a produzir um número significativo de empregos devido à grande quantidade de consumidores finais nos mais diversos setores (residencial, comercial e industrial) e o número de variáveis gerenciáveis em uma Rede



Elétrica Inteligente. Outro reflexo desse baixo investimento em pesquisa nesta área é que não foi localizada nenhuma empresa vinculada ao tema.

No que se refere às iniciativas por instituições, comprova-se mais uma vez a concentração de projetos no Sudeste bem distribuídos por área de conhecimento. Enquanto na Região Sul um terço dos projetos está concentrado na área de geração distribuída e microrredes (tema Rlo3), no Nordeste metade dos projetos estão concentrados na área de automação da distribuição (tema Rlo2).

Os dados mostram o déficit de desenvolvimento de pesquisa nas Regiões Norte e Centro-Oeste, com apenas cinco projetos. Mostram também que, embora o Nordeste seja naturalmente um lugar para o desenvolvimento de pesquisas em geração distribuída devido às suas características de radiação solar e regime de ventos, as empresas que procuram parceria com as universidades dessa região, preferem pesquisas para automação de suas redes.

Numa breve análise da indústria vinculada, foi possível observar a oportunidade atual em que as empresas concessionárias estão trabalhando em parcerias nos projetos pilotos com as empresas fornecedoras. Por outro lado, enquanto não houver uma melhor clareza sobre a política relacionada ao tema, o mercado se mostra receoso para se instalar, podendo criar lacunas na cadeia produtiva. Geração distribuída e automação na distribuição são as linhas de atuação com o maior número de empresas atuantes, reflexo da quantidade de projetos de PD&I. É importante também ressaltar o tema de medição inteligente que, apesar de aparecer apenas em quarto lugar em relação ao número de empresas atuantes, é o tema que apresenta empresas em quatro regiões do país.

Também como consequência da grande concentração de pesquisa e projetos pilotos (48%) a Região Sudeste apresenta 70% das empresas atuantes no Brasil.

As patentes encontradas nas pesquisas estão distribuídas por algumas das áreas envolvidas em REI, porém o número de patentes ainda é pequeno, lembrando que este número pode ser maior, com a adoção de outras palavras-chave no levantamento.

O maior número de patentes é na área de automação de redes elétricas (tema Rlo2), um dos motivos deve ser porque esses equipamentos são desenvolvidos para solucionarem problemas específicos de empresas que financiam os projetos.



Outro fato interessante identificado é que o tema geração de energia de pequeno porte (tema R103) ou gerenciadores de demanda (tema R108) os depositantes de patentes são geralmente pessoas físicas, enquanto que para os temas como automação e medidores (tema R101) as empresas dominam. Isso pode ser um indicador sobre quais setores atraem mais economicamente os investimentos privados.



CAPÍTULO 4

TECNOLOGIAS

Nos últimos anos, as redes de eletricidade não acompanharam o ritmo dos desafios modernos, tais como: ameaças à segurança dos fornecedores de energia ou ataque cibernético; metas nacionais para empregar fontes alternativas de energia, cuja geração intermitente de fornecimento de energia estável faz a operação mais complexa; metas de conservação que visam diminuir a demanda de pico, que surge durante o dia de modo que menos energia seja desperdiçada; dispositivos controlados digitalmente, que podem alterar a natureza da carga elétrica; por exemplo.

As Redes Elétricas Inteligentes integram um conjunto de tecnologias relacionadas com a geração, transmissão, distribuição, armazenamento e consumo da energia elétrica. Observa-se que algumas das tecnologias associadas ao tema estão ativamente sendo implantadas e os seus respectivos desenvolvimento e aplicação são considerados maduros. Contudo, outras são recentes e exigem etapas de desenvolvimento e demonstração para que sejam incorporadas plenamente às REI (IEA, 2011a).

A Figura 21 ilustra as principais categorias de tecnologias constituintes de uma Rede Elétrica Inteligente. Há comunicação entre os vários segmentos, possibilitando tomadas de decisões de forma *online*.

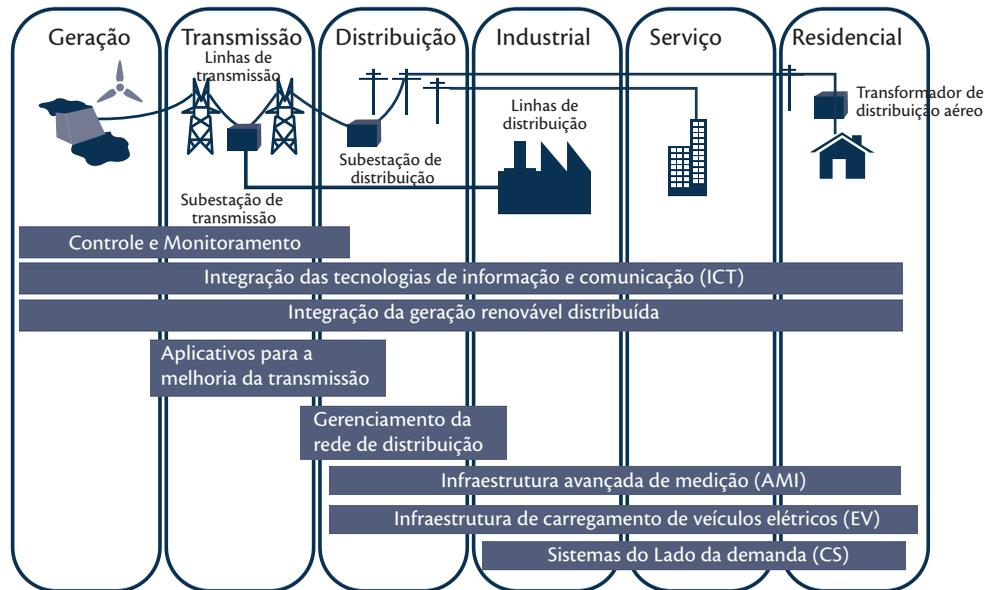


Figura 21 – Categorias de tecnologias constituintes de uma Rede Elétrica Inteligente plena

Fonte: Adaptado de (IEA, 2011a).

Na Tabela 14 há uma breve descrição sobre cada categoria de tecnologia, assim como os principais equipamentos de *hardware* e de *software* comumente utilizados em cada uma (IEA, 2011a).

Adicionalmente na Tabela 14, existem outras áreas da ciência ou desafios tecnológicos associados às categorias citadas:

- controle de sistemas em tempo real;
- eficiência energética;
- geração renovável em pequena escala;
- sensores, controladores e atuadores de última geração;
- armazenamento de energia e chaveamento eletrônico;
- tarifas inteligentes, uso otimizado de energia, menores investimentos em longo prazo;
- redução de emissões de gases poluentes, menor impacto ambiental;
- equipamentos da rede elétrica inteligente (transformadores, chaves, etc).



Tabela 14 – Descrição das categorias das tecnologias de uma Rede Elétrica Inteligente

Categoria	Hardware	Software
Monitoramento e controle de longas áreas	Sensores	Sistemas SCADA, WAMS, WAAPCA e WASA
Integração de informação e comunicação	Equipamentos para comunicação (PLC, WiMAX, LTE, RF <i>mesh</i> , Celular), Roteadores, Gateways e Computadores	Sistemas ERP e CIS
Integração de geração distribuída e de fontes renováveis	Equipamentos de geração, Inversores e armazenamento de eletricidade	Sistemas EMS, DMS, SCADA e GIS
Aprimoramento da transmissão	Supercondutores, FACTS, HVDC	Sistemas de análise de estabilidade da rede e de recuperação automática
Gerenciamento da rede de distribuição	Chaves religadoras automáticas com sensores, sensores em transformadores e em cabos condutores	Sistemas GIS, DMS, OMS e WMS
Infraestrutura de medição avançada	Medidores eletrônicos inteligentes, Mostradores visuais de consumo e Computadores	Sistemas MDMS e de faturamento de energia
Infraestrutura de carregamento de veículos elétricos	Baterias, Inversores e Unidades automatizadas de abastecimento	Sistema de faturamento de energia, G2V e V2G
Gerenciamento pelo lado do consumidor	Mostradores visuais de consumo, Dispositivos portáteis e Equipamentos atuadores	Sistemas visuais de consumo, de gerenciamento de consumo doméstico e aplicações móveis

Fonte: Adaptado de (IEA, 2011a).

Uma REI plena é caracterizada pela implantação completa do conjunto de tecnologias. Entretanto, dependendo das necessidades de melhoria da rede elétrica, nota-se que nem todas as tecnologias precisam ser instaladas (IEA, 2011a).

Com base no exposto, a seguir são tratadas as seguintes áreas: sistema elétrico; automação e medição inteligente; tecnologia da informação; tecnologia de comunicação; e veículos elétricos.

4.1. Sistema elétrico

Manter a estabilidade da rede é um enorme desafio, devido às constantes oscilações entre oferta e a demanda de energia, principalmente, devido à grande demanda em horários específicos (picos de carga).



O conceito de REI está associado principalmente aos aspectos de distribuição de energia elétrica. O impacto nos níveis mais altos do sistema elétrico ocorre de forma indireta, por meio do aplainamento da curva de carga e das consequências do surgimento de uma quantidade significativa de geração distribuída (ABRADEE, 2011).

4.1.1. Geração

A introdução de fontes de energia com características de despacho diferentes das convencionais vão exigir o desenvolvimento de técnicas inteligentes de despacho, de forma a considerar suas características sazonais e intermitentes. Complementando a geração centralizada, a REI irá promover um crescimento da chamada Geração Distribuída (GD).

A GD caracteriza-se como uma geração de menor porte localizada próximo à carga, que independe da tecnologia de geração. O grande impasse nessa definição é em relação ao tamanho dessas fontes e o nível de tensão no qual a GD deve ser conectada à rede elétrica. Outras denominações como mini e microgeração também são usadas com o objetivo de delimitar por nível de potência o termo 'geração distribuída' (*SMART GRID NEWS*, 2011h). Geradores quando conectados à rede de média tensão são classificados como minigeração para faixas de potência instalada entre 100 kW a 1 MW ($100 \text{ kW} < P \leq 1 \text{ MW}$) e quando conectados à rede de baixa tensão são classificados de microgeração ($P \leq 100 \text{ kW}$) (ANEEL, 2012b).

Pequenos produtores quando operando interligados à rede de distribuição em baixa tensão dão origem a um novo tipo de sistema de potência denominado de microrredes. O modelo de micro/minirede surge com o objetivo de minimizar as dificuldades na implantação da geração distribuída. A micro/minirede é um sistema de energia que pode operar em modo autônomo ou como parte da rede principal de energia elétrica, conectada por meio de um ponto de acoplamento.

A micro/minirede é composta por fontes de energia, consumidores finais e armazenadores quando operadas em modo isolado. Esse sistema deve possuir total autonomia para fornecer energia dentro dos padrões de qualidade e fazer o controle de carga-geração caso esteja operando isolado da rede principal (YE, et. al, 2005).

Quando várias mini-microrredes são conectadas entre si e operam de forma conjunta e coordenada, origina-se a planta virtual de geração (PVG). As PVGs são operadas coletivamente por uma entidade de controle centralizado, pois assumem a grandeza de uma planta convencional



podendo operar no mercado de energia elétrica, conforme Figura 23. As Figuras 22 e 23 ilustram exemplos de microrrede em uma PVG (MGX, 2008) e (EPRI, 2009).

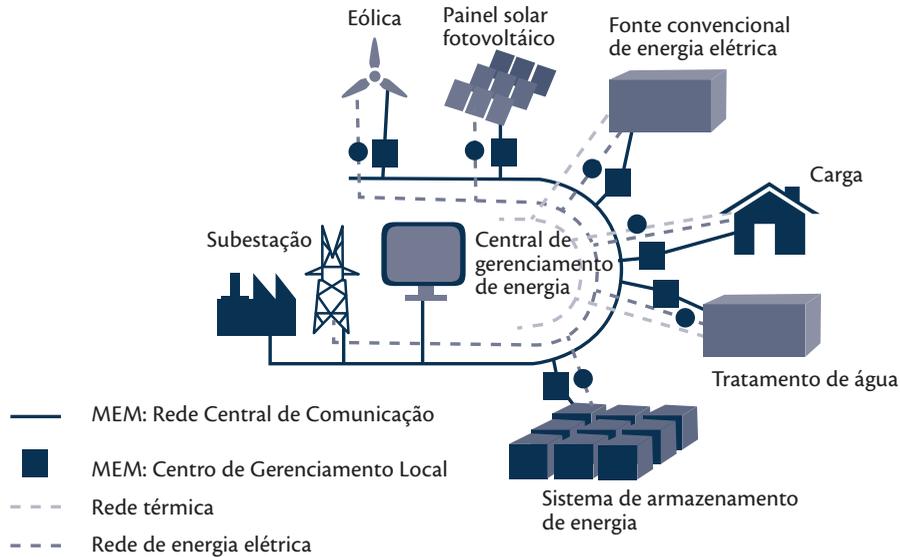


Figura 22 – Microrrede ou planta virtual de geração

Fonte: Adaptado de (MGX, 2012).

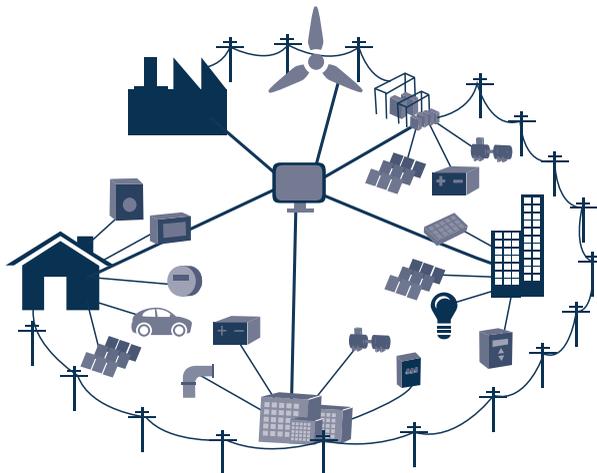


Figura 23 – Planta Virtual de Geração

Fonte: Adaptado de (EPRI, 2009).



Nesse caso, as unidades de PVG possuem um centro de despacho e estão distribuídas pela rede da concessionária, dessa forma, tanto para os operadores de sistema como para o mercado de energia, as várias unidades da PVG serão transparentes, apenas o centro de controle vai atuar (PIKE RESEARCH, 2010b).

Para alcançar essa nova realidade, as tecnologias de informação e comunicação (TIC), até então empregadas para dar suporte à infraestrutura elétrica, passarão a ser essenciais, dando suporte à utilização em larga escala de medidores eletrônicos, sensores e componentes de rede, como religadores. Essa nova infraestrutura tecnológica permitirá a melhor administração do sistema elétrico (ativos, energia e serviços ao consumidor) resultando em uma maior eficiência técnica, econômica, social e ambiental.

Subsistemas relacionados com a interligação de microrredes, infraestrutura de comunicação, infraestrutura de medição, abastecimento de veículos elétricos e com o armazenamento de energia podem constituir uma Rede Elétrica Inteligente (XINGHUO, et al., 2011). A Figura 24 ilustra a visão expandida dos subsistemas e os seus recursos integrantes da Rede Elétrica Inteligente (XINGHUO, et. al, 2011).

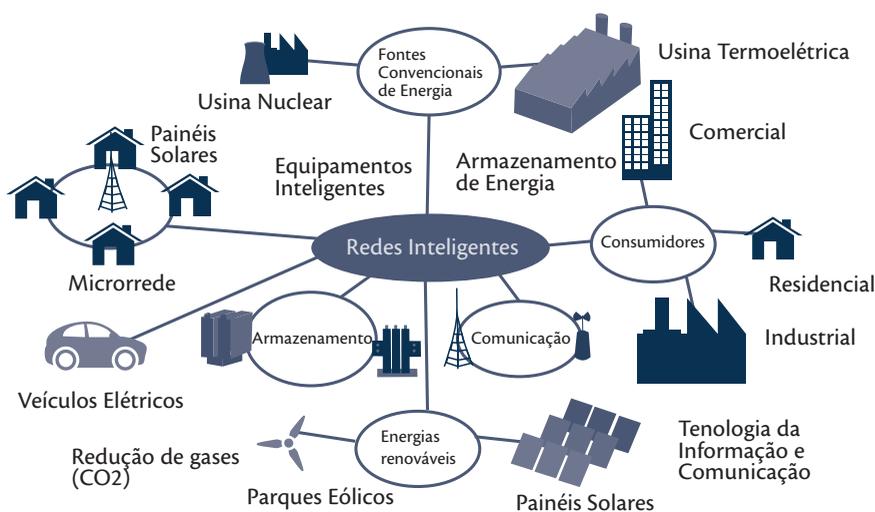


Figura 24 – Estrutura de subsistemas de uma REI.

Fonte: Adaptado de (XINGHUO, et. al, 2011).



A partir da visão de REI, a geração distribuída assume o papel de proporcionar maior autonomia ao consumidor de energia elétrica. O consumidor terá um maior grau de liberdade no gerenciamento da sua conta de energia. Em vez de apenas economizar, ele poderá fornecer energia para rede elétrica e dependendo da quantidade poderá vender essa energia no mercado de energia.

Há diversas vantagens atribuídas à integração da geração distribuída, como: maior disponibilidade de energia para o consumidor, menores perdas de transmissão e distribuição, menor impacto ambiental quando provenientes de fontes renováveis de energia, redução no carregamento das redes, maior variedade na matriz energética e possibilidade de expansão do sistema em locais onde os recursos são limitados (RODRIGUEZ, 2002).

Entre as dificuldades na integração da geração distribuída são apontadas: o aumento na complexidade de operação da rede devido ao fluxo bidirecional; necessidade de mudanças nos procedimentos de segurança das distribuidoras; dificuldade de controle da tensão nos períodos de carga leve; aumento da distorção harmônica na rede; intermitência de geração devido às fontes estocásticas ou à disponibilidade de insumo energético primário; e custo de implantação (LOPES, 2011).

Para atender o aumento da demanda de eletricidade nos próximos anos, é esperado o crescimento significativo da geração distribuída proveniente de fontes renováveis de energia. Existe uma vasta gama de tecnologias limpas e aquelas que têm recebido maior incentivo governamental são solar-fotovoltaica, eólica e biomassa juntamente com a cogeração.

Em um futuro próximo, os veículos elétricos exercerão a função dupla de carga, com suas baterias carregadas pela rede elétrica, e de fonte, enquanto armazenadores de energia, poderão injetar energia na rede elétrica. A seguir, são apresentadas algumas dessas tecnologias de geração descentralizada.

Solar fotovoltaica (solar-FV)

A fonte solar-FV é uma tecnologia de energia descentralizada, modular, silenciosa, limpa e renovável. Sua aplicação, no passado, esteve voltada apenas para carregamento de baterias em regiões sem acesso à rede de distribuição. Hoje é uma fonte dominante na geração para produção de eletricidade no setor residencial³.

³ Este mercado ainda é pequeno no Brasil.



