

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
Curso de Engenharia Elétrica

TIAGO DE MORAES BARBOSA

**SMART GRID:
AS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES DO FUTURO**

Itatiba
2010

TIAGO DE MORAES BARBOSA - 002200600860

**SMART GRID:
AS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES DO FUTURO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. D.r Geraldo Peres Caixeta

Itatiba
2010

A todos que sonham e acreditam em um mundo
melhor e que lutam para que isso se torne realidade.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me dar forças para sempre seguir em frente e jamais desistir perante aos empecilhos que surgiram no decorrer desse trabalho, durante todo o curso e também a cada dia de minha vida, pois sem minha fé, jamais teria conseguido chegar até aqui.

Aos meus pais, sem os quais eu não estaria aqui, pela educação que me foi passada e pela paciência e compreensão que tiveram no decorrer no trabalho de conclusão de curso.

Aos meus amigos e professores do SENAI, pois foi através da influência do curso de Aprendizagem Industrial de Eletricista de Manutenção que decidi seguir o caminho da Engenharia Elétrica, portanto esse foi o primeiro passo e todos que participaram desse momento foram essenciais.

A todos meus amigos de sala, principalmente ao Tiago Pereira Barbosa, o qual considero praticamente como um irmão, ao Edson de Jesus Lopes, um grande parceiro na elaboração de vários relatórios e resolução de exercícios, ao João Carlos Cecato, sempre nos ajudando com seus conhecimentos práticos, ao Lauri Filipe de Farias, um grande amigo que apesar de muitas vezes ter se arriscado em provas, sempre se esforçou e se recuperou e também a Carolina Delanina Françoso que faz parte desse grupo e teve grande participação em nossa formação. Esse grupo foi essencial não só para os estudos, mas também para os vários momentos de descontração, sem os quais, teria sido muito mais difícil conseguir chegar aqui.

Ao meu orientador Geraldo Peres Caixeta, pelo qual possuo grande admiração por seu vasto conhecimento na área de engenharia elétrica e por sua excelência como profissional da área acadêmica.

Aos meus companheiros de trabalho, principalmente ao Fábio Cassucci Gaino e ao Edro Wolter.

Enfim a todos que de alguma forma me motivaram em diversos momentos ou ajudaram diretamente ou indiretamente nesse trabalho de conclusão de curso.

“If you can't measure it, you can't improve it”

Lord Kelvin

RESUMO

Com o constante aumento da demanda por energia elétrica e da escassez dos principais recursos utilizados na geração desta se faz necessário a realização de uma mudança do sistema elétrico, o qual possui uma configuração antiga e muito vulnerável a falhas. Essa mudança poderia se tornar realidade através da implantação do Smart Grid, que transformaria todas as redes elétricas e tudo que está conectado a elas em um sistema inteligente, no qual haveria comunicação bidirecional para se realizar trocas de informações entre as diferentes partes que irão compor esse sistema, visando garantir que todos os consumidores continuem tendo acesso à energia com segurança e com qualidade cada vez maior, devido ao aumento da confiabilidade e da eficiência do processo de distribuição de energia. Através dessa implantação também se pretende reduzir a emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente para ajudar no combate ao problema do aquecimento global. Esse trabalho apresenta as necessidades para a realização da mudança do sistema de energia elétrico atual, as oportunidades que surgirão com essa mudança e também apresenta informações importantes relacionadas ao Smart Grid, a enorme importância de se realizar estudos cautelosos para se definir padrões e normas que garantam a interoperabilidade do sistema e permitam realizar as várias interfaces que serão necessárias para que essa transformação ocorra.

Palavras-chaves: smart grid. energia elétrica. sistema elétrico. redes inteligentes. interoperabilidade.

ABSTRACT

With the constant increase of demand by the electric energy and the scarcity of the principals resources used in this generation it does necessary the realization of an electric system change, which one possess an old configuration and so vulnerable to flaws. This change could become reality through the implantation of Smart Grid that would transform every electric grids and everything that is connected to them on an intelligent system, which one has a bidirectional communication to realize changes of information between the different parts that will compose this system, aiming to guarantee that every consumers continue having access to energy with security and with quality bigger and bigger, due the increase of reliability and efficiency of the process energy distribution. Through this implantation also intends to reduce the gas emission harmful to the environment to help on the combat the problem of global harming. This work presents the necessities to the realization of the change on electric energy system actual, the opportunities that will appear with this change and also presents important information related with Smart Grid, the huge importance to realize cautious studies to define patterns and norms that guarantee an interoperability of the system and allow many interfaces that will be necessities for this transformation happens.