Entre 2006 e 2010, a taxa de crescimento da energia solar-FV foi de 49% enquanto as demais fontes renováveis cresceram em média de 15% até próximo de 50%. Só em 2010, o crescimento foi um pouco menor que 72%, com mais de 100 países fazendo uso dessa fonte.

A principal vantagem da tecnologia solar-FV é sua característica modular e de fácil instalação, por isso o mercado FV é dominado por consumidores residenciais e comerciais, principalmente em países que possuem incentivos financeiros (PIKE RESEARCH, 2011a), como na Alemanha, conforme citado no capítulo 2.

Esses incentivos devem ser planejados com cautela vislumbrando sua redução progressiva para que o mercado FV seja sustentável, exemplos disso são Espanha e Reino Unido. Devido à redução no preço dos sistemas FV, em torno de 30%, e a expansão do uso residencial, houve um aumento excessivo do déficit causado pela remuneração da produção por essa fonte, obrigando à revisão das tarifas *feed-in* (JORNAL DA ENERGIA, 2011d).

Uma das barreiras para a disseminação da energia solar-FV no Brasil é ainda o preço dos painéis solares. No Brasil, há somente uma fábrica de painéis fotovoltaicos. A fabricação desses produtos é feita pela Tecnometal que comprou a linha de produção da empresa norte-americana *Spire*, que treinou funcionários e transferiu a tecnologia de fabricação (JORNAL DA ENERGIA, 2012).

O Brasil possui uma das maiores reservas de silício do mundo, matéria-prima para produção de painéis, porém o país não domina a tecnologia de purificação do elemento. A matéria é vendida em sua forma bruta por U\$2/kg e o mineral purificado comprado por U\$60/kg (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010b).

Energia eólica

A geração eólica é hoje considerada uma tecnologia madura. Seu nível de penetração no setor elétrico de alguns países já alcança até 20% da produção (em alguns horários pode atingir 100% da produção, caso já experimentado pela Dinamarca durante condição de carga leve). Essa é a fonte renovável não hídrica de maior capacidade instalada no mundo, e enquanto os preços dessa tecnologia diminuem, o preço dos combustíveis fósseis crescem.

Devido à crise econômica internacional, o crescimento da energia eólica em 2010 foi de apenas 22%, diferente da tendência dos anos anteriores cujo crescimento foi de 29 e 32% para 2008 e



2009, respectivamente. Esse crescimento foi alavancado, principalmente pela China, pois enquanto vários países diminuíram o crescimento da capacidade instalada, na China houve um aumento de 8,0 GW no primeiro semestre de 2011 (PIKE RESEARCH, 2011b),

Embora o grande desenvolvimento da geração eólica esteja em instalações de médio e grande portes, os aerogeradores de pequeno porte (até 30 kW) experimentam um crescimento constante, porém concentram-se em regiões que oferecem incentivos financeiros para seu desenvolvimento. No entanto, a principal condição para a instalação dessas pequenas turbinas são as condições favoráveis de vento (PIKE RESEARCH, 2011c). A geração eólica em áreas urbanas tem que lidar com as questões de topografia como baixas altitudes, os obstáculos e as características do terreno, tornando-a mais apropriada para utilização em edifícios, enquanto que as zonas rurais apresentam menor problema.

No Brasil, já há empresas brasileiras que buscam entrar no mercado com a venda de turbinas eólicas de pequeno porte para consumo próprio, entre essas a Enersud desde 2001 e a Satrix desde 2009 (SMART GRID NEWS, 2011b e ENERSUD, 2011). As tecnologias em desenvolvimento são ainda para o carregamento de baterias, mas devem evoluir juntamente com a legislação para a conexão dessas fontes ao sistema da concessionária de energia, e futuramente usufruir dos benefícios da REI.

A energia FV e eólica são fontes intermitentes e produzem energia que varia com o local e as condições climáticas. Os desafios em conectar fontes renováveis intermitentes à rede são em grande parte resolvidos por conversores eletrônicos de potência. O Brasil ainda tem déficit de fabricantes nacionais de conversores, dispositivos essenciais à conversão de energia de forma compatível com os padrões das concessionárias.

Cogeração e biomassa

Usinas de cogeração produzem energia elétrica como uma unidade térmica convencional, porém o calor, subproduto da queima do combustível, também é aproveitado em outro processo térmico. Dessa forma, o processo de cogeração é altamente eficiente. Geralmente essas unidades são instaladas próximas das cargas, principalmente se o calor for utilizado para aquecimento/refrigeração, portanto, a cogeração tem características de geração distribuída. Uma forma de tornar essa tecnologia mais correta ambientalmente seria a utilização de biomassa como combustível, ter-se-ia que além de um processo eficiente a fonte seria não poluente (BIODIESELBR, 2011).



Uma vantagem da utilização da biomassa é a grande diversidade de origem. São classificados como biomassa: resíduos industriais (principalmente agrícola e alimentar), resíduos de construções e resíduos urbanos (lixo).

O Brasil já possui experiência na utilização de biomassa para a produção de energia elétrica. O exemplo mais marcante é o bagaço da cana-de-açúcar, mas outros tipos também são utilizados como lenha, casca de arroz e resíduos florestais como eucalipto reflorestado (BIODIESELBR, 2011; CPFL, 2011; SMART GRID NEWS, 2011c; e ERB, 2012).

4.1.2. Transmissão

A disponibilidade de informação abundante e de qualidade abre possibilidades da introdução do conceito de REI nos sistemas de transmissão. Algumas áreas em desenvolvimento são:

- **Monitoramento *online* de ativos:** utilização de técnicas avançadas de monitoração em tempo real do carregamento e condições de funcionamento de linhas de transmissão e transformadores, que permitirá uma utilização mais eficiente desses ativos e evitarão falhas capazes de comprometer a integridade dos sistemas de transmissão;
- **Controles eletrônicos inteligentes:** utilização integrada de dispositivos de controle eletrônicos tais como FACTS e HVDC;
- **Proteção:** através de sistemas auto adaptativos de proteção que permitem a reconfiguração e ajustes *online* de acordo com as condições de operação do sistema; e
- **Automação de subestações:** com a integração de sistemas de monitoração, controle e proteção de subestações utilizando protocolos padrões de comunicações e transferência de dados.

4.1.3. Distribuição

O segmento da distribuição de energia elétrica será muito beneficiado pelas tecnologias de REI, principalmente pela aplicação de medidores inteligentes e automação de equipamentos (tema que será abordado no item seguinte), que permitirão controlar em tempo real o estado de toda a rede, balancear as cargas, prever a interrupção do fornecimento de energia detectando e isolando automaticamente as faltas, reconfigurando e restaurando o fornecimento do serviço, além de fazer o controle de tensão e do fluxo de potências.



As iniciativas em andamento têm utilizado as tecnologias de automação já disponíveis para sistemas de distribuição. Por outro lado, as novas tecnologias associadas à REI, assim como a regulação já em tramitação, permitirão um aumento significativo de fontes de geração distribuída, principalmente a microgeração, conectadas às redes de distribuição, bem como os veículos elétricos.

4.2. Automação e medição inteligente

A modernização das redes de distribuição de energia elétrica tem ocorrido em diversos países desde a década de 1980, especialmente com a troca de medidores eletromecânicos por eletrônicos. Esta é uma condição necessária, mas não suficiente para a medição inteligente.

Medição avançada refere-se a um sistema que compreende medidores digitais com capacidade de processamento, armazenamento e comunicação, infraestrutura para comunicação bidirecional e *software* de aplicação que permite a aquisição automática de dados em intervalos de tempo configurável, envio de dados (comando e controle) remotamente para o medidor e sistema de gerenciamento, oferecendo recursos tais como gerenciamento de ativos, informação de segurança e análise de dados. Neste sentido, o medidor tornou-se um nó computacional (entidade) e, portanto, inteligente.

Muitas vezes a medição inteligente é considerada como sendo a própria Rede Elétrica Inteligente, mas é apenas uma das etapas para se atingir o conceito completo. Dentro deste contexto, têm-se os seguintes aspectos:

- *Automated Meter Reading* (AMR), ou Leitura Automática do Medidor, conceito antigo com comunicação unidirecional com um Centro de Controle de Medição (CCM) para o processo de geração de fatura, visando maior exatidão nas medições e economia de custos com leituristas.
- Medidor Inteligente (*Smart meter*) é um medidor eletrônico (ou digital) com capacidade para aplicações que vão muito além da medição do consumo de energia, registrando dados em intervalos de tempo configuráveis e permitindo comunicação bidirecional com o CCM. Para atender ao conceito completo de REI, o medidor deve permitir integração com dispositivos domésticos também inteligentes (*smart appliances*).



- *Advanced Meter Management (AMM)*, ou Gerenciamento do Medidor Avançado, refere-se a uma plataforma técnica de gerenciamento para medidores inteligentes dispostos em redes de comunicação, lendo perfis de carga em intervalos de tempo inferiores a uma hora. Pode ser entendido como toda ação de gerenciamento sobre o medidor como ativo da rede. Apresenta como funções básicas (i) gerenciamento de dispositivo (p. ex., gestão de parâmetros dos medidores), (ii) gestão de grupo, possibilitando o controle de grupos de dispositivos, como configuração e *upgrade* de *firmware*, e (iii) gestão de plataforma de comunicação, assegurando comunicação confiável entre medidores e CCM, reportando *status* de rede, desempenho da comunicação e situações de exceção. Importante notar que a AMM não armazena os dados coletados dos medidores (ou o faz apenas temporariamente), transmitindo-os ao MDM.
- *Meter Data Management (MDM)*, ou Gerenciamento de Dados do Medidor, processa e gerencia os dados gerados pelos medidores, incluindo informações além da energia consumida, como por exemplo, fator de potência e indicadores de qualidade. Objetiva aperfeiçoar processos como faturamento, eficiência operacional, serviços ao consumidor, previsão de demanda de energia, gerenciamento do sistema de distribuição (*Distribution Management System - DMS*), gestão de fraudes, gestão de demanda, entre outros. A questão não se resume mais em como coletar dados remotamente (função da AMM), mas como gerenciá-los para obter mais informação. Tem como funções básicas (i) atuar como repositório de dados de registros, eventos e alarmes, e (ii) processar e analisar dados dos medidores, aplicando validação e retificação em dados inconsistentes e transformando perfis de carga elementares em informação útil à concessionária.
- *Advanced Metering Infrastructure (AMI)* ou Infraestrutura de Medição Avançada, sendo que alguns autores utilizam o termo AMI como sinônimo de medição inteligente englobando os conceitos de AMM e MDM. Na prática está relacionado mais à infraestrutura de meios de comunicação necessários para permitir as funcionalidades de medição inteligente.

Com a comunicação bidirecional entre consumidores e a concessionária de energia elétrica espera-se propiciar a leitura automática da demanda individual automatizando a coleta de dados de faturamento, proporcionar a conexão e desconexão de consumidores, disponibilizar informações do preço da energia, detectar faltas e despachar equipes de manutenção de forma mais rápida e correta, além de detectar e impedir o furto de energia.

A automação de equipamentos, que será capaz de decidir quando consumir energia elétrica com base no conjunto de preferências dos clientes, poderá reduzir o pico de carga. Isto deve



causar impacto sobre os custos de geração de energia, postergando a necessidade de construção de novas usinas de energia.

O advento da medição inteligente e a exibição em tempo real de informações oferecem recursos como o monitoramento de qualidade de energia, do perfil de carga e a comutação remota de cargas. Esta tecnologia incentiva as pessoas a se tornarem mais conscientes de seus consumos de energia e, possivelmente, mudarem os seus padrões de consumo.

As informações do medidor inteligente permitem que o usuário final, de forma interativa e em tempo real, reduza o consumo de energia elétrica durante os períodos de maior custo da geração. O consumidor é capaz de deslocar a demanda para um período em que o preço da energia é mais baixo.

Com tarifa diferenciada, os preços da energia elétrica podem variar segundo o horário, o dia da semana, e a estação do ano. Como sugere Leão et al. (2011), em termos da gestão da demanda, deve-se adicionar algum nível de inteligência às cargas.

Os sistemas tarifários variam de país para país. Sistemas de medição líquida e de faturamento líquido são políticas para consumidores que possuem instalações de geração renovável de pequeno porte como fotovoltaico e eólico ou veículos elétricos. No sistema de medição líquida, o proprietário recebe crédito pela energia gerada não consumida. Na verdade, a medição líquida permite o prosumidor usar a rede elétrica como sistema de armazenamento de energia.

O sistema de faturamento líquido é um processo de medição que a eletricidade consumida da rede e a eletricidade injetada na rede são medidas separadamente, e a eletricidade injetada na rede é avaliada a um determinado preço. Sob o sistema de faturamento líquido, o prosumidor será cobrado por seu consumo na tarifa da hora de uso e recebe crédito pela quantidade fornecida à rede.

4.2.1. Medição de energia no Brasil

No Brasil, várias distribuidoras já decidiram pela aquisição exclusiva de medidores inteligentes para a baixa tensão. As principais motivações para a migração para a medição inteligente têm sido: maior precisão no consumo medido; redução das perdas comerciais (fraude e furto); preço



competitivo, o aumento da utilização tem levado a reduções do preço; e possibilidade de utilização de funções adicionais como suspensão em caso de inadimplência e religação a distância, leitura remota, assim como sistemática de pré-pagamento (ainda não regulamentado no Brasil).

Várias distribuidoras aguardam, no entanto, a eliminação de algumas incertezas para migrarem para a medição inteligente, como por exemplo, as indefinições na regulamentação quanto ao uso de recursos adicionais tais como o pré-pagamento e a tarifa horo-sazonal; e indefinição na regulamentação metrológica.

A transição completa para medidores inteligentes pode levar vários meses após a instalação do medidor, uma vez que existem muitos componentes de rede e comunicação associadas à medição inteligente que devem estar presentes para permitir a comunicação.

Atualmente, concessionárias dos EUA e Europa estão usando abordagens diferentes para seus projetos iniciais e implantações de Redes Elétricas Inteligentes. Os medidores inteligentes constituem equipamento básico para as distribuidoras deslançarem projetos de REI em larga escala junto aos consumidores de baixa tensão. Algumas concessionárias avançam de forma gradual, enquanto outras estão tomando uma abordagem agressiva de implantar várias funções simultaneamente (VOOLVE LIMITED, 2011).

Segundo a Aneel (2012), dados catalogados até junho de 2012 indicam a existência de, aproximadamente, 69,34 milhões de unidades consumidoras no país, distribuídas em 11 classes de consumo.

A Tabela 15 lista as quantidades das unidades consumidoras, por classe de consumo no país.



Tabela 15 – Quantidades de unidades consumidoras, por classe de consumo, no país.

Classe de consumo	Número de unidades consumidoras	Número de unidades consumidoras (em %)
01 - Residencial	58.913.454	84,96
02 - Industrial	555.264	0,80
03 - Comercial, Serviços e Outras	5.019.590	7,24
04 - Rural	4.011.617	5,79
05 - Iluminação Pública	85.367	0,12
06 - Poder Público	516.604	0,75
07 - Serviço Público (água, esgoto e saneamento)	70.494	0,10
08 - Rural Irrigante	60.345	0,09
09 - Consumo próprio	8.373	0,01
10 - Rural Aquicultor	98.081	0,14
11 - Serviço Público (tração elétrica)	352	5,08E-04
Total geral	69.339.541	100

Fonte: Adaptado de (ANEEL,2012).

A classe residencial representa a maior parcela em quantidade de unidades consumidoras (84,96%) no país. As classes comercial, serviços e outras ocupam o segundo lugar, com a quantidade aproximada de cinco milhões. Em termos de consumo, segundo dados da EPE, o residencial responde por 112,1 TWh (dados 2011), que representa 26% do total⁴ enquanto a indústria representa aproximadamente 43%.

A Aneel, a agência que regula as concessionárias brasileiras, vêm trabalhando em estudos focados em medidores inteligentes e modelos de tarifação para as diferentes classes consumidoras, inclusive em baixa tensão, baseados em tarifas diferenciadas onde os preços da energia elétrica variarão segundo a hora do dia, o dia da semana e a estação do ano (ver seção 3.6).

A ideia do órgão regulador foi a de criar para os consumidores atendidos em baixa tensão a tarifa Branca, com valores diferenciados ao longo do dia: uma mais barata, que valeria para a maior

⁴ Dados da EPE que não considera os autoprodutores cativos, isto é, aqueles que geram energia para consumo próprio. Este dado difere do Balanço energético Nacional (EPE) que considera o autoprodutor cativo.



parte do tempo (horário fora de ponta); uma mais cara, no horário de pico de consumo (horário de ponta); e uma intermediária, entre esses horários.

Além disso, foram criadas as Bandeiras Tarifárias, que serão aplicadas a todos os consumidores: Verde, Amarela e Vermelha, representando um funcionamento análogo ao de um semáforo de trânsito. A Bandeira Verde significa custos baixos para gerar a energia que chega para o consumidor. A Bandeira Amarela indicará um sinal de atenção, pois os custos de geração estão aumentando. Por sua vez, a Bandeira Vermelha indicará que a situação anterior está se agravando e a oferta de energia para atender a demanda dos consumidores ocorre com maiores custos de geração, como por exemplo, o acionamento de termelétricas para gerar energia – uma fonte mais cara do que as hidrelétricas.

Outros aprimoramentos dizem respeito à (*SMART GRID NEWS*, 2011b):

- alteração dos custos marginais de expansão das redes de distribuição;
- alteração da forma de rateio dos diversos custos da distribuidora, tais como encargos, perdas, etc.;
- alteração da relação entre as tarifas de ponta e fora de ponta e extinção do sinal seco e úmido;
- redefinição do subgrupo A4 e extinção do subgrupo A3a;
- alteração dos critérios para enquadramento na modalidade tarifária convencional;
- definição da modalidade verde para a TUSD consumidores livres e especiais;
- alteração da forma de faturamento: abertura da tarifa em tarifa de uso e energia;
- implantação do sinal horário para o Sistema Isolado.

As principais características dos medidores inteligentes de mercado são:

- Medição de parâmetros: energia e potência ativa, energia e potência reativa, demanda máxima de potência a cada 15 minutos, tensão, corrente, fator de potência, etc.;
- Registros de parâmetros de qualidade como: detecção automática de falta com registro de interrupções acima de três minutos para cálculo de DEC e FEC, e qualidade da tensão;
- Registro e leitura remota de eventos como detecção de fraude, mudança de configuração de tarifação, mudança de potência contratada, etc.;



- Controle de carga e de demanda com capacidade de gerenciar cargas controláveis conectadas ao medidor e limitar potência;
- Taxa de amostragem programável;
- Armazenamento de dados (p.ex. energia consumida) em memória de massa;
- Emissão automática de fatura baseada em calendário no interior do medidor;
- Comunicação bidirecional para leitura remota, carregar crédito, atualização de *software*, etc.;
- Suporte aos registros de microgeração;
- Imunidade à inversão de fase;
- Detecção automática de falta na baixa tensão;
- Atualização remota de *firmware*.

Os vários medidores inteligentes, localizados nas unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais, com uma infraestrutura de comunicação, formam uma plataforma disponibilizando os dados a um sistema de gerenciamento de energia. A comunicação dos medidores com o sistema de gerenciamento de energia é fundamental para a consolidação dos dados.

4.3. Sistemas de gerenciamento de energia

Sistemas de gerenciamento de energia proporcionam inúmeros benefícios como:

- medição e armazenamento de grandezas elétricas como corrente, tensão, fator de potência, demanda e harmônicos;
- disponibilidade de informações em tempo real e históricos de dados, através de gráficos e relatórios para análises;
- alarme e notificação de variações de grandezas monitoradas permitindo o acompanhamento de violações de restrições operativas como sobrecarga de equipamentos, violação de regulação de tensão, de fator de potência, de demanda contratada, de distorção harmônica de tensão e corrente;



- alarme e notificação de mudança de estado de equipamentos e dispositivos de disjunção, permitindo a identificação e localização de desenergização de circuitos de alimentação e auxiliando na restauração rápida da energia;
- individualização dos custos de consumo de energia, através da medição setorial, permitindo o acompanhamento e a identificação de oportunidades de redução de custos;
- gerenciamento do consumo global e setorial;
- melhorias na eficiência decorrentes das decisões permitidas pelas informações processadas e ações de controle programadas;
- provimento de dados a comissões internas e gestores;
- disponibilização de métricas para justificar e implementar melhorias de eficiência; viabilização do estabelecimento de metas de redução de consumo;
- planejamento e orçamento da utilização através do gerenciamento do uso e dos custos de forma setORIZADA.

Os *softwares* do sistema de gerenciamento em geral são proprietários, disponibilizados pelo fabricante dos medidores. Muitas vezes os dados são mantidos em um formato proprietário, e isso implica que os usuários somente poderão acessá-los utilizando ferramentas de gerenciamento do fornecedor dos equipamentos.

É importante que os dados de medição sejam abertos e que o fornecedor de equipamentos disponibilize-os em sua fonte original e fornecendo conversores de protocolos e conectores para diversos padrões de banco de dados em linguagem tais como *Structured Query Language* (SQL), ou em formato de conversão desejado pelo usuário. É preciso certificar-se que a integração com equipamentos de outros fornecedores é permissível.

A interoperabilidade com outros fabricantes de mercado permite a expansão sem perda de desempenho e custo viável na medição e gerenciamento da energia. A comunicação dos medidores com o sistema de gerenciamento de energia é fundamental para a consolidação dos dados.

4.3.1. Tecnologia da Informação (TI)

As atividades fundamentais para suportar a transformação do sistema elétrico em REI será a concepção para diversos modelos e arquiteturas. Os sistemas de telecomunicação e TI, análise

de plataformas de gerenciamento de redes e sistemas, análise de sistemas de bancos de dados e de requisitos para interoperabilidade, interconectividade e escalabilidade de sistemas, avaliação de requisitos de segurança, sistemas de gestão do conhecimento e análise de projeções de investimento serão afetados.

Para os sistemas elétricos de potência, busca-se o formato de um sistema independente, flexível e inteligente, visando à otimização do uso da energia com uma administração local. É sugerida uma instalação em níveis, conforme a Figura 25.

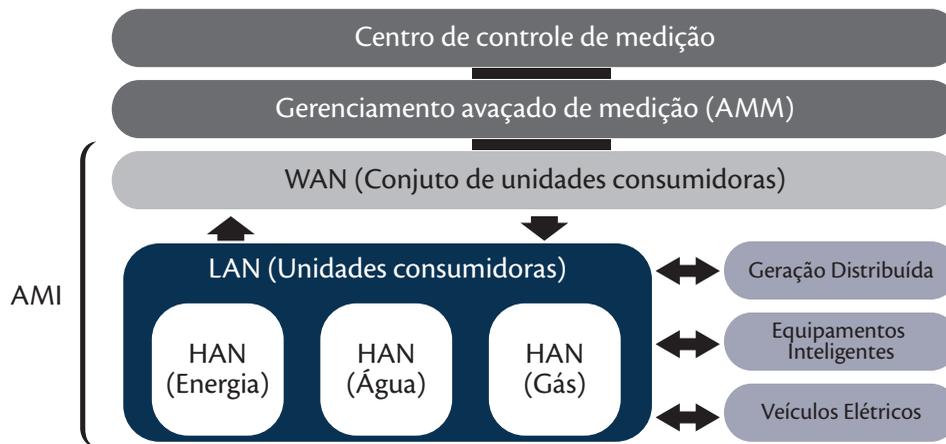


Figura 25 – Níveis de comunicação em uma AMI

Fonte: Adaptado de (LANDIS+GYR, 2012).

O primeiro nível, representado pelos blocos em branco na Figura 25, corresponderia às, redes domésticas denominadas *Home Area Network* (HAN). As redes domésticas abrangeriam os dispositivos internos à residência, como medidores e dispositivos portáteis, que fariam parte deste sistema e contemplariam os diversos serviços disponíveis ao cliente, denominados de *utilities*, como controle de eletricidade, água, gás, etc. A confiabilidade e a qualidade neste nível seriam maiores, pela diminuição da dependência de geradoras distantes e centralizadoras com uma infraestrutura falível.

Em um segundo nível, tem-se uma construção integrada, na qual a geração distribuída e a infraestrutura local estariam interligadas, sendo esse nível representado pelos elementos em azul claro na Figura 25. O conjunto de serviços, equipamentos de armazenamento de energia,



o veículo elétrico e os eletrodomésticos inteligentes também fariam parte desta implantação que geralmente é mais conhecida como rede local - *Local Area Network* (LAN).

Prevê-se a conexão aos equipamentos domésticos, por meio de tomadas inteligentes, conhecidas também como *Smart Plugs*, provendo o usuário de informações dos equipamentos, possibilitando, também, programações detalhadas, dispositivo a dispositivo, mediante telas interativas, dispositivos móveis e TVs digitais.

A integração desses equipamentos ligados na instalação elétrica, seja residencial, comercial ou industrial, trariam vantagens sobre o nível anterior, pois proporcionaria à rede de distribuição o acesso aos excedentes produzidos pelas fontes alternativas instaladas localmente. Disponibilizaria uma estrutura para administrar as necessidades globais (calor, resfriamento, energia), controlável pela Internet ou mesmo por sistemas portáteis.

O terceiro nível, representado na cor cinza claro na Figura 25, é o da *Wide Area Network* (WAN), relacionado às interconexões entre os diversos consumidores locais e o setor de distribuição de energia elétrica.

O Gerenciamento Avançado da Medição (*Advanced Metering Management* - AMM) seria uma plataforma técnica de gerenciamento disposta em redes de comunicações, que pode ser entendido também como o dispositivo gestor da comunicação entre um grupo de (AMI) e os Centro de Controle de Medição (CCM). A infraestrutura deste nível teria limites de abrangência impostos pelo preço elevado de seus equipamentos de rede, no entanto, permitiria o compartilhamento eficiente desta energia em uma ampla área administrável.

O último nível de desenvolvimento permitiria a completa integração das amplas áreas ou diversas (AMM), dentro das REI. A administração operacional da inclusão das fontes centralizadas juntamente com a pequena contribuição da geração distribuída é considerada a primeira diferença do nível anterior. Implicaria flexibilidade ao transportar menos energia por longas distâncias, direcionando a entrega da energia aos centros de carga de forma mais confiável.

Em síntese, o desafio será transportar e transformar os dados massivos de medições avançadas em informação útil tanto para distribuidora quanto para os consumidores.



4.3.2. Tecnologia de comunicação

O serviço de comunicação tradicional está evoluindo gradualmente em direção à internet de banda larga. Segundo Gellings (2009), o primeiro passo que se dará no uso das telecomunicações dentro do próprio setor elétrico será naquelas aplicações esperadas como telemetria, cortes e religações remotas, monitoramento da rede e gestão eficiente do consumo.

Para criar uma REI dinâmica serão necessárias tecnologias de comunicação de alta velocidade, totalmente integradas, com vias bidirecionais para as trocas de informações em tempo real. Isto com uma arquitetura aberta, na forma de um ambiente *plug-and-play*, segura para componentes, clientes e operadores, permitindo-lhes falar, ouvir e interagir. Muitas das tecnologias necessárias estão disponíveis hoje, enquanto outras estão em vários estágios de desenvolvimento e espera-se que irão contribuir para a modernização da rede até o final desta década (DOE, 2012c).

Zou e Qin (2010) mostram que nos EUA já existe um protótipo em escala nacional de uma rede de dados de 100 Gbps por segundo entre os centros de todo o país, que visa beneficiar o setor de telecomunicações comerciais. A nova rede é um avanço à rede Internet 2, que é o desenvolvimento liderado por mais de 200 universidades para a próxima geração de um *backbone* de alta velocidade com o protocolo IPv6, que estende o esquema de endereços IP a 6 octetos, que é desejável para os serviços da REI.

Com a implementação do *Multi-Gigabit Switch Ethernet* e o desenvolvimento de tecnologias *Multiprotocol Label Switching* (MPLS) e opto-eletrônicos, a ethernet de fibra óptica está se tornando uma forma de interligação de baixo custo para serviço público. Atualmente, esta tecnologia está disponível e deverá se tornar um dos principais meios comunicação no futuro para redes de área ampla e de alcance global.

As tecnologias de comunicações celulares 3G e 4G trazem uma nova opção para o acesso sem fio para a próxima geração de tecnologia de comunicação para serviços de energia elétrica, que podem ser usadas na camada local da rede de distribuição inteligente, interligando os medidores inteligentes e os IED. São caracterizadas por uma comunicação bidirecional, com implementações flexível e conveniente, satisfatória largura de banda e alta taxa de transmissão de dados. Outra tecnologia de comunicação sem fio emergente é o ZigBee, que usa um sistema de rádio *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) e mostra-se promissora para o uso em redes domésticas, onde fará a conexão entre os eletrodomésticos inteligentes e o veículo elétrico com o medidor inteligente.



A Tabela 16, a seguir, relaciona os diferentes níveis de rede com seus possíveis equipamentos, sistemas e tecnologias de comunicação disponíveis.

Tabela 16 – Relações entre os diferentes níveis de rede, equipamentos e tecnologias de comunicação

Rede	Equipamento e sistemas	Tecnologias de comunicação
Global	Clientes, Reguladores, Associações, etc.	Protocolos de internet
Corporativa	Sistemas MDM, OMS, EMS, etc.	IEC61970, IEC61968, web services
WAN – Ampla	Roteadores e Repetidores	SONET, MPLS, Satélite, Microondas, IEC61850, DNP3
LAN – Local	Medidores inteligentes, Relés, IEDs	WiMAX, PLC, Mesh, ADSL, celular, cabo
HAN – Doméstica	Veículo Elétrico, eletrodomésticos inteligentes	ZigBee, WiFi, LonWorks, BACNet

Fonte: Adaptado de (IEA, 2011a).

De acordo com o Nist (2010), o desafio é conciliar os diferentes padrões de comunicação para se atingir a interoperabilidade.

É fundamental que a rede de comunicações implantada para medição inteligente seja capaz também de acrescentar outras aplicações de REI, que serão desenvolvidas nos próximos 10 a 15 anos.

Os requisitos essenciais de comunicação para o pleno desenvolvimento das Redes Elétricas Inteligentes podem ser listados como (SILVER SPRING NETWORK AXIOM, 2009):

- **Bidirecionalidade** - a rede deverá prover comunicação em duas vias em todos os seus nós;
- **Largura de banda** - a rede deve oferecer capacidade de transmissão de dados suficiente para suportar as aplicações. O ideal é ter uma largura de banda cinco a dez vezes a que é necessária para a medição inteligente. Por exemplo, para fazer uma leitura com 15 minutos de intervalo, quatro vezes ao dia, a rede necessita de uma largura de banda de aproximadamente 12 kbps, Considerando-se uma rede com uma largura de banda total de 100 kbps, há a possibilidade de utilização da capacidade de transmissão de 88 kbps para outras aplicações de REI;
- **Escalabilidade** - a rede deve ser capaz de acomodar milhares de equipamentos na rede de energia sem a redução de seu desempenho. A largura de banda deverá ser expansível para várias centenas de kbps se necessário no futuro, sem haver a necessidade de eventuais trocas de cartões de comunicação nos medidores ou nos equipamentos de rede elétrica;



- **Latência** - a rede deve ser rápida (baixa latência), capaz de responder em tempos inferiores a dez segundos para leitura de um medidor, ida e volta, ou seja, da Concessionária ao medidor e retornar à Concessionária, e em menos de dois segundos para o comando dos equipamentos de rede de energia (por exemplo, religadores e chaves). Isto permitirá aos operadores de serviços (*call center*, por exemplo) de lerem o medidor quando um cliente ligar, permitindo assim dar informações imediatas e *online*. Numa rede assim constituída seria possível ler um milhão de medidores em menos de uma hora;
- **Bases abertas** - as tecnologias da rede devem ser baseadas em padrões abertos para facilitar a interoperabilidade e fornecer escolhas a um baixo custo. Padrões como o “*Internet Protocol*” (IP) e os padrões IEEE para redes de computadores são exemplos usuais neste caso;
- **Tolerância a falhas** - a rede deve continuar a funcionar mesmo com uma falha de energia elétrica e deve permitir detectar e identificar rapidamente os pontos de ocorrências/interrupção;
- **Confiabilidade** - a rede tem de ser altamente confiável, permitindo acesso a, pelo menos, 99,99% dos equipamentos da rede elétrica a qualquer momento;
- **Segurança** - a rede tem de ser totalmente segura com múltiplas camadas de comprovados padrões de segurança para o volume de dados trafegado;
- **Custo justo** - a rede deve ter um custo que justifique a sua implementação e operação – não pode ser mais cara que uma rede para só fazer medição;
- **Atualização** - a rede deve permitir a instalação de eventuais atualizações de versões de *firmware* – em milhões de cartões de rede, medidores, etc. efetivando-se em apenas algumas horas, permitindo, assim a implementação dos “*upgrades*” e correções de forma remota, sem a necessidade de locomoções até ao local onde está o equipamento;
- **Gerenciamento** - deve existir um sistema de gerenciamento de rede que permita à Concessionária gerir a implantação e a operação de milhões de nós com uma equipe de pessoal reduzida.

As redes de comunicação podem ser próprias ou terceirizadas. A primeira opção requer investimento em infraestrutura, gestão própria conferindo segurança, confiabilidade e desempenho. Na segunda opção, o investimento em infraestrutura é baixo, o uso é imediato, mediante pagamento mensal, e a segurança e confiabilidade dependem do fornecimento de terceiros.



As tecnologias de comunicação dividem-se naquelas de banda estreita e de banda larga. As bandas estreita e larga podem ser livres ou licenciadas. Neste último caso, é necessária a permissão de uso por órgãos reguladores. O meio de transmissão pode ser cabado (fibra óptica, cabo coaxial e cabos metálicos) ou sem fio (rede de celulares, radiofrequência, satélite).

Comunicação via fibra óptica

A tecnologia de comunicação em fibra óptica permite que a informação seja enviada usando pulsos de luz através de uma fibra fina e transparente de vidro ou de plástico. Demonstra ser mais eficiente, em termos de distância e largura de banda, se comparada aos tradicionais pares de fios de cobre usados nos sistemas de comunicação.

Os elementos básicos de um sistema de comunicação por fibra óptica são: transmissor óptico (fonte de luz e circuito de modulação associado), cabo de fibras ópticas, receptor óptico (fotodetector), juntas e conectores ópticos (as juntas promovem uniões permanentes e os conectores temporários ou semipermanentes), acopladores ou divisores ópticos, multiplexadores /demultiplexadores ópticos e amplificadores ópticos.

A comunicação via cabo óptico apresenta vantagens como:

- **Grande largura de banda** – a gama de frequências da portadora óptica é de 10¹³ a 10¹⁶ Hz que resulta um maior potencial de largura de banda, excedendo, em várias ordens de grandeza, as de condutores metálicos e até mesmo as de ondas de rádio;
- **Baixa atenuação** – apresentam pequena atenuação (baixas perdas) quando comparadas com meios de transmissão convencionais (cabos metálicos, micro ondas e radiofrequência), o que permite cobrir longas distâncias de transmissão (da ordem das centenas de km) sem uma elevada quantidade de repetidores e amplificadores, reduzindo-se, assim, o custo e a complexidade do sistema;
- **Tamanho e peso reduzidos** – as dimensões são da ordem de um cabelo humano, com algumas centenas de micrômetros, sendo uma vantagem considerável sobre os cabos metálicos;
- **Imunidade a interferências eletromagnéticas** – por serem compostas de material dielétrico, é imune ruídos de outros sinais, conhecidos como “crosstalk”, às descargas elétricas, e aos ruídos decorrentes de acionamentos de interruptores e motores;



- **Segurança na transmissão** – existe um excelente confinamento do sinal luminoso propagado pelas fibras ópticas, não irradiando externamente; as fibras ópticas agrupadas em cabos ópticos não interferem opticamente umas nas outras, sem o corrompimento de dados, sendo de fácil detecção qualquer tentativa de captação de mensagens ao longo de uma fibra óptica;
- **Isolamento elétrico** – por serem constituídas por vidro que é um material isolante elétrico, não é necessário cuidado com malhas de terra ou com curtos-circuitos;
- **Fiabilidade e facilidade de manutenção** – resulta de sua baixa atenuação, o que implica na menor quantidade de repetidores ou amplificadores ao longo do sistema (maior fiabilidade), com tempos de vida médios de 20 a 30 anos;
- **Matéria prima abundante** – a principal matéria prima é a sílica que é extraída de areia comum, material abundante e de baixo custo comercial.

A robustez mecânica da fibra; processo difícil e oneroso de junção das fibras; a falta de padronização dos componentes ópticos e a adaptação complexa a sistemas de múltiplo acesso são algumas desvantagens apontadas para a utilização de fibras ópticas. O processo de fabricação das fibras ópticas é complexo e oneroso, assim como o custo dos componentes ativos é elevado. Isto torna os sistemas por fibras ópticas competitivos apenas em aplicações específicas.

As fibras ópticas são aplicadas nos diferentes tipos existentes de rede de comunicação: nas redes de longa distância (WAN), que envolvem distâncias acima de 100 km, interligando grandes centros populacionais, com uso em larga escala; nas redes metropolitanas (MAN), confinadas a um único centro populacional, com distâncias típicas de aproximadamente 10 km; nas redes de área local (LAN), as quais, em geral, são redes privadas; redes de distribuição e de acesso, para distâncias relativamente curtas, usadas por companhias telefônicas; e nas redes de medição inteligente. Nas redes domésticas (HAN), o uso de fibra óptica ainda é considerado oneroso, tornando-se menos rentável para o uso residencial. Esta realidade, no entanto, está mudando em especial nos mercados asiáticos.

Comunicação via rede elétrica (PLC)

A Anatel e a Aneel adotaram, por meio das respectivas Resoluções N°527/2009, de 08 de abril de 2009 e n° 375/2009, de 25 de agosto de 2009, regras que disciplinam as condições de compartilhamento da infraestrutura das distribuidoras para utilização da rede elétrica para transmissão de dados, voz e imagem e acesso à Internet em alta velocidade sob a denominação de sistemas *Broadband over Power Lines* (BPL), segundo a ANATEL ou *Power Line Communications* (PLC),



segundo a ANEEL. Neste relatório, o termo PLC é adotado no entendimento de que ambos têm o mesmo significado.