Key-words: Smart Grid, electric energy, electric system, intelligent grids, interoperability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Esquema do Sistema de Energia Atual.....	17
FIGURA 2 – Gráfico do Consumo Total de Eletricidade.....	19
FIGURA 3 – Gráfico do Consumo per capita.....	20
FIGURA 4 – Gráfico das Perdas na Distribuição de Energia Elétrica.....	21
FIGURA 5 – Gráfico da Distribuição da Capacidade Termelétrica – Maio/2008.....	26
FIGURA 6 – Gráfico da Distribuição da Capacidade Termelétrica – Dez/2017.....	26
FIGURA 7 – Gráfico da Evolução da capacidade instalada termelétrica do SIN.....	27
FIGURA 8 – Gráfico das Emissões (Máximas) de CO ₂ equivalente (Megaton) por Subsistema.....	27
FIGURA 9 – Gráfico das Emissões de Gases do Efeito Estufa, por combustível utilizado.....	28
FIGURA 10 – Gráfico da Emissão anual de GEE da geração de eletricidade em diversos países.....	29
FIGURA 11 – Gráfico da Comparação das emissões de CO ₂	30
FIGURA 12 – Gráfico do Mercado Fotovoltaico em 2009.....	34
FIGURA 13 – Fotografia da Central Fotovoltaica de Amareleja.....	35
FIGURA 14 – Gráfico da Potência Eólica Total Instalada no Mundo (MW).....	37
FIGURA 15 – Gráfico das Principais Produtores de Energia Eólica do Mundo (%).....	38
FIGURA 16 – Gráfico da Previsão Anual do Mercado Eólico por Região entre 2009-2014.....	40
FIGURA 17 – Gráfico da Previsão Acumulada do Mercado Eólico por Região entre 2009-2014.....	40
FIGURA 18 – Fotografia do Parque Eólico Offshore de Thanet.....	41

FIGURA 19 – Gráfico da Estrutura da Oferta Segundo a Natureza da Fonte Primária de Geração – Brasil 2008.....	44
FIGURA 20 – Gráfico - Brasil: Vendas anuais de automóveis (milhões de unidades).....	47
FIGURA 21 – Esquema da Configuração Típica – PLC.....	51
FIGURA 22 – Fotografia do Master PLC e ponto de injeção do sinal.....	52
FIGURA 23 – Fotografia dos Tipos de Modens PLC.....	52
FIGURA 24 – Fotografia da Utilização do repetidor no medidor de energia do consumidor..	53
FIGURA 25 – Gráfico das Curvas de Duração de Carga.....	56
FIGURA 26 – Exemplo de como a GD pode minimizar problemas de interrupções no fornecimento de energia.....	57
FIGURA 27 – As oito camadas para determinar os requisitos de interoperabilidade de Smart Grid e definir a troca de informações na rede.....	63
FIGURA 28 – Interação de agentes em diferentes domínios de Smart Grid através de Fluxos de Comunicação Segura e Fluxos Elétricos.....	67
FIGURA 29 – Diagrama detalhado de um modelo de Smart Grid.....	68
FIGURA 30 – Redes para troca de informação.....	70
FIGURA 31 – Exemplo de um Sistema de Informação Georreferenciado.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Consumo no Brasil em Mega Watts.....	22
TABELA 2 – Brasil - Consumo de Energia Elétrica na Rede, por Classe (GWh).....	23
TABELA 3 - Sistema Interligado Nacional (SIN) e Subsistemas. Índice de Perdas (%).....	23
TABELA 4 – Estimativa do Potencial Eólico Mundial.....	37
TABELA 5 – Potencial Eólico Instalado no Brasil – Período de 2002-2009.....	39
TABELA 6 – Comparação dos Custos de Rodagem: Carro Elétrico VS. Carro Tradicional...	43
TABELA 7 – Comparação de tipos de baterias utilizadas em veículos elétricos.....	45
TABELA 8 – Brasil: Vendas anuais de automóveis (milhões de unidades).....	47
TABELA 9 – Domínios e Agentes no Modelo Conceitual do Smart Grid.....	66

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Fator de emissão de CO₂ por quantidade de combustível c consumido.....24

EQUAÇÃO 2 - Fator de emissão de CO₂ por quantidade de energia gerada pela usina j no ano y (tCO₂/MWh).....25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
USF	Universidade São Francisco
PLC	Power Line Communication
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
GEE	Gases do Efeito Estufa
FEEC	Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
INAE	Instituto Nacional de Altos Estudos
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNAD	Plano Nacional por Amostras de Domicílio
BPL	Broadband Power Line
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
GD	Geração Distribuída
SBPE	Sociedade Brasileira de Planejamento Energético
DPCA	Distributed Power Coalition of America
AMI	Advanced Metering Infrastructure
EISA	Energy Independence and Security Act
NIST	National Institute of Standards and Technology
GWAC	GridWise Architecture Council
WAN	Wide Area Networks

FAN	Field Area Network
IED	Intelligent Electronic Device
PAN	Personal Area Networks
LAN	Local Area Networks
IP	Internet Protocol
IEFT	Internet Engineering Task Force
GIS	Geographic Information System
DMS	Distribution Management System
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 NECESSIDADES DE MUDANÇA: SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE ENERGIA	16
3 NECESSIDADES DE MUDANÇA: CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E PERDAS EM SUA DISTRIBUIÇÃO	19
4 NECESSIDADES DE MUDANÇA: MEIO AMBIENTE	24
5 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: ENERGIA ALTERNATIVA	31
5.1 Energia Solar	31
5.2 Energia Eólica	35
6 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: VEÍCULO ELÉTRICO	42
7 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: PLC (<i>POWER LINE COMMUNICATION</i>)	49
8 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	54
9 SMART GRID	59
9.1 ARQUITETURA	62
9.2 MODELO DE REFERÊNCIA	64
9.3 Smart Grid e GIS	72
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o setor de energia, não só no Brasil, mas no mundo inteiro está sofrendo com a crescente escassez dos principais recursos naturais utilizados em sua geração, além do fato de que a demanda por energia só tende a aumentar, fazendo com que os atuais ativos não suportem tais mudanças, gerando altos investimentos. Devido a esses fatores, aliado ao grande problema do aquecimento global, o qual, praticamente todos os países buscam maneiras de reduzir, se torna visivelmente necessária a realização de uma grande evolução voltada ao sistema elétrico, transformando todo o sistema em uma rede mais inteligente, conhecidas atualmente como “Smart Grid”, as redes do futuro, para que se possa garantir que todos os clientes continuarão tendo acesso à energia com segurança e qualidade.

Muito provavelmente ocorrerá uma revolução digital nos próximos anos que irá provocar uma enorme mudança em nossas vidas, principalmente na forma como se consome energia, e não só isso, também afetará a forma de se distribuir e produzir esta mesma energia.

Desde o surgimento da eletricidade e a descoberta da corrente alternada por Nikola Tesla, talvez essa seja considerada a maior revolução da história voltada para esse setor, até mesmo porque desde essa época até os dias atuais, a forma de se distribuir energia continua sem grandes alterações. Por meio da eletricidade, houve grandes alterações no modo de vida de toda a população, trazendo um conforto maior, mais comodidade e até mesmo mais segurança, além de ter sido totalmente necessária para as descobertas, pesquisas e invenções que foram e continuam sendo desenvolvidas após seu surgimento.

Nos dias de hoje existem várias pesquisas com foco em projetos relacionados à Smart Grid, porém comparado a enorme necessidade e urgência da transformação do setor de energia, pode se dizer, que deveria existir um maior incentivo por parte dos setores públicos, no sentido de tentar atingir um maior número de investidores, todos aqueles que possuem interesses nessa área (*stakeholders*).

Através da implantação do Smart Grid, todas as redes do sistema iriam se comunicar entre si de uma forma inteligente, pois este é o foco das redes Smart Grid, “inteligência”. Seria realizada uma grande automatização do sistema com medidores de qualidade de energia e medidores inteligentes no consumidor final, além de sensores inteligentes espalhados por

diversos pontos da rede, tudo isso em tempo real, o que faria com que o sistema de cada cliente se comunicasse diretamente com a concessionária que lhe fornece energia, ou seja, seria uma rede bidirecional, visando à eficiência, a confiabilidade e a segurança do transporte de energia, além do fato de que existiriam várias informações trafegando por entre as redes. Com as redes inteligentes a eficiência energética se tornaria cada vez melhor, assunto bastante estudado atualmente, com projetos espalhados pelo mundo, porém ainda sem apresentarem grandes resultados. Paralelo a isso também haveria possibilidades de se integrar fontes de energia alternativa em qualquer ponto da rede, fazendo com que qualquer pessoa tivesse a oportunidade de gerar, armazenar e vender energia, o que resultaria em uma considerável melhoria para o meio ambiente, visando à sustentabilidade, tanto com relação aos recursos naturais utilizados hoje para a geração de energia elétrica quanto na questão da redução do aquecimento global e provavelmente haveria um aumento em investimentos em veículos elétricos, pois estes também poderiam se tornar fontes através de suas baterias que poderiam armazenar energia em horários de baixa demanda e vendê-la em horários de pico, caso não estivessem em uso. E ainda aumentariam as chances de se transmitir dados pela rede elétrica, através da tecnologia PLC (*Power Line Communication*), que apesar de já existirem algumas aplicações, ainda estão em fase de desenvolvimento e estudo de viabilidade, buscando levar Internet a todos, resultando em uma inclusão digital.