A regulamentação dos sistemas de banda larga via rede elétrica de média e baixa tensão contribuirá para a implantação de Redes Elétricas Inteligentes, visto que representará um marco para a evolução da automação dos sistemas elétricos de média e baixa tensão, tanto em termos quantitativos, devido ao maior alcance proporcionado pela capilaridade da rede elétrica, como qualitativos provenientes de novas funcionalidades advindos das REI.

A comunicação via PLC é uma tecnologia que utiliza a estrutura da rede elétrica de distribuição, tipicamente redes de média e baixa tensão, como meio de transporte para a transmissão de dados em alta velocidade (ANDRADE, 2010).

No Brasil, a energia elétrica é transmitida da frequência de 60 Hz, enquanto que a transmissão de dados via rede segundo a resolução nº 527, Anatel, deve ocorrer na faixa de frequência compreendida entre 1,705 MHz a 50 MHz. Logo, ambos os sinais de eletricidade e de dados, distintos, podem trafegar simultaneamente no mesmo meio sem interferências mútuas. Em caso de interrupção de energia, o sinal de dados pode trafegar sem que as transmissões deste tipo sejam interrompidas.

A rede PLC é dividida em três níveis: rede de transporte, rede de distribuição e rede de acesso. A rede de transporte compreende o operador de telecomunicações, onde é localizada a infraestrutura de backbone entre as redes PLC e a internet.

Para utilização da tecnologia PLC em redes de comunicações, são necessários os seguintes equipamentos (ANDRADE, 2010): modem PLC, concentrador, repetidor, equipamento de subestação e unidades de acoplamento.

A Figura 26 ilustra um exemplo de comunicação por meio de uma rede BPL/PLC (IOST, 2010).

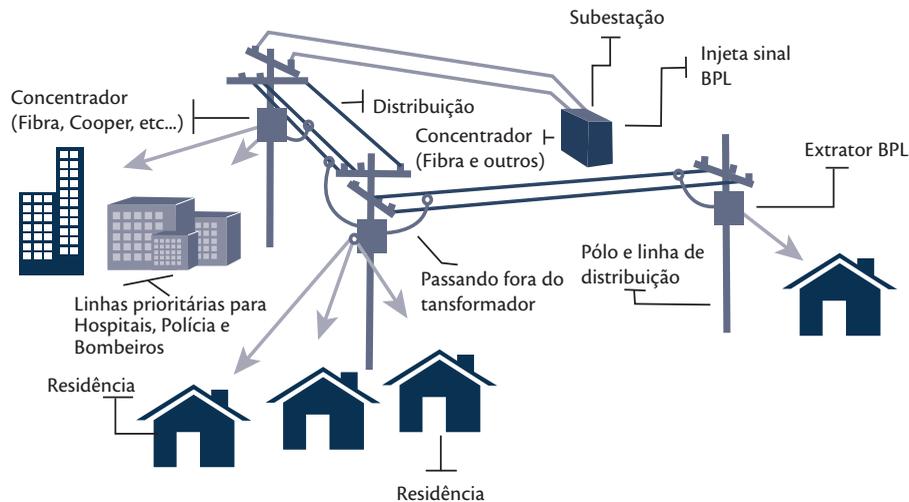


Figura 26 – Exemplo de rede de comunicação baseada em BPL/PLC

Fonte: Adaptado de (IOST, 2010).

Na disposição da rede PLC (Fig.26), o sinal gerado pela provedora de serviço é injetado na infraestrutura de transmissão da rede elétrica através dos equipamentos de subestação e unidades de acoplamento. O sinal é difundido na rede de distribuição através dos equipamentos concentradores e repetidores instalados nos postes junto aos transformadores. Nesta etapa, é realizado um *by-pass* do sinal, com o intuito de restringir a ação de filtragem de altas frequências nestes transformadores. Os equipamentos concentradores e as unidades de acoplamento compatibilizam o sinal transmitido para a respectiva recepção nas tomadas em que estão ligados os modems PLC para uso final das informações.

Existem duas aplicações de PLC, a interior (*indoor*) e a exterior (*outdoor*). Na primeira aplicação, a transmissão de dados, em poucos kbps, é realizada através da instalação elétrica interna do cliente, seja ele residencial (casa, apartamento, escola), comercial, ou industrial, podendo, em tese, chegar a todas as tomadas, permitindo acesso a serviços como: internet em alta velocidade, automação residencial, recepção de canais interativos de televisão, e proporcionando a inclusão digital nas escolas. Na segunda aplicação, a transmissão de dados é realizada, em Mbps, por meio da rede de média e baixa tensão da concessionária de energia elétrica para a supervisão e o controle da rede elétrica dentro do conceito de REL.



Uma vantagem considerável desta tecnologia de comunicação é a redução de custos com a implantação do sistema, uma vez que há a utilização da infraestrutura cabeada já existente da rede elétrica. As altas taxas de transmissões relacionadas a esta proposta, estimando-se taxas de até 200 Mbps, é outro fator apontado com vantagem desta tecnologia.

A falta de tecnologia comprovada para a implantação em média tensão (13,8 kV, 34 kV); a forte atenuação do sinal transmitido nas redes capilares de distribuição; e, a base regulatória estabelecidas às concessionárias de energia impedindo-as de operarem no nicho das comunicações, são apontadas, no momento, como desvantagens para a tecnologia PLC.

É importante que a rede de comunicação seja capaz de suportar outras aplicações de REI que não somente a medição de medidores. Segundo relato da empresa Silver Springer à ANEEL, uma grande concessionária europeia investiu USD 2,2 bilhões para ligar 27 milhões de casas através de uma rede de banda estreita PLC, para fazer a medição, porém não é capaz de suportar as diversas aplicações de REI, tornando-se oneroso reparar o erro.

A tendência para a tecnologia PLC será a de aperfeiçoamento dos chipsets microcontrolados, das técnicas de processamento de sinais digitais e dos tratamentos de ruídos presentes nas redes aéreas e subterrâneas (*SMART GRID NEWS*, 2011g).

Comunicação sem fio

Entre as várias tecnologias de comunicação sem fio para aplicação em REI, tem tido maior destaque as utilizadas nas redes de celulares e nas redes mesh. Em geral, os principais padrões de tecnologias utilizados nas redes de celular são: AMPS, TDMA, CDMA, GSM, GPRS, EDGE, EVDO, WCDMA e HSPA (TELECO, 2012). Observa-se que a tecnologia *General Packet Radio Service* (GPRS) tem sido bastante utilizada para transmissões de pacotes de dados na rede celular, em médias e longas distâncias.

A ideia da utilização da tecnologia GPRS é a de prover conexão aos recursos da Internet, com elevados níveis de continuidade e disponibilidade, com longos alcances de cobertura.

Em vários sistemas da rede de distribuição de energia elétrica, a referida tecnologia celular tem sido utilizada nas implementações dos recursos de comunicação. Telemetria, telesupervisão,

telecomando, gestão de contratos, detecção de falhas e integração de sistemas corporativos das concessionárias são exemplos de aplicações que utilizam a tecnologia GPRS.

A Figura 27 ilustra uma aplicação para medição inteligente com comunicação através de uma rede celular baseada em GPRS (NANSEN, 2012).

Rede GSM/GPRS - Comunicação GPRS

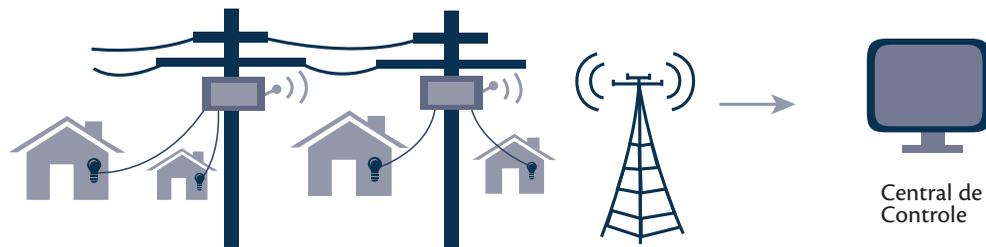


Figura 27 – Exemplo de aplicação de medição inteligente baseada em GPRS.

Fonte: Adaptado de (NANSEN, 2012).

No subsistema remoto está o conjunto de medidores digitais, providos de saídas seriais e implementações do protocolo NBR 14522, que forma o parque de medição inteligente da concessionária. Há interfaces de comunicação necessárias para a conexão dos medidores ao subsistema central. Em pontos estratégicos há centralizadores GPRS dispostos que recebem, via radiofrequência e de forma programada, os dados de medição. Posteriormente, os pontos concentradores transmitem, via GPRS, todos os dados medidos em campo para a unidade central de controle para os eventuais processamentos das informações.

O GPRS, teoricamente, pode oferecer uma taxa de transferência de dados de 171,2 kbps, contudo, as taxas praticadas comercialmente têm sido entre 40 kbps e 80 kbps. Nesta tecnologia celular, há a utilização de múltiplos *slots* com comutação de pacotes, assim como a utilização dos protocolos X.25 e *Internet Protocol* (IP).

Mesmo o GPRS tendo sido bastante utilizado nos sistemas de distribuição de energia elétrica, ultimamente, várias concessionárias no Brasil e no mundo têm mostrado descontentamento com



o uso dos serviços de redes de celular associados. Isto devido à prioridade, dada pelas operadoras, na transmissão de voz em detrimento a de dados.

Por tratar-se de um serviço terceirizado, uma vez que é requerida licença de uso do espectro de frequência pelas operadoras, as concessionárias de energia elétrica não se sentem confortáveis quanto ao aspecto de segurança e de disponibilidade do serviço ofertados pelas operadoras.

Uma tecnologia de comunicação que vem ganhando adesão de mercado para aplicação em RIs é a rede sem fio do tipo *mesh*, conhecida também como rede RF *mesh*.

Uma rede sem fio organizada em topologia *mesh* é caracterizada por infraestrutura composta por vários pontos de acessos, também denominados de nós, espaçados entre si, e que se comunicam bidirecionalmente entre si, através de radiotransmissores com reserva de bateria, formando uma malha de comunicação integrada para cobertura de médias e extensas regiões.

A rede RF *mesh* é confiável e oferece redundância. Quando um nó não pode operar, os nós adjacentes interconectam-se de forma a identificarem o nó inativo e assumirem a respectiva abrangência afetada. A comunicação entre os nós ativos restantes não fica comprometida, sendo realizada por nós intermediários. Desta forma, garante-se confiabilidade, redundância, rapidez de conectividade e robustez à rede, além de possuir boa relação custo-benefício.

Considerando-se o cenário de REI, as redes sem fio *mesh* podem ser aplicadas à infraestrutura de medição inteligente. A Figura 28 ilustra um exemplo de infraestrutura de medição inteligente baseada em rede RF *mesh* para conectar os medidores inteligentes, os pontos de coleta de dados e o centro de processamento das informações (LANDIS+GYR, 2012).

Há utilizações de rede RF *Mesh* em espectros licenciados, que compreende a faixa de 700 – 960 MHz, e em não licenciados, que compreende as faixas de 900 MHz ISM, 902-928 MHz e 2,4 – 5 GHz. A maioria dos fabricantes de soluções para REIs utilizam radiotransmissores dentro da faixa de 900 MHz, com restrições de potencia máxima de transmissão para dispositivos não licenciados e o uso de tecnologias de espectro disseminado (SILVER SPRING NETWORKS, 2011).

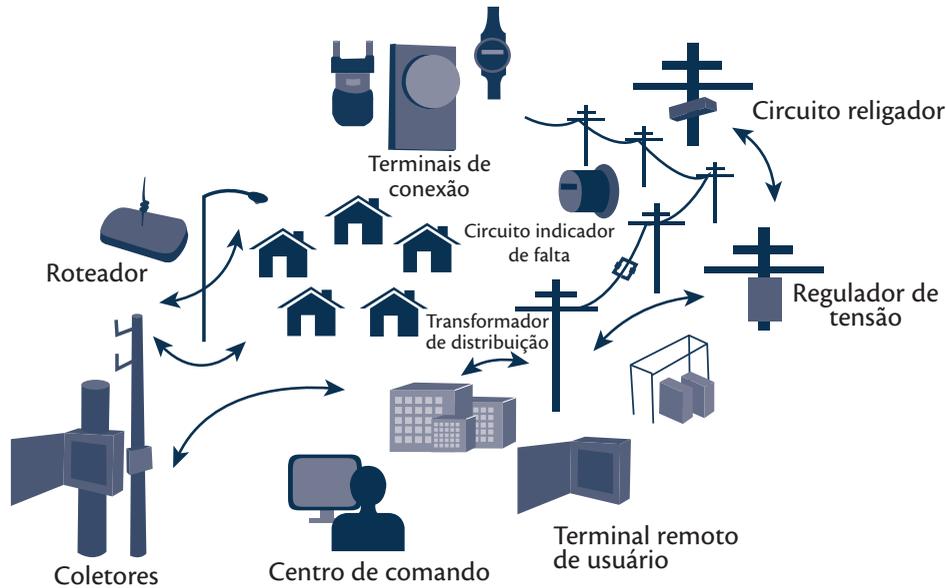


Figura 28 – Exemplo de infraestrutura de medição inteligente baseada em rede RF *mesh*.

Fonte: Adaptado de (LANDIS+GYR, 2012).

Os padrões IEEE 802.11 e 802.15.4, popularmente conhecidos como WiFi e ZigBee, respectivamente, são comumente utilizados nas transmissões em radiofrequência utilizados neste tipo de rede em malha. Em aplicações de infraestrutura de medição inteligente, costuma-se utilizar o padrão ZigBee para interconectar os equipamentos medidores aos pontos coletores e o Wi-Fi para interconectar os pontos coletores aos centros de comando e gerenciamento.

Em uma rede RF *Mesh*, apenas um nó precisa ser fisicamente ligado a uma conexão de rede. Esse nó sem fio compartilha a respectiva conexão de Internet com todos os outros nós na sua proximidade, criando uma espécie de “malha de conectividade sem fio” que pode servir a um edifício, um campus de universidade ou uma cidade. A Figura 29 ilustra a malha de compartilhamento de informações na rede RF Mesh (LANDIS+GYR, 2012).

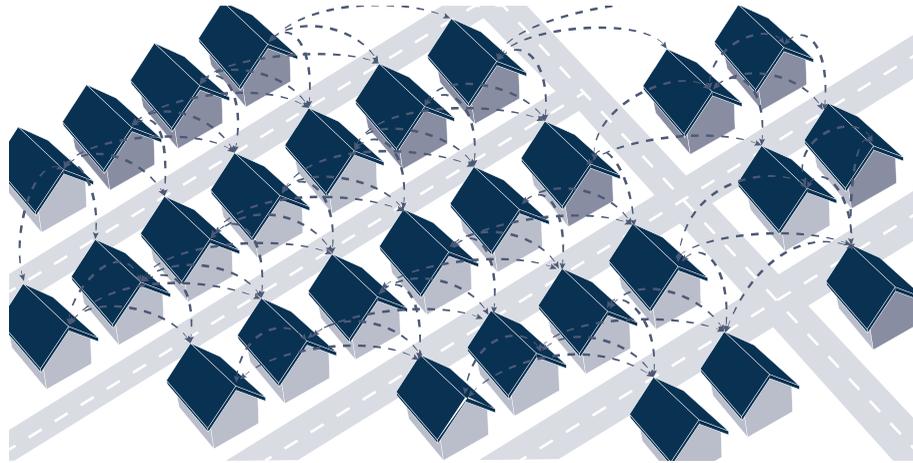


Figura 29 – Exemplo de interação entre os nós em uma rede RF *mesh*.

Fonte: Adaptado de (LANDIS+GYR, 2012z).

As vantagens da rede RF *Mesh* incluem:

- Menor uso de cabeamento, representando menores custos de implantação da rede, especialmente para grandes áreas de cobertura;
- Rapidez de conectividade dependendo da granularidade dos pontos de acesso, isto é, quanto maior o número de nós instalados, mais rápida se torna a conectividade na rede sem fios;
- Robustez, auto configurabilidade e auto registro mediante inclusões ou exclusões de nós da rede, sem a necessidade de adaptações à estrutura existente por um administrador de rede;
- Roteamento dinâmico com possibilidade de recomposição *self-healing*, através de algoritmos para localização de caminhos ativos e confiáveis para envio dos dados, mesmo com a existência de nós inativos;
- Cobertura de médias e longas distâncias, com possibilidade de aplicação em terrenos com dificuldades de deformidades e de transposição de obstáculos fixos;
- Possibilidade de programação *over-to-air*, para atualizações dos *firmwares*, oferta de serviços e desativação dos nós de forma remota, reduzindo-se despesas de manutenção e estruturas adicionais;



- Segurança na rede, mediante implementações de autenticações, estratégias de criptografia e detecção de violação dos nós;
- Fácil instalação e configuração dos nós que compõem a rede em malha;
- Multifuncionalidade da rede, com possibilidade da rede integrar os nós relacionados aos serviços de água, gás e eletricidade;
- Integração com equipamentos inteligentes das redes domésticas.

Um resumo sobre as principais características das tecnologias de comunicação para sistemas de inteligente é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Características das tecnologias de comunicação usadas em infraestruturas de medição inteligente.

Tecnologia	Taxa de transmissão	Alcance aproximado	Características gerais
Fibra Ótica (FO)	até 10 Gbps (monomodo)	100 km	<ul style="list-style-type: none">• Transmissão guiada luminosa;• Sem interferências;• Baixa taxa de atenuação.
Broadband over Power Line (BPL) ou Power Line Communications (PLC)	até 200 Mbps (faixa larga) 500 kbps (faixa estreita)	Ao longo da extensão da rede elétrica	<ul style="list-style-type: none">• Transmissão através da rede elétrica;• Baseado em OFDM;• Sofre diversas interferências eletromagnéticas;• Aplicado em redes AMI e HAN.
General Packet Radio Service (GPRS)	115 kbps	10 – 50 km	Monitoramento remoto para distribuição.
IEEE 802.11 (Wi-Fi)	1 – 600 Mbps	0,3 – 5 km	<ul style="list-style-type: none">• Escalabilidade e tolerante a falhas;• Aplicação de métodos de criptografia dos dados;• Aplicado em redes LAN e HAN.
World Interoperability for Microwave Access (WiMAX)	75 Mbps	50 km	<ul style="list-style-type: none">• Aplicação de métodos de criptografia dos dados;• Aplicado em redes HAN;
IEEE 802.15.4 (ZigBee)	20, 40 e 250 kbps	10 – 100 m	<ul style="list-style-type: none">• Aplicado em redes HAN;• Controle de cargas domésticas.
Bluetooth	1, 3 e 24 Mbps	1, 10 e 100 m	<ul style="list-style-type: none">• Aplicado em redes HAN;• Controle de cargas domésticas;• Aplicação em monitoramento <i>online</i> de aplicações.