Este trabalho abordará uma visão geral voltada para cada parte que envolve Smart Grid. Ele será dividido em três partes: as necessidades da realização de uma mudança no setor de energia, mostrando a situação atual da energia no mundo, o constante aumento do consumo e a relação com o meio ambiente; as oportunidades que podem surgir com essa mudança, como a utilização de mais fontes de energia alternativa, e o aumento dos veículos elétricos e por último uma apresentação do que poderão ser as tão desejadas redes inteligentes.

2 NECESSIDADES DE MUDANÇA: SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE ENERGIA

Nos primeiros tópicos serão apresentadas as principais necessidades para a realização de uma mudança no sistema de energia elétrico, visando demonstrar a importância dessa transformação e da realização dela o quanto antes para se evitar muitos problemas e minimizar ao máximo a ocorrência de falhas que podem vir a se tornar cada vez mais constantes nas redes elétricas, considerando o modelo atual.

Atualmente a demanda por energia só tem crescido devido ao constante aumento do número de consumidores, tanto residenciais, quanto industriais, porém ainda não houve alterações na forma como funciona o sistema energia, o que está fazendo com que os problemas relacionados a este só aumentem.

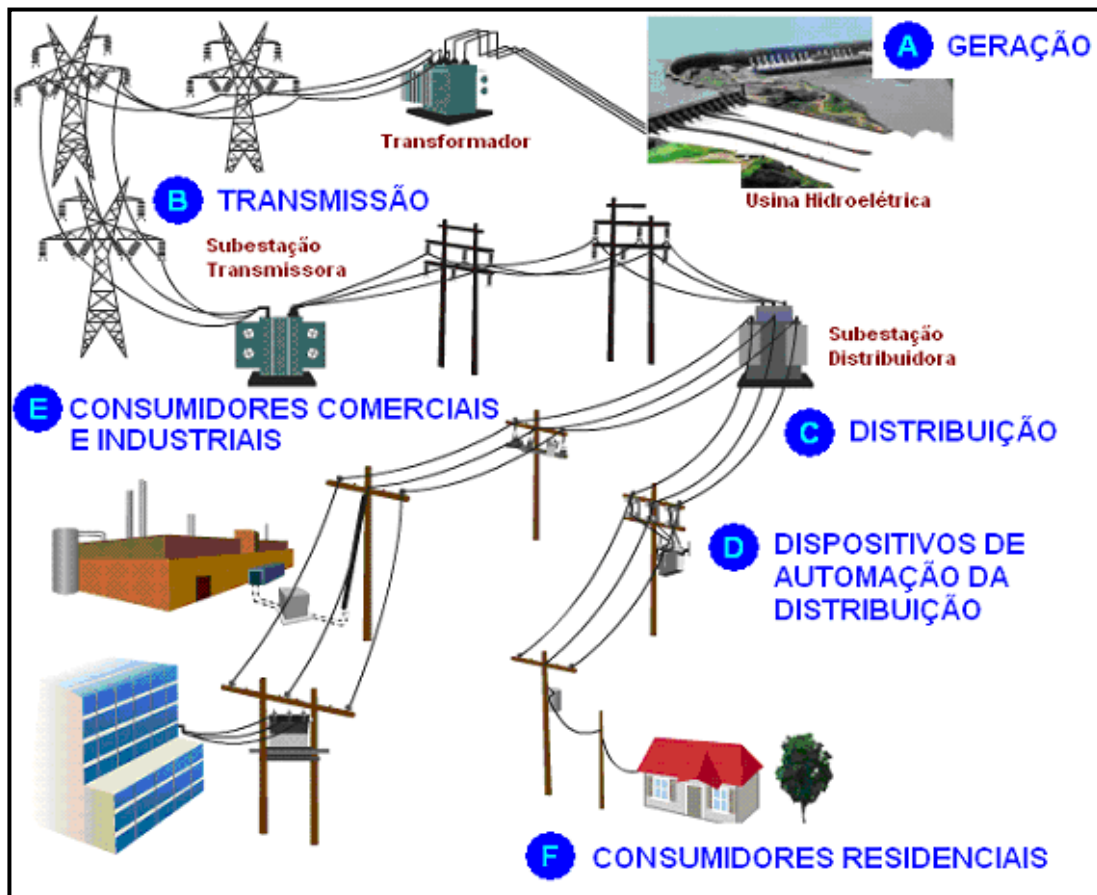
Como exemplo dos problemas que estão surgindo devido ao escasso sistema de distribuição de energia pode se citar um dos maiores blecautes já ocorridos no Brasil, no dia 10 de novembro de 2009, o qual desligou 18 estados brasileiros e também o Paraguai. Conforme as notícias, esse problema teve origem relacionada a fenômenos atmosféricos nas linhas que ligam Itaipu ao sistema sudeste.