Protocolos de comunicação

Mediante a complexidade, as trocas de informações e o suporte aos variados subsistemas que compõem uma Rede Elétrica Inteligente, o conceito de interoperabilidade é relevante para este tipo de inovação na rede elétrica.

Para a plenitude das REI, é importante que os equipamentos e sistemas das empresas fabricantes, concessionárias e provedoras de serviços possam operar trocando informações entre si, sem intervenções consideráveis dos usuários, de forma transparente aos domínios relacionados. Padronizar as arquiteturas, os modelos de dados e os protocolos são ações para o provimento de REI interoperáveis, confiáveis, flexíveis e seguras.

Uma medida para proporcionar esta conformidade de funcionamento é a adoção de padrões e protocolos de comunicação em comum. Trata-se de um propósito de interesse mútuo, onde vários órgãos, centros de pesquisa e empresas nacionais e internacionais tem buscado unir esforços e compartilhar conhecimentos tecnológicos na busca do desenvolvimento de um padrão de código aberto, robusto e seguro, garantindo a interoperabilidade nas REI.

O *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), a *International Electrotechnical Commission* (IEC), a *International Engineering Task Force* (IETF), o *National Institute of Standards and Technology* (Nist), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o Centro de Estudos e Sistemas Avançados de Recife (C.E.S.A.R), são algumas das entidades que tem consideráveis portfólios de ações para viabilizar o desenvolvimento de modelos, padrões e protocolos abertos para utilização nas REI nacionais e internacionais.

Em IEEE-SA (2012), constam 69 grupos de trabalho, 24 projetos e 121 padrões ativos relacionados ao tema *Smart Grid*. Recentemente, o padrão 2030-2011 *IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System* (EPS), and *End-Use Applications and Loads* foi aprovado e tem sido divulgado em eventos relevantes da área.

Em IEC (2012), constam 296 padrões relacionados à *Smart Grid*. São padrões que tratam de: trocas de dados para leitura de medidor, tarifa e controle de carga; segurança; gerenciamento da distribuição; arquitetura orientada a serviço. O padrão IEC 61850, que trata da automação de subestações, é um dos mais divulgados e amplamente utilizados pelos fabricantes de equipamentos para subestações.



Em IETF (2012), quatro grupos de trabalho desenvolvem contribuições relacionadas à *Smart Grid* e à rede de sensores em geral. São eles: i) *IPv6 over Low power WPAN (6lowpan)*; ii) *Energy Management (eman)*; iii) *Constrained RESTful Environments (core)*; e, iv) *Routing Over Low power and Lossy networks (roll)*.

Após esforços conjuntos de representantes renomados do setor de energia elétrica interessados no desenvolvimento das REI, o Nist propôs um modelo conceitual sobre *Smart Grid*, o *Nist Smart Grid Framework*, por meio de duas versões do documento *Report to Nist on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap*. Com este relatório, planeja-se a adoção do modelo e das diretivas Nist pelos órgãos reguladores, laboratórios, fornecedores e centros acadêmicos, para a identificação de padrões industriais, para eventuais certificações de programas de REI e para o desenvolvimento de novas tecnologias baseado nos métodos de medição divulgados no trabalho (NIST, 2012).

A ABNT tem estabelecido grupos de trabalho e comitês técnicos para direcionar as pesquisas e as elaborações das normas relacionadas à aplicação de equipamentos e sistemas nas REI nacionais. Neste contexto, o comitê técnico denominado Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) tem revisado normas referentes aos medidores eletrônicos para medição de energia elétrica: a ABNT NBR 14519:2011 Medidores eletrônicos de energia elétrica — Especificação e Método de ensaio; a ABNT NBR 14521:2011 - aceitação de lotes de medidores eletrônicos de energia elétrica - procedimento; e a ABNT NBR 14522:2008 Intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica (ABNT, 2012z).

Representando uma iniciativa dos principais fabricantes de medidores de energia elétrica do país e contando com o apoio de várias concessionárias, o centro privado de inovação C.E.S.A.R. tem desenvolvido uma proposta de protocolo de comunicação aberto.

Trata-se do Sistema Brasileiro de Multimedição Avançada (Sibma), que representa um protocolo de comunicação aberto e padronizado que permitirá a integração de medidores inteligentes às centrais de telemedição das distribuidoras de energia. É citado pelo centro que o Sibma será uma adaptação da arquitetura e tecnologias da web para o contexto de ambientes com maiores limitações de recursos computacionais e de comunicação (SMART GRID NEWS, 2011d).



4.4. Veículo elétrico

A grande expectativa com a utilização dos veículos elétricos (VE) é a diminuição da poluição causada pela queima de combustíveis fósseis nos motores de combustão interna utilizados na maioria dos meios de transporte. Entretanto, isso somente será verdade caso a energia elétrica consumida por ele seja originada a partir de fontes renováveis. Portanto, partindo desse princípio, o VE seria apenas mais uma carga em um “sistema de energia limpo”.

No contexto da REI, o VE assume novas funções: de armazenador e de possível fonte de energia para o sistema (ITAIPU, 2012).

Tipicamente, os veículos pessoais ficam estacionados em torno de 20 h/dia, por isso eles poderiam vir a ser um fator de equilíbrio para o sistema elétrico. Nos momentos em que a produção de energia estivesse superior à demanda (tarifas mais baratas de energia elétrica), os VEs entrariam no modo de carga. Nos intervalos de alta demanda, eles poderiam fornecer energia para o sistema (tarifas de energia mais caras). Caso as cargas e descargas não funcionem de modo inteligente, o VE pode vir a ser mais uma fonte de problema para os operadores e planejadores do sistema elétrico, por exemplo, picos de demanda podem surgir caso um grande número de proprietários queiram recarregar seus carros ao chegar ao trabalho (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010a).

O Brasil ainda está distante da criação de um mercado para veículos elétricos, embora já possua 71 VEs emplacados (REDE INTELIGENTE, 2011b). As principais dificuldades são o preço deste veículo e como será seu vínculo à política de biocombustível (R7, 2011).

Uma solução alternativa para que a indústria automobilística do país não continue defasada tecnologicamente, é o uso dos Veículos Híbridos (VH, 127 unidades comercializadas), que funciona com eletricidade e com algum combustível convencional. Embora nos mercados desenvolvidos, o VH seja considerado apenas uma etapa até o produto final que é o veículo totalmente elétrico, esse pode ser o melhor produto para as ações iniciais no mercado brasileiro (REDE INTELIGENTE, 2011b).

Os países que já adotam algum incentivo fiscal ou redução de impostos para estimular a comercialização de VE são: Alemanha, Bélgica, Canadá, China, Coreia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, França, Irlanda, Japão, Noruega, Portugal, Reino Unido e Romênia (PIKE



RESEARCH, 2010a) e (ABVE, 2011). Os resultados na comercialização desses veículos são bem díspares e não são proporcionais ao valor do incentivo disponível. Os melhores resultados ocorrem nos países em que o governo faz campanha e possuem maior infraestrutura para o novo veículo (G1, 2011b).

Outros importantes aspectos relativos ao VE, além do preço que hoje no Brasil é proibitivo, são a infraestrutura para estações de carregamento e a questão da tecnologia das baterias utilizadas nesses veículos, pois essas determinam a autonomia do VE. Nesse sentido, uma série de estudo vem sendo desenvolvida com diferentes alternativas.

Os EUA vêm investindo cada vez mais em estações de carregamento distribuídas por várias cidades do país, entre estações comerciais e residenciais, por meio de doações e empréstimos a empresas pela Recovery Act (ENS, 2011).

A Alemanha vem desenvolvendo estações de carregamento rápidas e lentas dependendo da disponibilidade de tempo do veículo para dar maior comodidade ao condutor (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010a). Os postos automatizados para a troca de bateria, em funcionamento na Dinamarca, são outro exemplo de solução desenvolvida (G1, 2011a).

4.5. Desafios

Com o intuito de modernização das redes elétricas mundiais, as Redes Elétricas Inteligentes são propostas como solução de implementação que proporcionará melhorias no funcionamento, além de novas tecnologias e serviços.

De fato, por meio do modelo de REI vislumbram-se consideráveis otimizações e benefícios para o setor elétrico. Entretanto, é importante salientar que estes benefícios poderão ser plenamente usufruídos mediante às ações e respostas para superar as dificuldades e os desafios intrínsecos ao desenvolvimento, implantação e operação das REI.

A seguir são listados alguns dos principais desafios para aplicação das REI:



- Desenvolver um modelo para o mercado que o torna viável;
- Estabelecer padrões de interoperabilidade e de segurança de equipamentos e sistemas;
- Desenvolvimento de novos equipamentos elétricos, sistemas de comunicação e aplicações de *software* para suporte às funcionalidades requeridas;
- Promover a segurança (*cyber-security*), por meio de políticas e mecanismos de proteção e de controle da privacidade dos dados de consumo trafegados na rede;
- Ganhar experiência com projetos de tecnologia de informações e comunicação em larga escala;
- Obter velocidade de desenvolvimento de tecnologias;
- Estabelecer políticas e regulamentação;
- Promover , de forma prioritária, a interação e o envolvimento dos consumidores, com o objetivo de construir consciência e consenso sobre a importância da REI;
- Promover uma política de CT&I de forma a gerar tecnologias nacionais, infraestrutura de pesquisa e disponibilidade de profissionais qualificados nos diversos níveis e temas;
- Promover uma política industrial que garanta a sustentabilidade da cadeia produtiva;
- Ter um comitê de acompanhamento que faça um planejamento dinâmico (incorporando as experiências de cada projeto novo adotado no país e as experiências internacionais).

A regulamentação e a expectativa de custos é um fator crucial para o desenvolvimento e o planejamento da REI no Brasil. Desta forma, os tópicos seguintes focam nestes dois fatores.

4.5.1. Regulamentação

Em 25 de agosto de 2009 foi lançada a Resolução 375/2009 pela ANEEL, que regulamenta a internet através da rede elétrica, viabilizando a utilização dessa forma de transmissão de informações para o uso de Redes Elétricas Inteligentes. No mesmo ano ocorre a consulta pública nº 15/2009 - Coleta de Subsídios para Formulação de Regulamento acerca de Implantação de Medidores Eletrônicos em Unidades Consumidoras de Baixa Tensão. Esta consulta deu início às discussões sobre o que o medidor inteligente instalado junto aos consumidores residenciais e comerciais forneceria de informações, quais recursos de telecomunicações seriam adotados, assim como sobre a sua vida útil.



Em 2010, a ANEEL estabeleceu a Audiência Pública nº 043/2010 que trata dos requisitos mínimos dos sistemas de medição de energia elétrica instalados em unidades consumidoras do Grupo B classificadas no subgrupo B1 Residencial, não enquadradas como baixa renda, e no subgrupo B3. Até o primeiro semestre de 2012, os estudos e as definições sobre as contribuições recebidas, resultando no estabelecimento da resolução normativa relacionada, ainda não foram finalizados. Acredita-se que, mediante esta regulamentação, os projetos de REI nacionais evoluirão em larga escala.

No final de 2010, outra consulta pública foi realizada e, desta vez, com o objetivo de tornar mais fácil o acesso das pequenas usinas ao sistema de distribuição, valorizando a energia injetada nos horários de ponta.

A ANEEL também emitiu, por meio da Nota Técnica 44/2010, uma proposta para que o Plano de Substituição de Medidores (PSM) eletromecânicos por eletrônicos seja realizado em duas etapas, propondo prazo de 18 meses a partir da publicação da resolução normativa, para que as distribuidoras passem a utilizar o novo sistema de medição em novas ligações ou em substituição de medidores.

Em 26 de janeiro de 2011, aconteceu a audiência pública nº 43/2010, que teve como principal papel definir as funções mínimas do medidor e discutir o plano nacional de substituição dos medidores. De acordo com dados divulgados pela ANEEL (ANEEL, 2012b), o número de medidores de energia elétrica a serem substituídos é de 69,34 milhões.

Entre as diversas discussões, alguns requisitos mínimos foram definidos, tais como:

- Medição da tensão, energia ativa e energia reativa instantâneas;
- Registro de frequência e duração das interrupções, bem como dos indicadores de nível de tensão (DRP, DRC);
- Capacidade de aplicação de quatro postos tarifários;
- Corte, religamento, parametrização e leitura realizados remotamente;
- Protocolo de comunicação aberto.



Da última revisão da estrutura tarifária (Audiência Pública no 120/2010), surgiu a proposta da introdução de tarifas diferenciadas por horário de consumo para os consumidores de baixa tensão. A proposta é que os consumidores de baixa tensão possam ser atendidos pela “Tarifa Branca”, composta de três postos tarifários: ponta (período de três horas consecutivas de maior demanda), intermediário (uma hora antes e uma hora depois do período de ponta) e fora de ponta (os demais horários).

Semelhante à tarifa horária *Time Of Use* (TOU) seu principal objetivo, além de proporcionar a redução de consumo nos horários de maior demanda pela mudança de comportamento, é o preparar o mercado brasileiro de energia enquanto outras atividades de regulamentação estão ocorrendo e sendo adequadas.

A Aneel aprovou em 22 de novembro de 2011 a alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia. O novo regulamento prevê a aplicação de tarifas diferenciadas por horário de consumo, oferecendo tarifas mais baratas nos períodos em que o sistema é menos utilizado pelos consumidores, a chamada Tarifa Branca.

Em junho de 2012, a ANEEL estabeleceu a Audiência Pública nº 048/2012, com o objetivo de obter subsídios e informações adicionais para a regulamentação das modalidades de pré-pagamento e pós-pagamento eletrônico de energia elétrica. O período para recebimento de contribuições é de 06/2012 a 09/2012.

4.5.2. Custos e benefícios identificados no Brasil

Com a implantação de um projeto de Redes Elétricas Inteligentes, espera-se que sejam identificados os benefícios, os beneficiários e a precisão das estimativas.

A Tabela 18 apresenta um resumo do resultado do estudo da Abradee sobre benefícios, beneficiados, e as fontes dos benefícios que são aplicados na elaboração de projetos de REI. Conforme citado pelo estudo, este resumo não é necessariamente exaustivo (ABRADEE, 2011).



Tabela 18 – Categorias de benefícios

Categoria do Benefício	Benefício	Origem dos benefícios	Exemplos de Parâmetros para mensuração
Econômico	Redução nos custos de eletricidade	<ul style="list-style-type: none"> Melhoria no fator de carga (redução de pico de demanda) Tarifas diferenciadas, dinâmicas e redução de preços da eletricidade Redução de consumo de energia 	<ul style="list-style-type: none"> Perfil de demanda horária Custo mensal da eletricidade Descrição da estrutura tarifária Informações que impactam a demanda (densidade demográfica, temperatura, área do imóvel, etc.) Dispositivos elétricos em uso (relacionar possíveis aparelhos inteligentes)
	Redução dos custos de geração em função da melhoria na utilização dos ativos	<ul style="list-style-type: none"> Melhoria no fator de carga (redução de pico de demanda) Tarifas diferenciadas, dinâmicas e redução de preços da eletricidade Redução de consumo de energia 	<ul style="list-style-type: none"> Custos de geração Investimentos postergados em geração Redução de custos com serviços ancilares.
	Redução no custo de capital da transmissão e distribuição	<ul style="list-style-type: none"> Postergação de investimentos para aumento de capacidade da transmissão e distribuição Redução de falhas nos equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> Investimentos postergados em transmissão e distribuição
	Redução nos custos de operação e manutenção da transmissão e distribuição	<ul style="list-style-type: none"> Redução nos custos de operação e manutenção Redução nos custos de leitura de medição 	<ul style="list-style-type: none"> Custos de O&M Incidência de falhas em equipamentos
	Redução nos custos de restrição na transmissão	<ul style="list-style-type: none"> Incremento na capacidade de transferência na transmissão sem necessidade de adicionar novas linhas de transmissão 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade das linhas de transmissão
	Redução de perdas técnicas na transmissão e na distribuição	<ul style="list-style-type: none"> Otimização da eficiência das redes de transmissão e de distribuição Geração próxima a carga 	<ul style="list-style-type: none"> Perdas nos sistemas de transmissão e distribuição Percentual de energia (em MWh) servidos pela geração distribuída
	Redução das perdas não-técnicas	<ul style="list-style-type: none"> Redução de irregularidades 	<ul style="list-style-type: none"> Estimativa das perdas não-técnicas em sistemas de distribuição.
Ambiental	Redução da emissão de gases de efeito estufa	<ul style="list-style-type: none"> Menor consumo de eletricidade a partir de equipamentos inteligentes Redução de perdas através da operação otimizada da transmissão e distribuição e da proximidade da geração à carga (geração distribuída) Menor emissão na geração a partir da introdução de renováveis, geração mais eficiente, postergação de geração adicional, geração combinada de calor e potência 	<ul style="list-style-type: none"> Redução da emissão de CO₂ e de SO_x, NO_x. Consumo horário por tipo de combustível Percentual de energia atendido por geração distribuída. Perdas na transmissão e distribuição. Percentual de geração através de fontes renováveis.



Categoria do Benefício	Benefício	Origem dos benefícios	Exemplos de Parâmetros para mensuração
Segurança energética	Maior segurança energética por redução do consumo de óleo	<ul style="list-style-type: none"> • Eletricidade substituindo o uso de combustíveis através da difusão dos veículos elétricos 	<ul style="list-style-type: none"> • MWh da eletricidade consumida por veículos elétricos.
	Redução dos impactos causados por falta de energia de larga escala.	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de faltas de energia de larga escala. 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de faltas de energia de larga escala
Confiabilidade e Qualidade do fornecimento	Redução nos custos de interrupção de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do número de falhas • Redução da duração de falhas • Redução de falhas extensas 	<ul style="list-style-type: none"> • DIC, FIC, DEC, FEC
		<ul style="list-style-type: none"> • Redução de falhas curtas • Redução de afundamentos e sobre-elevação de tensão • Redução de distorção harmônica 	<ul style="list-style-type: none"> • Valores limites de falhas de energia (MAIFI)

Fonte: EPRI (Electric Power Research Institute) in ABRADÉE 2010

Seguindo a metodologia proposta pelo Epri, pode-se tentar resumir os benefícios por categoria de beneficiário. Destaca-se que foi acrescentada à lista de beneficiários sugerida pelo Epri a categoria “governo”.

A Tabela 19 apresenta alguns dos benefícios por beneficiário identificados neste estudo (ABRADEE 2011).

Tabela 19 – Principais benefícios x beneficiários

Benefícios	Categorias de Beneficiário			
	Consumidor	Sociedade	Concessionárias	Governo
Postergação de investimentos na expansão das redes	x	x	x	
Postergação de investimentos em expansão da geração	x	x	x	
Redução de perdas técnicas na transmissão e na distribuição	x		x	
Redução das perdas não-técnicas	x		x	
Geração de empregos		x		
Formação de conhecimento nacional		x		
Aumento da arrecadação de impostos				x
Redução nas emissões de gases de efeito estufa		x		
Melhoria na qualidade dos serviços prestados	x			x
Criação de novos mercados		x		

Fonte: EPRI (Electric Power Research Institute) in ABRADÉE 2010

4.6. Considerações finais e recomendações

Conforme exposto neste capítulo, a implantação do amplo conceito das Redes Elétricas Inteligentes integrará diferentes tecnologias com um potencial de benefícios, além de ser um processo inexorável, em função da necessidade de modernização da rede de distribuição, de pressões advindas de fatores externos (geração distribuída e veículos elétricos) e de pressões dos próprios consumidores.



Essa implantação pode se dar de modo autônomo, com cada distribuidora fazendo as suas escolhas ou o governo (regulador) pode atuar para orquestrar o movimento extraindo o máximo de benefícios para a sociedade e para os consumidores.

Existem vários temas vinculados a REI e todos possuem, em diferentes graus, algum potencial de desenvolvimento de tecnologias nacionais, porém é necessário aumentar e disseminar o conhecimento sobre REI nas empresas, nas universidades, na indústria, no governo e na sociedade.

Os desafios desse desenvolvimento passam pela necessidade de investimento em projetos pilotos para testar a integração de novas tecnologias, pelo compartilhamento do conhecimento obtido com as novas experiências e pelas pesquisas básicas em diversos campos da tecnologia e da ciência, tais como instrumentos econômicos que construam um plano para um modelo econômico sustentável para o processo.

Vale ressaltar que os estudos e projetos pilotos demonstrativos de Redes Elétricas Inteligentes geralmente focam apenas em alguns aspectos do amplo conceito, mas existem muitos desafios para a integração completa e o processo de transição deverá ser em médio e em longo prazos, mas já contando com ações de curto prazo.

Como o Brasil é um país de dimensões continentais, a troca dos medidores energia elétrica representará um grande desafio, tanto para a indústria quanto para as concessionárias. Cada região tem suas características econômicas, culturais, climáticas e geográficas, que vão exigir modelos e tecnologias próprios.

Existe um grande potencial de pesquisa na área de tecnologia da informação e telecomunicação. Para a implantação das REI é imprescindível o serviço adequado de telecomunicação, portanto, é substancial necessidade de pesquisa para desenvolver, ou escolher entre as existentes, uma tecnologia adequada, para cada região. Outro desafio, que também exigirá muita pesquisa, é garantir o processamento do grande volume de dados nos centros de controle e o desenvolvimento ou adequação das ferramentas computacionais para auxiliarem na tomada de decisões, buscando-se um sistema de gerenciamento mais eficaz e eficiente.

Um ponto de alta importância estratégica é a questão da segurança da rede de comunicação, uma vez que os dados dos consumidores devem ser protegidos pela concessionária. A comunicação



também deverá ser protegida contra a atuação de *hackers* relacionados as eventuais violações das informações trafegadas na rede.

Pesquisas em geração e armazenamento serão cada vez mais demandadas, surge espaço para novas fontes de energia, ou armazenamento, tais como os carros elétricos.

O conceito de *Smart Grid* é amplo o bastante para exigir a interação de diversos agentes, sendo necessária a realização de muita pesquisa e desenvolvimento em tecnologia e ciência, utilizando equipes multidisciplinares de forma a quebrar paradigmas, antigos modelos e gerar inovação.



CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste estudo é consolidar as informações existentes, construir um breve contexto nacional e internacional, destacando algumas iniciativas de forma a gerar elementos catalisadores para a construção de uma agenda tecnológica no tema em etapa futura.

O estudo iniciou, conforme descrito na introdução, com uma breve descrição sobre as visões dos diversos atores nacionais envolvidos no tema e os motivadores nacionais, levantadas por meio do debate da primeira oficina do estudo (realizada em 19 e 20 de outubro de 2011) e pesquisa em documentos disponibilizados pelas instituições. O objetivo era uma breve descrição do contexto nacional, ficando claro que os principais motivadores no Brasil estão na parte de distribuição, com melhoria da gestão e qualidade do serviço de energia, o que justifica o fato das iniciativas estarem em sua maioria alocadas nesta etapa do sistema elétrico.

Em paralelo, foi feito um levantamento internacional sobre o tema, descrito no capítulo 2, com foco principal no motivador dos países, as áreas focadas e, quando possível, o investimento realizado. Pode-se perceber que, apesar de diferentes motivadores, sejam as mudanças climáticas e consequente inserção de fontes renováveis ou qualidade e modernização do serviço de distribuição, entre outros, o assunto Redes Elétricas Inteligentes ainda está iniciando em todo o mundo, portanto, é momento oportuno para o país se posicionar estrategicamente com uma política de CT&I. Como mostrado no capítulo 2, os exemplos que se seguem rumo a um sistema elétrico inteligente e interconectado em diversos níveis, são necessários significativos investimentos e, portanto, é essencial um planejamento adequado em longo prazo de todas as implementações que deverão ser realizadas. Diversos países já planejaram e estão nos primeiros passos para se conseguir implantar sistemas de Redes Elétricas Inteligentes, exemplos dessas ações são os *roadmaps* disponíveis no site da IEA.



Seguiram-se com um levantamento nacional, descrito no capítulo 3, não exaustivo, sobre as experiências das empresas, universidades e centros de pesquisa que vêm trabalhando no tema, patentes produzidas e indústria fornecedora. Com isto, foi possível verificar que têm muitos centros investindo no tema em todo o país, provavelmente motivados pelos projetos pilotos demonstrativos e outras iniciativas das empresas distribuidoras de energia. Existe um número reduzido de patentes e uma cadeia de fornecedores ainda pouco explorada, provavelmente resultado da incerteza e do fato de ser um tema recente.

Com base nos levantamentos internacionais e nacionais, foi possível fazer uma consolidação sobre as áreas de CT&I vinculadas ao tema no capítulo 4. Nele foi possível verificar a forte preocupação com os medidores, TI, Telecom, com destaque para a segurança do sistema, mas com um grande potencial de pesquisa na gestão da informação, geração distribuída/microgeração e armazenamento de energia elétrica.

Em complemento a esta consolidação, foi realizada uma segunda oficina⁵ com especialistas de centros de pesquisa e empresas, que desenvolvem pesquisa nesses temas, para identificar grandes áreas de pesquisa. O objetivo foi desenhar um “mapa mental” com as principais grandes linhas associadas ao tema. Para isto, cada participante foi convidado a falar sobre as atividades da sua instituição, desafios e propor grandes linhas de tecnologias ou de ciência em geral, seguindo uma técnica de *brainstorming*.

A lista foi consolidada pela equipe do CGEE e reencaminhada para os participantes da oficina que manifestaram suas novas contribuições. Após duas revisões do grupo resultou na lista a seguir.

Tendo em vista a diversidade das propostas, as linhas foram classificadas em dois grandes blocos: ciências humanas e tecnologia. A Figura 30 ilustra a divisão dos dois grandes blocos e a primeira subdivisão das áreas.

Cada bloco teve sua divisão das linhas de CT&I associados ao tema “Redes Elétricas Inteligentes”.

⁵ Realizada no CGEE em 24 de novembro de 2011.

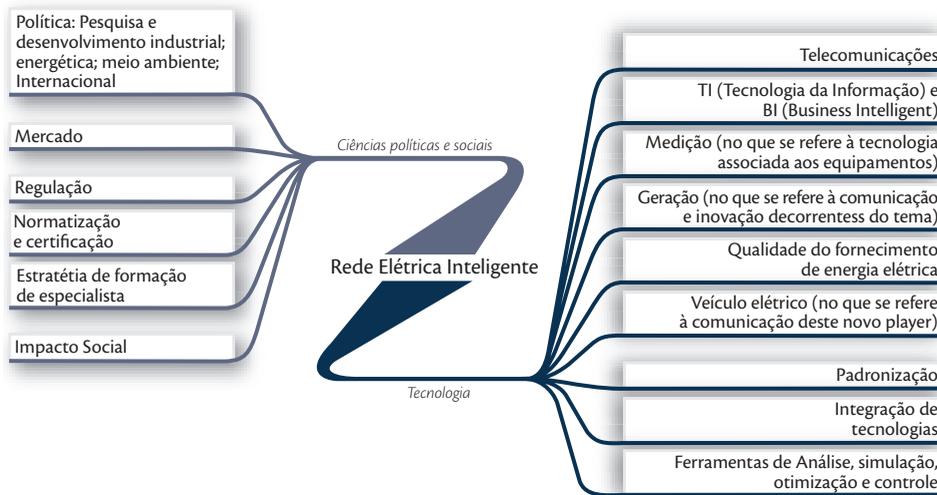


Figura 30 – Blocos e classificação das áreas de pesquisa vinculadas ao tema.

Segue-se, a lista completa com a divisão adotada para as grandes linhas de CT&I associados ao tema “Redes Elétricas Inteligentes”, conforme ilustrado na Figura 30



Bloco “Ciências Políticas e Sociais”

1. Política: PD&I, industrial, energética, meio ambiente; internacional

Subárea
Modelos de estrutura de governança
Estudos em fomento ao desenvolvimento de políticas voltados ao tema Redes Elétricas Inteligentes
Integração de políticas

2. Mercado

Subárea	Tema	Foco
Dinâmica e equilíbrio de mercado	<ul style="list-style-type: none">Identificar e monitorar os motivadores dos diferentes atoresRemuneração dos ativos – análise do risco de mercadoRemuneração para serviços prestados à Rede (Ex: reserva de potência para suportar a variabilidade da energia eólica entregue à Rede – Modelo da Rede Elétrica da Espanha)Inserção de veículos elétricos no mercado de energia elétricaModelo sustentável do mercadoNovos serviços e/ou produtos	<ul style="list-style-type: none">Rentabilidade dos projetos – os motivadores da concessionária estão, entre outros, focado principalmente na redução das perdas não técnicas e melhor qualidade de energia. No caso das perdas não técnicas, estas se encontram, em sua maioria na setorização do Baixa Renda que o projeto não alcança (devidos aos altos investimento e por não existirem outros motivadores do tema: GLS/ DSM e microgeração (novamente pelos altos investimentos))Modicidade tarifáriaModelo pré-pago de energiaNovos modelos: novos mercados, atores e papéis ou revisão dos papéis dos atores existentes
Instrumentos econômicos	<ul style="list-style-type: none">Instrumentos/ferramentas de motivação econômica para a concessionária de energia transformar seu sistema de distribuição em Redes Elétricas Inteligentes, recebendo remuneração adequada ao investimento necessárioInstrumentos econômicos para mudança de hábito do consumidor (tópico: mudança do consumidor)Uso da rede para serviços de comunicação e transferência de dados	



Subárea	Tema	Foco
Instrumentos financeiros	<ul style="list-style-type: none">• Viabilidade financeira e modelos de linhas de financiamentos (Fundos, FINEP/BNDES/ outros bancos nacionais e de desenvolvimentos internacionais, outros)	
Modelos de Planejamento	<ul style="list-style-type: none">• Novas variáveis de cenários, mudança na dinâmica de otimização, segurança energética (equilíbrio da demanda e oferta, redução da dependência externa e outras questões estratégicas)• Novas variáveis de cenários para o planejamento da rede elétrica supervisionada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico de forma a manter o sistema observável e controlável no novo modelo (o que inclui Veículos Elétricos, Geração Distribuída e Microgeração).• M&V e impacto das tecnologias de Redes Elétricas Inteligentes nos modelos de planejamento da expansão da geração e transmissão• Desenvolvimento de metodologia de métricas e indicadores para avaliar os resultados de programas piloto de Redes Elétricas Inteligentes.• Desenvolvimento de metodologia de métricas e indicadores para avaliar a mudança de comportamento de consumidores frente ao maior acesso à informação com e sem sinais tarifários.	
GLD – Gerenciamento pelo lado da demanda	<ul style="list-style-type: none">• Eficiência energética	



Subárea	Tema	Foco
Comportamento do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> Instrumentos de monitoramento do comportamento do consumidor 	<ul style="list-style-type: none"> Multidisciplinar (Psicologia, Sociologia, Economia, etc.) Pesquisa e desenvolvimento das fontes de interface e interação com o consumidor. Desenvolvimento e teste de materiais de comunicação com a sociedade. Desenvolvimento de programas de capacitação para os profissionais das distribuidoras envolvidos no relacionamento com os consumidores. Consumidor como tomador de decisão na rede (ator ativo no processo)
Novos mercados de consumo e geradores	<ul style="list-style-type: none"> Inserção de veículos elétricos Mercado pré-pago Mercado da GD e microgeração Outros 	
Instrumentos de mudança de hábitos	<ul style="list-style-type: none"> Educar/informar com vistas à mudança de hábito de consumo; Novos Mercados: o consumidor poderá migrar de uma distribuidora para outra. Inserção de um novo ator ativo no processo: o consumidor poderá gerar sua própria energia e até inseri-la no sistema. Sinal de Tarifa (inter-relação com o tópico Economia/regulação); Ferramentas de indução para um padrão de comportamento do consumo do veículo elétrico; 	<ul style="list-style-type: none"> Educação para resposta a uma nova tarifação; Educação em todos os níveis (desde a educação infantil) para formação de uma nova cultura de consumo; Veículo elétrico; Sinais tarifários otimizados para diferentes horários; Novos modelos de tarifa para novos produtos/serviços (inclui a definição do mercado, isto é, quem é o cliente quem é o prestador de serviço, etc. – inter-relação com o subitem 1.a - Dinâmica e equilíbrio de mercado)

3. Regulação

Subárea
Regulamentação dos procedimentos envolvidos na transformação, operação e gerenciamento das atividades do novo sistema com o uso das redes elétricas inteligentes
Regulamentação dos impactos das novas tecnologias no Sistema Interligado Nacional (SIN)
Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)
Incentivos à GD, Microgeração e cogeração
Carro elétrico
Outros



4. Normatização e certificação

Subárea	Tema
Arquitetura padrão (inclusivo e interoperativo);	
Modelo de padronização	<ul style="list-style-type: none">• Documentação;
Sigilo da Informação	<ul style="list-style-type: none">• Propriedade da informação e Sigilo da informação (definir quais informações)

5. Estratégia de formação de especialistas

Subárea	Tema
Educação	<ul style="list-style-type: none">• Nos diversos níveis, desde a escola técnica até o nível de graduação e pós-graduação;
Capacitação:	<ul style="list-style-type: none">• Programa para gerar equipe capacitada que possibilita suporte à mudança no Brasil;



6. Impacto social

Subárea
Mudanças sociológicas
Desenvolvimento humano
Outros

Bloco “Tecnologia”

1. Telecomunicações

Subárea	Tema
Rede de telecomunicação	<ul style="list-style-type: none">• Rede Mesh, PLC, rádio ponto a ponto ou multiponto, ópticas
Infraestrutura	<ul style="list-style-type: none">• Espectro de frequência – frequência especial para concessionárias – GPRS não é possível utilizar em determinados pontos – impossível com um único tipo de tecnologia – redes híbridas – interna à casa, <i>Home Area Network</i> (HAN) e da vizinhança <i>Neighborhood Area Network</i> (NAN) e longa distância (WAN). Telecomunicações: ótica, sem fio (ZigBee);• Empresas podendo montar suas próprias redes de telecomunicações, que necessitarão de pessoal para operação e manutenção.• Estudos de barreiras e sinergias entre infraestrutura de Telecom para RI e PNBL.• Estudos e desenvolvimento de modelos para atendimento dos requisitos da infraestrutura de comunicações para os diversos grupos de funcionalidades da RI com vistas a avaliar as alternativas tecnológicas de redes próprias ou redes alugadas, face aos vetores econômicos, tecnológicos e regulatórios junto à ANEEL e ANATEL.• Compartilhamento de infraestrutura de telecomunicações para suporte a serviços de utilidade pública (energia, água e gás), incluindo testes de campo.
TI (inter-relação com o tópico TI)	



Subárea	Tema
Protocolos de comunicação	<ul style="list-style-type: none">• Novo e/ou derivação de outros já existentes - (padrões abertos [i.e. não proprietário] e se possível aderente a um padrão internacional, o que permitirá a exportação da tecnologia nacional;• Convergentes IP• Interoperabilidade
Serviços de gerenciamento das redes de telecomunicações	<ul style="list-style-type: none">• Estudos e provas de campo de tecnologias de comunicação de baixo custo para atendimento às funcionalidades básicas de RI a consumidores remotos.
Novos serviços/produtos via rede telecomunicações;	
Subestações automatizadas	
IEC 61850 - interoperabilidade	

2. TI (tecnologia da Informação) e BI (*Business Intelligent*)

Subárea	Tema
Automação (integrada e parciais) do sistema Geração; Transmissão; Distribuição/Comercialização e Consumo G/T/D/C;	<ul style="list-style-type: none">• Desenvolvimento de algoritmos e sistemas computacionais para suporte aos processos da distribuidora a partir dos dados adquiridos com o AMI.• Desenvolvimento de integrações de sistemas legados e novos sistemas computacionais desenvolvidos em função da implantação de Redes Elétricas Inteligentes.
Gerenciamento da informação	<ul style="list-style-type: none">• Trabalho de seleção e agrupamento de dados de forma a gerar a informação necessária e objetiva ao tomador de decisão;
Armazenamento da informação	



Subárea	Tema
Serviços	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidade de informação ao cliente via celular
Gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)	<ul style="list-style-type: none">• Eficiência energética
Segurança cibernética	
Sistemas de TI que garantam o anonimato da informação (sigilo da informação)	
Certificação Digital	
Segurança na medição	<ul style="list-style-type: none">• Mitigar fraudes de forma mais inteligentes, tal como o uso, no medidor de BT, do infravermelho para transmitir dados de leitura que gerou fraude (stop pelo controle remoto).
Velocidade de processamento de informações	
Integração com o universo da informação	<ul style="list-style-type: none">• Integração do universo de informação com o futuro das cidades inteligentes.
Gerenciamento de serviços	<ul style="list-style-type: none">• Sistemas de gerenciamento das redes de comunicações e equipamentos;• Gerenciamento das aplicações.