Um caso parecido ocorreu em 2003 nos Estados Unidos, país considerado o maior consumidor de energia do mundo, quando aproximadamente 55 milhões de consumidores ficaram as escuras, mesmo com o fato de que seu sistema de energia possuía uma confiabilidade próxima a 100%.

O sistema de potência atual é um sistema unidirecional, que se inicia na geração, passa pela transmissão e pela distribuição, até chegar ao consumidor de energia elétrica, portanto, caso ocorra uma interrupção na transmissão, a distribuição perde o fluxo de energia, fazendo com que toda a carga conectada a essa rede se desligue.

Esse modelo pode ser considerado antigo, já que desde que Thomas Edson fundou a *Electric Light Company* em Nova York, em 1879, não houve uma evolução considerável deste modelo, logo é plausível, que por mais correta que esteja a previsão do tempo, por melhor que seja a operação do sistema realizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) no caso do Brasil e por mais usinas novas que sejam construídas, no caso de uma interrupção em qualquer ponto do sistema, com esse sistema atual, é inevitável a ocorrência de um blecaute.

Abaixo pode se ver uma figura que representa um diagrama básico simplificado da rede elétrica existente, desconsiderando as fontes de energia alternativa que foram adicionadas em alguns pontos do sistema recentemente.



Fonte: Retirado do artigo “Rede Inteligente: por que, como, quem, quando, onde?”, disponível no site www.redeinteligente.com

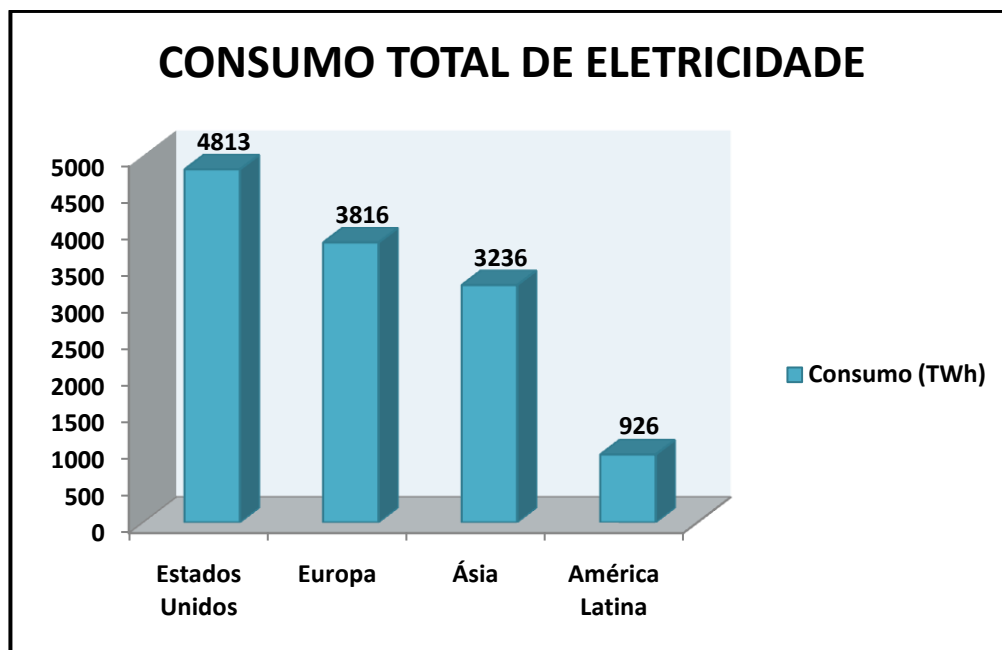
FIGURA 1 – Esquema do Sistema de Energia Atual

Como pode ser observado na figura 1, o modelo tem início na geração de energia (A), no caso apresentado, através de uma usina hidroelétrica, porém existem outras formas de se gerar energia. Após a geração as usinas injetam eletricidade em um determinado sistema. Para facilitar a transmissão (B), a energia injetada passa por transformadores para elevar sua tensão, fazendo com que sua corrente diminua, o que reduz a bitola dos condutores utilizados. Na transmissão o sistema é dividido nas subestações transmissoras, as quais são responsáveis para enviar a energia para o sistema de distribuição (C). Então as subestações distribuidoras são encarregadas de levar essa energia até os clientes, que podem ser consumidores residenciais (F) ou consumidores comerciais e industriais (E). Tanto na transmissão quanto na

distribuição, existem vários equipamentos de automação da rede, porém esses equipamentos utilizados atualmente já não são suficientes para garantir a segurança e a qualidade do sistema de energia.