Subárea	Tema
Padronização	<ul style="list-style-type: none">Modelos Comuns de Informação tais como: <i>Common Information Model (CIM)</i>, IEC 61968, 61970 e 62357

3. Medição (no que se refere à tecnologia associada aos equipamentos)

Subárea	Tema
Medidor de baixa tensão: Instrumentos possibilitando as funcionalidades da Infraestrutura Avançada de Medição: tarifas, corte, religa, etc..	<ul style="list-style-type: none">Desenvolvimento de algoritmos e sistemas computacionais para suporte aos processos da distribuidora a partir dos dados adquiridos com o AMI.Desenvolvimento de integrações de sistemas legados e novos sistemas computacionais desenvolvidos em função da implantação de Redes Elétricas Inteligentes.
Medição de média e alta tensão	<ul style="list-style-type: none">Trabalho de seleção e agrupamento de dados de forma a gerar a informação necessária e objetiva ao tomador de decisão;
Novos instrumentos para garantia da informação, segurança da energia, dentre outros.	
Medição fasorial: Inserir no contexto de supervisão e controle dotando a medição e operação do sistema elétrico de mais tecnologia e inteligência	<ul style="list-style-type: none">Disponibilidade de informação ao cliente via celular
Intercambialidade: padrões de medidores	<ul style="list-style-type: none">Eficiência energética
Interoperabilidade: os diversos sistemas terem flexibilidade para uma boa comunicação entre si, e com as diversas partes do processo;	



Subárea	Tema
Modularidade: Possibilidade de adicionar módulos de interfaces para o medidor	
Segurança: conexões, chaves, dentre outros, que mitiguem as fraudes;	
Durabilidade e confiabilidade (tempo de vida)	<ul style="list-style-type: none">• Materiais• Determinação da vida útil por meio de ensaios de estresse acelerados;• Pesquisa sobre grandezas mensuráveis para estimativa de vida útil de um lote de medidores inteligentes instalados: temperaturas máximas e médias da região, índice de raios e quantidade de religamentos dos alimentadores;• Ensaios de medidores inteligentes retirados de campo para estimar a vida restante e utilizar metodologia centrada em confiabilidade;
Medição de novos atores no sistema	<ul style="list-style-type: none">• Consumo/geração do carro elétrico;

4. Geração (no que se refere à comunicação e inovações decorrentes do tema)

Subárea	Tema
Novas oportunidades de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis;	<ul style="list-style-type: none">• Desenvolvimento de algoritmos e sistemas computacionais para suporte aos processos da distribuidora a partir dos dados adquiridos com o AMI.• Desenvolvimento de integrações de sistemas legados e novos sistemas computacionais desenvolvidos em função da implantação de Redes Elétricas Inteligentes.
GD	<ul style="list-style-type: none">• Estudos regionais de penetração de GD/VE/AR.• Estudos regionais de potencial de biomassa para GD.
Armazenamento de energia elétrica	<ul style="list-style-type: none">• Estudo e desenvolvimento de conjuntos e sistemas para acúmulo de energia na geração distribuída, com custo acessível às várias classes de consumidores adequados à realidade das distribuidoras brasileiras.



Subárea	Tema
Microgeração distribuída	<ul style="list-style-type: none">• Estudos pilotos de microrredes em áreas urbanas e em áreas rurais.
Conexão de microgeração e geração distribuída ao sistema	<ul style="list-style-type: none">• Eficiência energética
Impacto da microgeração e minigeração distribuída no desempenho da rede de distribuição (controle de tensão, perdas, proteção, qualidade da energia, etc.)	<ul style="list-style-type: none">• Proteção adaptativa para GD.• Novos conceitos de proteção devido a redes com múltiplas fontes GD.• Impactos na qualidade do fornecimento em média e baixa tensão.• Estudos de impactos localizados em virtude de concentração de painéis solares e microturbinas eólicas.• <i>Fault Location, Isolation and System Restoration (FLISR)</i> para múltiplas fontes GD.

5. Qualidade do fornecimento de energia elétrica

Subárea	Tema
Novas, aperfeiçoamento ou adaptações de tecnologias de Proteção: soluções para resolver a mudança na proteção do sistema elétrico que sofrerá sensíveis alterações	
Confiabilidade: falha e suas consequências para o sistema, como tempo e custos associados a colocar o sistema em condições normais de operação	
Estabilidade: soluções para resolver a mudança na estabilidade do sistema elétrico que sofrerá sensíveis alterações	<ul style="list-style-type: none">• Revisão completa devido à inserção de GD ou microgeração;



Subárea	Tema
Segurança Operacional	<ul style="list-style-type: none">• Serviços Ancilares: ampliação da ideia de remuneração de entidades provedoras de serviços ancilares tais como: suporte de reativos, reserva de potência girante e reserva de energia.
Qualidade de energia	<ul style="list-style-type: none">• Redução das faltas;• Oferta de diferentes níveis de qualidade aos clientes;• Correlação entre investimentos em automação e qualidade do serviço;
Modelos de previsão de fatores climáticos ajustados às novas mudanças (aumento de raios, aumento de impermeabilização de áreas urbanas, ventos)	

6. Veículo elétrico (no que se refere à comunicação deste novo player)

Subárea	Tema
Estrutura de abastecimento – (incluindo <i>plug-in</i>)	
Inteligência do Veículo	<ul style="list-style-type: none">• Sistemas de gerenciamento de baterias (integração com TI)• Portabilidade de carregamento e manutenção das baterias.
Inserção de novo consumo com diferente padrão no planejamento e no sistema de otimização – carga móvel (inter-relação com o item 2 do bloco i: mercado)	<ul style="list-style-type: none">• Revisão completa devido à inserção de GD ou microgeração;



Subárea	Tema
Integração da Inteligência do veículo com a do sistema	<ul style="list-style-type: none">• Serviços Ancilares: ampliação da ideia de remuneração de entidades provedoras de serviços ancilares tais como: suporte de reativos, reserva de potência girante e reserva de energia.
Sistemas de gerencia de demanda controlando a carga dos VEs (via interface com um carregador inteligente) de maneira a não causar sobrecarga no sistema elétrico	<ul style="list-style-type: none">• Integração do VE à rede e estudos de impactos localizados, incluindo modalidades tarifárias para a redução de tais impactos.• Veículos elétricos funcionando como carga e como fonte.• Análise dos benefícios energéticos e ambientais de transporte público com propulsão elétrica e híbrida elétrica no âmbito das concessionárias de distribuição.

7. Padronização

Subárea
Medidores (BT, MT, AT – interoperabilidade e integração);
<i>Phasor Measurement Units</i> (PMUs);
GD;
Microgeração: geração de micro porte podendo ser gerada pelo consumidor;
Sistemas plug-in (inclui Infraestrutura) – veículos elétricos;
Veículos elétricos;
Outros.



8. Integração de tecnologias

Subárea	Tema
Simulações e antecipação de problemas e riscos	• Centros de demonstrações com problemas e soluções
<i>Benchmarking</i> de implantação: interoperabilidade (<i>hardware</i> , <i>software</i> e processos).	
Plataforma Rede Elétrica Inteligente: necessidade de modelos de gestão, monitoramento, tempo de resposta, qualidade padrão e novos equipamentos.	
Projeto piloto demonstrativo: destacada importância para implantação de projetos pilotos demonstrativo aproveitando o P&D para identificar diferenças regionais.	
Cidades Inteligentes (Smart Cities) – (O foco desta agenda de Redes Elétricas Inteligentes se restringirá apenas à integração entre sistemas, isto é, o sistema cidades inteligentes ao sistema de Redes Elétricas Inteligentes).	



9. Ferramentas de análise, simulação, otimização e controle

Subárea	Tema
Desenvolvimento de ferramentas computacionais adequadas para o estudo de redes de distribuição com as novas tecnologias da Rede Elétrica Inteligente (automação, comunicações e sensores);	<ul style="list-style-type: none">• Desenvolvimento de algoritmos e sistemas computacionais para suporte aos processos da distribuidora a partir dos dados adquiridos com o AMI.• Desenvolvimento de integrações de sistemas legados e novos sistemas computacionais desenvolvidos em função da implantação de Redes Elétricas Inteligentes.
Algoritmos inteligentes para aplicação em tempo real visando o controle de tensão e fluxo de reativos, reconfiguração de redes, restabelecimento do fornecimento de energia, controle de microrredes, etc.;	<ul style="list-style-type: none">• Trabalho de seleção e agrupamento de dados de forma a gerar a informação necessária e objetiva ao tomador de decisão;
Inteligência na rede para o gerenciamento das cargas de novos atores:	<ul style="list-style-type: none">• Veículos elétricos

Não foi objeto do estudo trabalhar a prioridade destas linhas, nem as ações de CT&I associadas a elas. Todavia, algumas ações identificadas nos debates são listadas a seguir:

- Pesquisa e desenvolvimento, além de investimento em infraestrutura nos diversos temas citados acima;
- Políticas públicas, regulação e legislação: desoneração de investimentos; linhas de financiamento; articulação com a Anatel para desoneração da faixa de frequência; convergência com PNBL; legislação para definir incentivos às REI e à GD; ajustes no arcabouço regulatório para viabilização dos investimentos; comunicação com a sociedade; educação e engajamento dos consumidores e promover a criação de um centro de convergência do conhecimento sobre Redes Elétricas Inteligentes e de concatenação das ações desenvolvidas pelos diversos agentes;
- Indústria e cadeia de fornecedores: padronização; desenvolvimento e homologação de medidores; desenvolvimento e certificação de equipamentos de comunicação e automação; parcerias



com as distribuidoras para o desenvolvimento de aplicações suporte aos processos das Redes Elétricas Inteligentes;

- Distribuidoras: capacitação do pessoal próprio e mobilização de fornecedores e universidades; educação e engajamento dos consumidores; avaliar a mudança de comportamento dos consumidores frente aos diferentes estímulos; avaliar desempenho de equipamentos e tecnologias;
- Desenvolvimento de programas de capacitação nos diferentes níveis técnico, graduação, pós-graduação (especialização; mestrado; e doutorado);
- Continuidade do comitê técnico interministerial (instituído pela Portaria nº 440 de 15 de abril de 2010), com um plano de atividade, com o objetivo de estabelecer uma estratégia nacional em um prazo definido.



REFERÊNCIAS

- AEROGERADORES integram instalações residenciais no Brasil. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011a. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- ANEEL busca estabelecer tarifas flexíveis de energia elétrica no Brasil. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011b. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>> Acesso em: nov. 2011.
- AES ELETROP PAULO. AES Eletropaulo destina R\$ 120 milhões a mais para atendimento ao cliente, novas equipes e tecnologia. Seção: Imprensa. 2011a. Disponível em: <<http://www.aeseletropaulo.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- _____. Executivos da AES Eletropaulo abordam a implantação de SmartGrid no país durante evento. Seção: Imprensa. 2011b. Disponível em: <<http://www.aeseletropaulo.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- AES Eletropaulo investe em projeto de smart grid. Smart Grid News. Seção: Notícia. 2010a. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>>. Acesso em: jan. 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. ANEEL colocará em audiência sua Agenda Regulatória para 2012/2013. Seção: Clic Energia. 2011a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. DECRETO Nº 5,163. Seção: Informações Técnicas. 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: maio 2012.
- _____. Nota Técnica nº 0004/2011-SRD/ANEEL. Seção: Informações Técnicas. 2011b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: maio 2012.
- _____. Relatórios do Sistema de Apoio a Decisão. Seção: Clic Energia. 2012a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: maio 2012.
- _____. Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Seção: Informações Técnicas. 2012b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: maio 2012.
- _____. Tarifa branca ao consumidor de baixa tensão valerá com novo medidor. Sessão: Clic Energia. 2011c. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S.A - AMPLA. Cidade Inteligente Búzios. Seção: Pesquisa e Desenvolvimento. 2011. Disponível em: <<http://novoportal.ampla.com/portal-ampla.aspx>>. Acessado em jan. de 2012.
- ANDRADE, R.T. de. BPL (Broadband over Powerlines): Características e Aplicações. Seção: Tutoriais Banda Larga. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/>>. Acesso em: nov. 2011.



- ANEEL discute em Brasília a cobrança de diferentes tarifas por horário. Seção: Notícias. 2011a. Disponível em: <<http://www.jornaldaenergia.com.br>> Acesso em: nov. 2011.
- ARNOLD, G.W. Challenges and Opportunities in Smart Grid: A Position Article. In: Proceedings of the IEEE, v.99, n.6, p.922-927, jun. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA - ABINEE. Smart Grid pode ser indutor do desenvolvimento do Brasil. Seção: Notícias. 2011. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/rel2011.htm>>. Acesso em: nov. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADDEE. Relatório Smart Grid. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes – Ministério de Minas e Energia. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Encontre sua norma. Seção: Início. 2012. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/default.aspx>>. Acesso em: maio 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO - ABVE. Incentivos governamentais para veículos elétricos. Seção: Notícias. 2011. Disponível em: <<http://abve.org.br/destaques/2011/destaque11034.asp>>. Acesso em: nov. 2011.
- BIODIESELBR ONLINE LTDA - BIOBIESELBR. Co-Geração de Energia - Processamento do álcool. Seção: Energias. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com>> Acesso em: nov. 2011.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. Instituições do Setor Elétrico Brasileiro. Seção: A CCEE. 2011. Disponível em: <<http://www2.ccee.org.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- CAMIL reduz consumo de energia com a casca de arroz. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011c. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>> Acesso em: nov. 2011.
- CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - PROCEL INFO. Búzios: a caminho do smart grid. Seção: Notícias e Reportagens. 2011. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: jan. de 2012.
- CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES - CPQD. R\$ 65 milhões em smart grid. Seção: Imprensa e Eventos. 2011a. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- _____. Smart Grid: soluções de comunicação, dispositivos avançados e integração de sistemas. Seção: P&D e Inovação. 2011b. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- CENTRO GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Portal Inovação. Seção: Buscas. 2007. Disponível em: <<http://www.portalinovacao.mct.gov.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- CENTRO privado de inovação desenvolve protocolo de comunicação aberto para smart metering. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011d. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>> Acesso em: maio 2012.



- CERTIFICAÇÃO de medidores inteligentes no País deve demorar. Jornal da Energia. Seção: Notícias. 2011b. Disponível em: <<http://www.jornalenergia.com.br>>. Acesso em: nov. 2011.
- COELCE subsidiária da Endesa a caminho dos medidores inteligentes no Brasil. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011e. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. Cidades do Futuro. Revista P&D, Belo Horizonte, n. 7, p. 15-17, 2011. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/Inovacao/RevistasPeD/RevistaPeD2011.pdf>>. Acesso em: jan. 2012.
- _____. Smart Grid – Rede Inteligente de Energia. 2009. Disponível em: <<http://www.sme.org.br/arquivos/pdf/091209SMARTGRID.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL. ERSA / CPFL Renováveis anuncia primeira termelétrica a biomassa no Paraná. Seção: Sala de Imprensa. 2011. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/>> Acessado em: nov. 2011.
- DEPURU, S.S.S.R.; WANG, L.; DEVABHAKTUNI, V.; GUDI, N. Smart meters for power grid - Challenges, issues, advantages and status. In: IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition (PSCE), Arizona, EUA, p. 1-7, mar. 2011.
- EDP e USP fecham parceria para desenvolver redes inteligentes. Jornal da Energia. Seção: Notícias. 2011c. Disponível em: <<http://www.jornalenergia.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC. - EPRI. EPRI Smart Grid Demonstration. Seção: EPRI Research. 2009. Disponível em: <<http://www.smartgrid.epri.com>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects. Seção: Research. 2010. Disponível em: <<http://my.epri.com>>. Acesso em: maio 2012.
- ELETROBRAS AMAZONAS ENERGIA. Eletrobras lança 'Projeto Parintins' que prevê sistema automatizado na rede de distribuição de energia. Seção: Notícias. 2011. Disponível em: <<http://www.amazonasenergia.gov.br/>>. Acesso em: jan. de 2012
- ELETROBRAS vai testar tecnologia "smart grid" em Parintins. Smart Grid News. Seção: Notícia. 2010b. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- ENDESA. Implantação de um piloto de redes inteligentes (Smart Grid) para automação do sistema elétrico. Apresentação de slides realizada no Café da Indústria promovido pela Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). 2011.
- ENEL SPA - ENEL. Enel's smart grids keep growing. Seção: News. 2012. Disponível em:<<http://www.enel.com/en-GB/media/news/>>. Acesso em: maio 2011.



ENERGIAS RENOVÁVEIS DO BRASIL S.A - ERB. ERB fecha parceria com Embrapa em pesquisa de biomassa de sorgo. Seção: Canal Biomassa. 2012. Disponível em: <<http://www.erbrasil.com.br/>> Acesso em: maio 2012.

ENERGY UK. Smart Metering Projects Maps. 2012. Disponível em: <<http://maps.google.com/maps/ms?msid=208141621543957618113.0000011362ac6d7d21187&msa=o&ll=6.664608,9.84375&spn=136.647449,316.054688>>. Acesso em: maio 2012.

ENERSUD. A Empresa. Seção: A empresa. 2011. Disponível em: <<http://enersud.com.br/>> Acesso em: nov. 2011.

ENVIRONMENT NEWS SERVICE (ENS). 1,800 EV Charging Stations Spring Up Across the USA. Seção: Home. 2011. Disponível em: <<http://www.ens-newswire.com/ens/may2011/2011-05-17-091.html>>. Acesso em: nov. 2011.

EUROPEAN COMMISSION. European SmartGrids Technology Platform - Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Luxemburgo, 2006a. Disponível em: <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_en.pdf>. Acesso em: nov. 2011.

_____. Livro Verde – Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura. Bruxelas, 2006b. Disponível em: <http://europa.eu/documentation/official-docs/green-papers/index_pt.htm>. Acesso em: nov. 2011.

_____. Smart Grid Projects in Europe: Interactive Map. 2011a. Disponível em: <<http://www.smartgridprojects.eu/map.html>>. Acesso em: jun. 2012.

_____. Smart Grid Projects in Europe: Lessons Learned and Current Developments. Geneva, 2011b. Disponível em: <<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/11111111/22212>>. Acesso em: jun. 2012.

FALCÃO, D.M. Integração de tecnologias para viabilização da Smart Grid. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 3. (SBEE 2010), Belém, 2010. p. 1-5.

FANG, X.; MISRA, S.; XUE, G.; YANG, D. Smart Grid – The new and improved power Grid: a survey. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, v.PP, n.9, p.1-37, set. 2011.

FARHANGI, H. The path of the Smart Grid. Power & Energy Magazine, IEEE. v.8, n.1, p.18-28, Jan.-Fev. 2010.

GELLINGS, C. W. The Smart Grid - enabling energy efficiency and demand response. 1.ed. CRC Press, 2009. 300p.

GLOBO COMUNICAÇÃO E PARTICIPAÇÃO S.A. - G1. Dinamarca desenvolve bateria ilimitada para carros elétricos. Seção: Jornal Nacional. 2011a. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2011/10/dinamarca-desenvolve-bateria-ilimitada-para-carros-eletricos.html>>. Acesso em: nov. 2011.