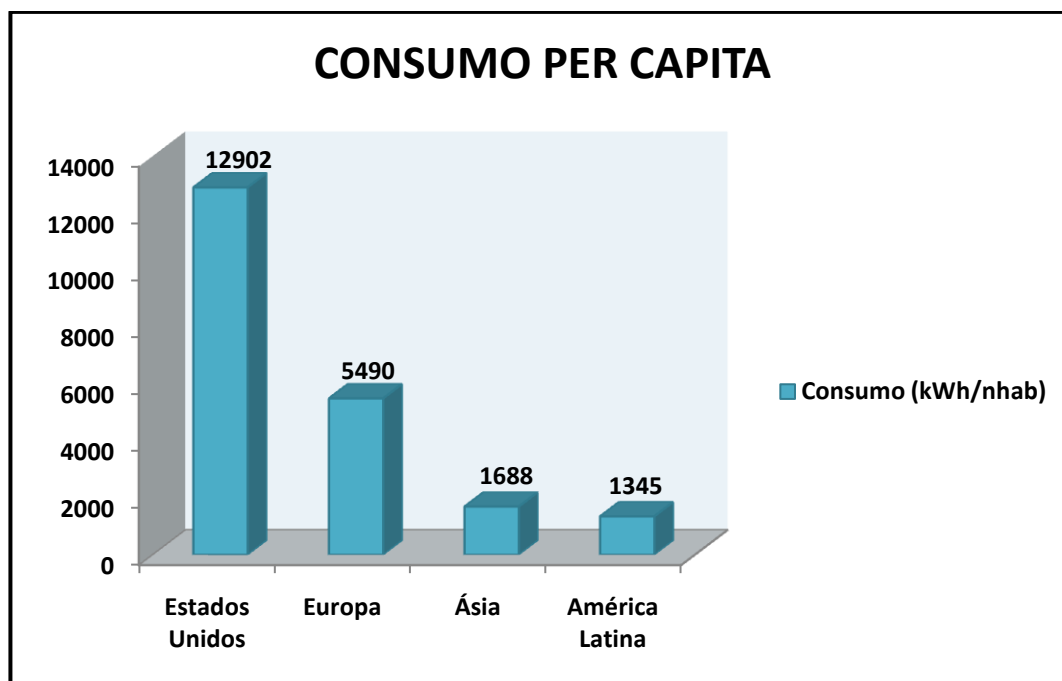
3 NECESSIDADES DE MUDANÇA: CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E PERDAS EM SUA DISTRIBUIÇÃO

Os dois gráficos a seguir mostram dados relacionados ao consumo de energia elétrica no mundo atual. O primeiro mostra simplificadaamente o consumo aproximado nos pontos, onde se encontram os principais consumidores do mundo. Já o segundo nos dá uma estimativa do consumo per capita nesses pontos.



Fonte: Adaptado da apresentação de Cyro Vicente Boccuzzi no Fórum Latino Americano (2009)

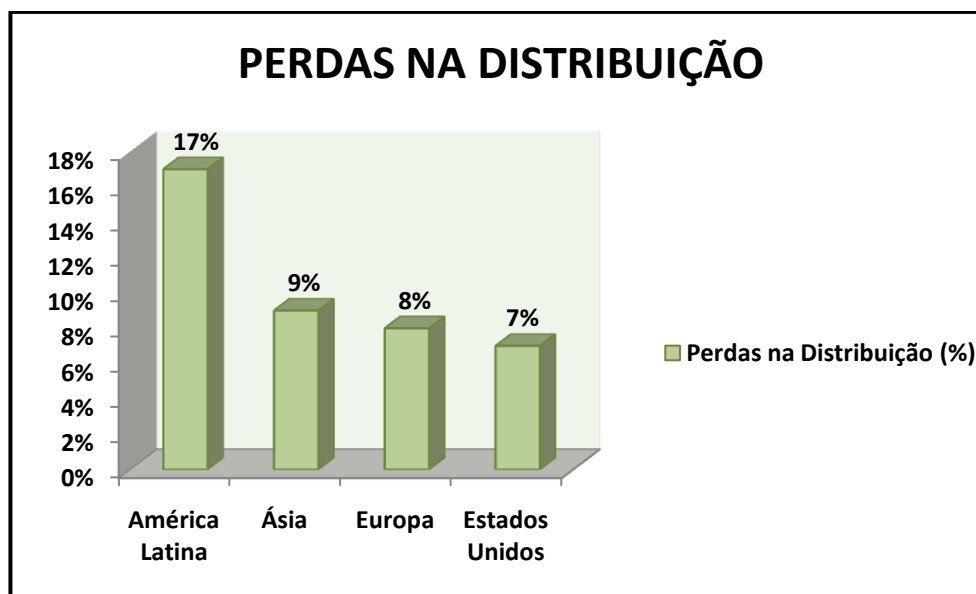
FIGURA 2 – Gráfico do Consumo Total de Eletricidade



Fonte: Adaptado da apresentação de Cyro Vicente Boccuzzi no Fórum Latino Americano (2009)

FIGURA 3 – Gráfico do Consumo per capita

Já o gráfico da figura 4, mostrado abaixo, dá uma visão sobre a enorme perda existente no momento da distribuição de energia elétrica. Mesmo levando em consideração o fato de os Estados Unidos serem os maiores consumidores de energia, a maior perda ocorre na América Latina, onde o sistema atual de distribuição é muito precário.



Fonte: Adaptado da apresentação de Cyro Vicente Boccuzzi no Fórum Latino Americano (2009)

FIGURA 4 – Gráfico das Perdas na Distribuição de Energia Elétrica

Considerando os últimos gráficos é possível perceber que tanto para o caso de consumo de energia, quanto para o caso de perdas dessa mesma, os índices estão diretamente relacionados à economia do país. Para os casos dos países desenvolvidos, o consumo de eletricidade é muito maior comparado ao consumo de países em desenvolvimento ou aos considerados países de terceiro mundo, já que devido ao fato de sua economia ser melhor, os consumidores acabam utilizando uma demanda de energia muito maior para suprir suas necessidades. No caso das perdas também ocorre uma divergência considerável, porém de forma contrária ao consumo, portanto quanto maiores forem os índices de desenvolvimento de um determinado país, menores são as suas perdas, levando em consideração que seu sistema de energia possui uma qualidade maior. Com isso pode se dizer que o consumo de energia elétrica é diretamente proporcional a economia de um país, o contrário das perdas do sistema elétrico que são inversamente proporcionais.

A tabela 1 indica o consumo médio no Brasil segundo o órgão ONS até abril de 2010.

TABELA 1 - Consumo no Brasil em Megawatts

MWmed		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
SIN	2010	55.714	58.457	58688	55917	55470	54808	55218	55548	57332			
	2009	49.983	52.271	53.737	50.911	50.066	49.676	50.832	51.409	53.348	53.725	56.169	54.626
	2008	51.307	52.077	52.523	52.374	50.732	51.182	51.373	52.497	52.765	54.101	52.341	49.255
SE/CO	2010	34.339	35.996	36094	34610	34153	33727	34218	34596	35831			
	2009	30.278	32.076	33.128	31.205	30.923	30.343	31.331	31.799	33.099	33.081	34.914	33.547
	2008	31.323	31.753	32.575	31.200	31.413	31.824	31.929	32.870	32.737	33.686	31.891	29.571
S	2010	9.444	10.120	9890	9111	8959	9134	9216	9152	9328			
	2009	8.570	9.130	9.253	8.649	8.363	8.472	8.565	8.491	8.633	8.817	9.331	9131
	2008	8.908	9.132	8.893	8.688	8.234	8.539	8.613	8.498	8.524	8.699	8.735	8.481
NE	2010	8.168	8.482	8743	8305	8425	8116	7972	7907	8205			
	2009	7.521	7.527	7.732	7.457	7.197	7.194	7.330	7.497	7.948	8.172	8.230	8.242
	2008	7.582	7.624	7.457	7.507	7.415	7.162	7.186	7.416	7.743	7.944	7.997	7.547
N	2010	3.766	3.859	3961	3892	3932	3831	3811	3892	3.968			
	2009	3.613	3.538	3.624	3.600	3.583	3.667	3.606	3.621	3.667	3.654	3.694	3706
	2008	3.494	3.567	3.597	3.641	3.671	3.657	3.646	3.713	3.760	3.771	3.718	3.656

Fonte: Adaptado dos dados do órgão ONS (2010)

Nessa tabela verifica se que ocorreu um aumento no consumo em 2010 comparado aos anos de 2009 e 2008. Primeiro é mostrado os dados do Sistema Interligado Nacional (SIN) e depois os dados divididos entre as regiões SE/CO (Sudeste/Centro-Oeste), S (Sul), NE (Nordeste) e N (Norte). Muito provavelmente esse índice continuará aumentando, tanto no que diz respeito às residências, quanto no que diz respeito aos setores comerciais e industriais.