- _____. Incentivos não influenciam vendas de carros elétricos na Europa. Seção: Carros. 2011b. Disponível em: <<http://g1.globo.com/carros/noticia/2011/09/incentivos-nao-influenciam-vendas-de-carros-eletricos-na-europa.html>>. Acesso em: nov. 2011.
- HASSAN, R.; RADMAN G. Survey on Smart Grid. In: Proceedings of the 2010 IEEE SoutheastCon (SoutheastCon), Charlotte, EUA, p. 210-213, mar. 2010.
- HEYDT, G.T.; BOSE, A.; JEWELL, W.T.; KEZUNOVIC, M.; MCCALLEY, J.D.; RAY, D.J.; SAUER, P.W.; SINGH, C.; VITTAL V. Professional Resources to Implement the Smart Grid. In: Proceedings of the 2009 North American Power Symposium (NAPS), Mississippi, USA, Out. 2009.p. 1-8.
- IEEE STANDARDS ASSOCIATION - IEEE-SA. Smart Grid Standards. Seção: Find Standards. 2012. Disponível em:<http://standards.ieee.org/findstds/standard/smart_grid.html>. Acesso em: maio 2012.
- INNOVATION OBSERVATORY LTD. Smart Grid technology investment: forecasts for 2010-2030. Seção: Published Research. 2011. Disponível em: <<http://www.innovationobservatory.com/>>. Acessado em: nov. 2011.
- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Carros elétricos podem viabilizar adoção de energia limpa. Seção: Home. 2010a. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Energia fotovoltaica no Brasil é discutida em evento em São Paulo. Seção: Plantão. 2010b. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL - INPI. Busca - Patentes. 2011. Seção: Patente. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br>>. Acesso em: nov. 2011.
- INSTITUTO OBSERVATÓRIO DAS TELECOMUNICAÇÕES INCLUSÃO DIGITAL E SOCIAL - IOST. Entendendo a Internet sob Rede Elétrica. Seção: Artigos. 2010. Disponível em: <http://www.iost.org.br>>. Acesso em: nov. 2011.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC. Core IEC Standards. Seção: IEC Standards. 2012. Disponível em:< <http://www.iec.ch/smartgrid/standards/>>. Acesso em: maio 2012.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Technology roadmaps smart grids. Paris, 2011a. Disponível em: <http://www.iea.org/papers/2011/smartgrids_roadmap.pdf>. Acesso em: nov. 2011.
- INTERNET ENGINEERING TASK FORCE - IETF. IETF Datatracker. Seção: Search. 2012. Disponível em:<<http://datatracker.ietf.org/>>. Acesso em: maio 2012.
- ITAIPU BINACIONAL. Projeto Veículo Elétrico. Seção: Tecnologia. 2011. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/tecnologia-capa>>. Acessado em: maio 2012.
- JG PRESS, INC. German Village Achieves Energy Independence ... And Then Some. Biocycle. v. 52, n. 8, p. 37. ago. 2011.



- LANDIS+GYR. Multi-purpose Network. Seção: Solutions. 2012z. Disponível em:<http://www.landisgyr.com/na/en/pub/solutions_na/advanced_metering/technology/technology_rf_network.cfm>. Acesso em: maio 2012.
- LEÃO, R.P.S.; BARROSO, G.C.; SAMPAIO, R.F.; ALMADA, J.B.; LIMA, C.F.P.; REGO, M.C.O.; ANTUNES, F.L.M. The future of low voltage network: moving from passive to active. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 33, n. 8, p. 1506 - 1512 , out. 2011.
- LIDERES em medidores inteligentes nos Estados Unidos. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011f. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- LIGHT S.A - LIGHT. O Brasil a um passo do futuro. Saber - Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da Light, Rio de Janeiro, n. 02, p. 16-34, 2010.
- _____. Programa smart grid light. Seção: Home. 2012. Disponível em: <<http://www.smartgridlight.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- LOPES, P.H.S. O papel da ANEEL na regulação da geração distribuída. Apresentação de slides realizada no Fórum ABINEE TEC 2011. 2011. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br>>. Acesso em: nov. 2011.
- MARCONDES, J. InovCity Aparecida – Implementando um projeto piloto de smart grid no Estado de São Paulo. Apresentação de slides. 2011. Seção: Downloads. Disponível em: <<http://www.presaltbrazilcongress.com.br/>>. Acesso em: jan. 2012.
- MGX. Micro-grids offer independence and profitability. Seção: Home. 2008. Disponível em: <http://mgx.com/blogs/2008/12/01/micro-grids-offer-independence-and-profitability/>. Acesso em: maio 2012.
- NANSEN. Soluções SIM Nansen. Seção: Soluções. 2012. Disponível em:<http://www.nansen.com.br/solucoes_simnansen_tecnologias_gprs.php>. Acesso em: maio 2012.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - NIST. NIST & The Smart Grid. Seção: Smart Grid. 2012. Disponível em: <<http://www.nist.gov/smartgrid/nistandsmartgrid.cfm>>. Acesso em: maio 2012.
- _____. NIST Framework and Report the Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0. EUA, 2010. Disponível em: <http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Report to NIST on the smart grid interoperability standards roadmap. EUA, 2009. Disponível em: <<http://www.nist.gov/smartgrid/upload/InterimSmartGridRoadmapNISTRestructure.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.
- PIKE RESEARCH LLC - PIKE RESEARCH. Distributed solar energy generation. 2011a. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/10/DSEG-11-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.



- _____. Electric vehicles in Asia Pacific. 2010a. Disponível em: <<https://www.pikeresearch.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/11/EVAP-10-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Global wind energy outlook. 2011b. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/07/WIND-11-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Microgrids. 2010b. Disponível em: <<https://www.pikeresearch.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/12/MICRO-10-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Small Wind Power. 2011c. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/09/SWIND-11-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Smart meters in Asia Pacific. Seção: Research. 2011d. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/research/smart-meters-in-asia-pacific>>. Acesso em: nov. 2011.
- PLC como Tecnologia de Suporte à Smart Grid. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011g. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>> Acesso em: maio 2012.
- PIONEIRA do setor, Tecnometal planeja fabricação de células fotovoltaicas. Jornal da Energia. Seção: Notícias. 2012. Disponível em: <<http://www.jornalenergia.com.br>>. Acesso em: mar. 2012.
- PROPOSTA que facilita acesso de geração distribuída de pequeno porte em audiência. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011h. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/>>. Acesso em: nov. 2011.
- RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S/A (R7). Carro elétrico terá caminho longo e difícil até chegar ao Brasil. Seção: Notícias. 2011. Disponível em: <<http://noticias.r7.com>>. Acesso em: nov. 2011.
- REDE INTELIGENTE. Base instalada de medidores inteligentes pode chegar a 350 milhões na Ásia-Pacífico até 2016. Seção: Notícias. 2011a. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Brasil tem 71 automóveis elétricos emplacados em quatro anos. Seção: Notícias. 2011b. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com/>>. Acesso em: nov. 2011.
- _____. Cemig prevê conclusão de 1ª etapa de projeto piloto de Smart Grid em 2014. Seção: Notícias. 2011c. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com>>. Acesso em: jan. 2012.
- _____. Siemens leva projeto ambicioso de smart grid a Wildpoldsried, na Alemanha. Seção: Notícias. 2011d. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com>>. Acesso em: nov. 2011.
- REDES elétricas inteligentes no Ceará em 2013. Smart Grid News. Seção: Notícias. 2011i. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br>>. Acesso em: jan. 2012.
- REINO Unido propõe redução nos incentivos a energia solar. Jornal da Energia. Seção: Notícias. 2011d. Disponível em: <<http://www.jornalenergia.com.br>>. Acesso em: nov. 2011.



RODRIGUEZ, C.R.C. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: O caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Aparecida do Norte terá projeto piloto em redes inteligentes. Seção: Últimas notícias. 2011. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2012.

SILVER SPRING NETWORKS. Por que o espectro não licenciado domina a rede elétrica inteligente. Seção: Recursos. 2011. Disponível em:<<http://www.silverspringnet.com/pt/>>. Acesso em: maio 2012.

_____. AXXIOM. Comentários da Silver Spring Networks e da Axxiom à ANEEL. Seção: Consulta Pública. 2009 Disponível em:< [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/SSN%20Submission%20to%20ANEEL%20\(por\)%20rev%202.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/SSN%20Submission%20to%20ANEEL%20(por)%20rev%202.pdf)>. Acesso em: dez 2011.

TELECO. Gerações de sistemas celulares. Seção: Telefonia Celular. 2012. Disponível em:<<http://www.teleco.com.br/tecnocel.asp>>. Acesso em: maio 2012.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - DOE. About SmartGrid.gov. Seção: Home. 2012a. Disponível em: <<http://www.smartgrid.gov>>. Acesso em: maio. 2012.

_____. OpenEI. Seção: Home. 2012b. Disponível em: <<http://en.openei.org>>. Acesso em: maio. 2012.

_____. Sharing smart grid experiences through performance feedback. EUA, 2011. Disponível em: <http://www.netl.doe.gov/smartgrid/docs/PPF%20for%20the%20Smart%20Grid_Final_v1.0_031511.pdf>. Acesso em: nov. 2011.

_____. The NETL smart grid implementation strategy (SGIS). Seção: Smart Grid Analysis. 2012c. Disponível em: <<http://www.netl.doe.gov/smartgrid/index.html>>. Acesso em: maio 2012.

_____. The Smart Grid – An Introduction. EUA, 2008. Disponível em: <<http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0>>. Acesso em: nov. 2011.

VOOLVE LIMITED. European smart meter deployment to reach 52 percent by 2016. Seção: News. 2011. Disponível em: <<http://www.smartmeters.com/the-news/2432-european-smart-meter-deployment-to-reach-52-percent-by-2016.html>> Acesso em: nov. 2011.

WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. Accelerating successful smart grid pilots. Geneva, 2010. Disponível em:<<http://www.weforum.org/reports/accelerating-successful-smart-grid-pilots>>. Acesso em: nov. 2011.

XINGHUO YU; CECATI, C.; DILLON, T.; SIMOES, M.G. The New frontier of smart grids. Industrial Electronics Magazine, IEEE, v.5, n.3, p.49-63, set. 2011.



XUE-SONG, Z.; LI-QIANG, C.; YOU-JIE, M. Research on Smart Grid Technology. In: Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on ,v. 3, p.V3-599-V3-603, out. 2010.

YE, Z; WALLING, R; MILLER, N; DU, P; NELSON, K. Facility Microgrids. 2005. Niskayuna, New York.

ZOU, Q.; QIN, L. Integrated communications in smart distribution grid. In: Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on, p.1-6, out. 2010.

ZPRYME RESEARCH & CONSULTING (ZPRYME). Zpryme smart grid insights. Seção: Home. 2012. Disponível em:< <http://smartgridresearch.org/>>. Acesso em: maio 2012.



LISTA DE FIGURAS

Resumo Executivo

Figura 1 – Motivadores regionais das REI	8
Figura 2 – Blocos e classificação das áreas de pesquisa vinculadas ao tema	12

Documento Técnico

Figura 1 – Rede elétrica convencional	15
Figura 2 – Sistema existente	16
Figura 3 – Modelo conceitual de Rede Inteligente	18
Figura 4 – Representação da REI	21
Figura 5 – Representação dos atores envolvidos no desenvolvimento da REI no Brasil	23
Figura 6 – Diagrama das instituições federais do setor elétrico brasileiro.	24
Figura 7 – Impacto da REI no sistema de energia elétrica	27
Figura 8 – Mapa dos projetos de REI no mundo	34
Figura 9 – Modelo de Redes Elétricas Inteligentes desenvolvido na Itália	41
Figura 10 – Mapa interativo contendo os principais projetos de RIs nos países da União Europeia	43
Figura 11 – Previsão da quantidade de medidores inteligentes instalados nos países da Ásia-Pacífico.	51
Figura 12 – Ciclo de avaliação do desempenho de projetos REI	54
Figura 13 – Exemplo do conteúdo do Portal <i>SmartGrid.gov</i> .	55
Figura 14 – Quantidade de projetos por subtema catalogados pela ANEEL	60
Figura 15 – Custos totais, em R\$ milhões, por subtema, dos projetos catalogados pela ANEEL	61
Figura 16 – Distribuição regional da quantidade de projetos, por subtema, catalogados pela ANEEL	61
Figura 17 – Distribuição regional dos projetos catalogados pela ANEEL	62
Figura 18 – Custos totais, em R\$ milhões, por região, dos projetos catalogados pela ANEEL	62



Figura 19 – Mapa de universidades e centros de pesquisa com projetos relacionados a Redes Elétricas Inteligentes	67
Figura 20 – Distribuição regional das empresas catalogadas pela ANEEL	76
Figura 21 – Categorias de tecnologias constituintes de uma Rede Elétrica Inteligente plena	92
Figura 22 – Microrrede ou planta virtual de geração	95
Figura 23 – Planta Virtual de Geração	95
Figura 24 – Estrutura de subsistemas de uma REI.	96
Figura 25 – Níveis de comunicação em uma AMI	109
Figura 26 – Exemplo de rede de comunicação baseada em BPL/PLC	117
Figura 27 – Exemplo de aplicação de medição inteligente baseada em GPRS.	119
Figura 28 – Exemplo de infraestrutura de medição inteligente baseada em rede RF <i>mesh</i> .	121
Figura 29 – Exemplo de interação entre os nós em uma rede RF <i>mesh</i> .	122
Figura 30 – Blocos e classificação das áreas de pesquisa vinculadas ao tema	139



LISTA DE TABELAS

Resumo Executivo

Tabela 1 – Quadro resumo geral por linha de pesquisas	10
---	----

Documento Técnico

Tabela 1 – Lista de domínio e respectivas descrições.	18
---	----

Tabela 2 – Principais investimentos federais e privados no mundo, em 2010, e estimativas para os próximos anos.	36
---	----

Tabela 3 – Projetos de Redes Elétricas Inteligentes na Europa	44
---	----

Tabela 4 – Projetos pilotos demonstrativos de Redes Elétricas Inteligentes americanos	56
---	----

Tabela 5 – Lista dos projetos de P&D das concessionárias no tema REI levantados pelo estudo	64
---	----

Tabela 6 – Quadro resumo por linhas de pesquisa número de projetos (NP) e valores (R\$ mi) por região	66
---	----

Tabela 7 – Lista dos projetos nas universidades brasileiras no tema Redes Elétricas Inteligentes	68
--	----

Tabela 8 – Quadro resumo de universidades por linhas de pesquisas	73
---	----

Tabela 9 – <i>Ranking</i> das 20 empresas líderes mundiais em investimentos em projetos de RIs.	75
---	----

Tabela 10 – Quadro resumo de empresas por linhas de pesquisa e por região	79
---	----

Tabela 11 – Patentes relacionadas às Redes Elétricas Inteligentes	81
---	----

Tabela 12 – Número de patentes por linha de pesquisa	84
--	----

Tabela 13 – Divisão regional da quantidade de unidades consumidoras no país.	86
--	----

Tabela 14 – Descrição das categorias das tecnologias de uma Rede Elétrica Inteligente	93
---	----

Tabela 15 – Quantidades de unidades consumidoras, por classe de consumo, no país.	105
---	-----

Tabela 16 – Relações entre os diferentes níveis de rede, equipamentos e tecnologias de comunicação	112
--	-----

Tabela 17 – Características das tecnologias de comunicação usadas em infraestruturas de medição inteligente.	123
--	-----



Tabela 18 – Categorias de benefícios

131

Tabela 19 – Principais benefícios x beneficiários

133



LISTA DE ABREVIATURAS

AAM	Advanced Asset Management
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ADO	Advanced Distribution Operation
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMM	Advanced Meter Management
AMR	Automated Meter Reading
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASCA	Japan Smart Community Alliance
ATO	Advanced Transmission Operation
BPL	Broad Power Line
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCM	Centro de Controle de Medição
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CESAR	Centro de Estudos e Sistemas Avançados de Recife
CIS	Customer Information System
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DMS	Distribution Management System
EEGI	European Electricity Grid Initiative
EISA	Energy Independence and Security Act
EMS	Energy Management System
ENEL	Ente Nazionale l'Energia Elettrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética



EPRI	Electric Power Research Institute
EPS	Electric Power System
ERP	Enterprise Resource Planning
ETP	Smart Grids European Technology Platform
FACTS	Flexible AC Transmission System
FECC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FIT	Feed-in
FITec	Fundação para Inovações Tecnológicas
FV	Fotovoltaica
G2V	Grid-to-Vehicle Charging
GD	Geração Distribuída
GHG	Greenhouse gas
GIS	Geographic Information System
GLD	Gerenciamento do Lado da Demanda
GPRS	General Packet Radio Service
HACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
HAN	Home Area Network – Rede Domiciliar
HVDC	High Voltage Direct Current
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	International Engineering Task Force
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IP	Internet Protocol
ISGTF	India Smart Grid Task Force & Forum
JSCA	Japan Smart Community Alliance
KSGI	Korea Smart Grid Institute
Lactec	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LAN	Local Area Network – Rede Local
LLC	Controle de Ligação Lógica
MAN	Metropolitan Area Network - Redes Metropolitanas
MCTI	Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação



MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
MDM	Meter Data Management
MDMS	Meter Data Management System
MKE	Ministry of Knowledge Economy
MME	Ministério de Minas e Energia
MoP	Ministry of Power
MPLS	Multiprotocol Label Switching
NIST	National Institute of Standards and Technology
O.N.S	Operador Nacional do Sistema
OMPI	Organização Mundial de Propriedade Individual
OMS	Outage Management System
OSI	Open System Interconnection
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PLC	Power Line Communication
PMU	Phase Measurement Unit
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
PSM	Plano de Substituição de Medidores
PVG	Planta Virtual de Geração
R-APDRP	Re-Structured Accelerated Power Development and Reforms Program
RBT	Redes de Baixa Tensão
REI	Rede Elétrica Inteligente
RF	Radio Frequência
RI	Rede Inteligente
RMT	Redes de Média Tensão
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SG	Smart Grid
SGCC	State Grid Corporation of China
SGDP	Smart Grid Demonstration Program
SGIG	Smart Grid Investment Grant
SIBMA	Sistema Brasileiro de Multimedição Avançada
SIN	Sistema Interligado Nacional
SQL	Structured Query Language
TI	Tecnologia da Informação



TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TOU	Time Of Use
U.E	União Europeia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
US DDE	Departamento de Energia dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo
V2G	Discharging Vehicle-to-Grid
VE	Veículo Elétrico
VH	Veículos Híbridos
VLPGO	Very Large Power Grid Operators
WAAPCA	Wide-Area Adaptive Protection, Control and Automation
WAN	Wide Area Network - Redes de Longa Distância
WANS	Wide Area Network Systems
WASA	Wide Area Situational Awareness
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMS	Workforce Management System

Documentos Técnicos disponíveis:

- 01 - 10 – Avaliação do programa de apoio à implantação e modernização de centros vocacionais tecnológicos (CVT)
- 02 - 10 – Energia solar fotovoltaica no Brasil
- 03 - 10 – Modelos institucionais das organizações de pesquisa
- 04 - 10 – Rede de inovação tecnológica para o setor madeireiro da Amazônia Legal
- 05 - 10 – Quadro de atores selecionados no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: Universidades brasileiras
- 06 - 10 – Quadro de atores selecionados no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação: Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação
- 07 - 10 – Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025
- 08 - 10 – Biocombustíveis aeronáuticos: Progressos e desafios
- 09 - 10 – Siderurgia no Brasil 2010-2025
- 10 - 11 – Inovações Tecnológicas em Cadeias Produtivas Selecionadas: Oportunidades de negócios para o município de Recife (PE)
- 11 - 11 – Avaliação do impacto da Olimpíada Brasileira de Matemática nas Escolas Públicas (OBMEP)
- 12 - 11 – Eletrônica Orgânica: contexto e proposta de ação para o Brasil
- 13 - 12 – Análises e percepções para o desenvolvimento de uma política de CT&I no fomento da energia eólica no Brasil
- 14 - 12 – *Roadmap* tecnológico para produção, uso limpo e eficiente do carvão mineral nacional: 2012 a 2035
- 15 - 12 – Inovações tecnológicas em cadeias produtivas selecionadas - Oportunidade de negócios para o município de Recife (PE): saúde, logística, petróleo e gás
- 16 - 12 – Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional



cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**