Assim como ocorre no mundo, ao se comparar as diferentes regiões do Brasil pode ser observado através da Tabela 1 - Consumo no Brasil em Mega Watts, que existe uma diferença de consumo de energia entre as áreas mais desenvolvidas (SE/CO) e as demais (S/ NE / N).

Nas tabelas a seguir é possível observar uma projeção com relação ao consumo e as perdas de energia até o ano de 2017 realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e publicada pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Na tabela 2, é realizada a projeção com relação às principais classes de consumo, já na tabela 3 é realizada a projeção com relação ao índice de perdas por subsistemas brasileiros e também do SIN.

TABELA 2 – Brasil - Consumo de Energia Elétrica na Rede, por Classe (GWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outras Classes	Total
2008	94.294	181.166	61.128	56.359	392.946
2009	98.883	189.089	64.952	58.720	411.644
2010	104.355	197.448	69.515	61.411	432.730
2011	109.940	205.132	74.332	64.195	435.599
2012	115.718	212.277	79.448	67.111	474.554
2013	121.654	220.528	84.830	70.105	497.117
2014	127.768	229.014	90.496	73.187	520.466
2015	134.081	237.784	96.465	76.362	544.692
2016	140.583	249.198	102.760	79.637	572.178
2017	147.408	259.468	109.407	83.020	599.303
Período	Acréscimo (GWh)				
2008-2017	57.508	83.908	51.286	28.929	221.630
Período	Variação (% ao ano)				
2008-2012	5,3	4,0	6,8	4,5	4,8
2012-2017	5,0	4,1	6,6	4,3	4,8
2008-2017	5,1	4,1	6,7	4,4	4,8
Ano	Estrutura de Participação (%)				
2008	24,0	46,1	15,6	14,3	100,0
2012	24,4	44,7	16,7	14,1	100,0
2017	24,6	43,3	18,3	13,9	100,0
*Não inclui Autoprodução					

Fonte: Adaptado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1

TABELA 3 - Sistema Interligado Nacional (SIN) e Subsistemas. Índice de Perdas (%)

Subsistema	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Norte	17,4	17,2	17,1	16,9	19,3	18,8	18,4	17,9	17,4	16,9
Nordeste	18,3	18,1	17,8	17,6	17,4	17,2	17,0	16,8	16,5	16,3
Sudeste/CO	16,6	16,5	16,4	16,2	16,0	15,8	15,6	15,4	15,2	15,0
Sul	11,7	11,6	11,6	11,6	11,6	11,5	11,5	11,5	11,5	11,4
SIN	16,1	16,0	15,9	15,7	15,8	15,6	15,4	15,2	15,0	14,8
*Notas: Não inclui autoprodução										
*Inclui as interligações dos sistemas isolados Acre/Rondônia e Manaus/Macapá/margem esquerda do Amazonas.										

Fonte: Adaptado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1

4 NECESSIDADES DE MUDANÇA: MEIO AMBIENTE

Como foi possível verificar no tópico anterior “Consumo de Energia Elétrica”, a demanda por energia só está aumentando, pois com o passar dos dias a dependência da energia elétrica para se realizar inúmeras atividades e também para o modo de vida da sociedade atual está em contínuo crescimento, o que faz com que seja necessário o aumento de sua geração, para que seja ofertada uma maior quantidade de energia. Porém, o processo de geração de energia acarreta impactos no meio ambiente, o que, mesmo muitos não percebendo (muitas vezes, mesmo percebendo, não associam a tal fato), acaba provocando o surgimento de alterações no bem estar e nos custos relacionados à sociedade. Devido a isso, torna-se necessário o desenvolvimento de políticas visando atender a essa crescente demanda energética, porém sem deixar de lado a grande preocupação com relação à conservação do meio ambiente, de forma a se utilizar da melhor maneira os recursos ambientais, utilizando sempre que possível, fontes de energia alternativa, as quais, precisam ser continuamente estudadas para se tornarem cada vez mais viável em suas aplicações. Paralelo a isso também através dessas políticas será possível abranger um desenvolvimento social e um desenvolvimento econômico, ambos diretamente relacionados com a situação da energia em um determinado país.

Um dos grandes problemas encontrados na atualidade é a questão do aquecimento global, problema no qual as usinas termelétricas possuem grande influência, pois elas são responsáveis por uma quantidade considerável de emissão CO₂. A emissão do CO₂ ocorre devido à queima do combustível para a geração de energia e varia de acordo com o combustível utilizado.

As equações 1 e 2 apresentam uma maneira de calcular a quantidade de CO₂ emitida por uma usina termelétrica anualmente [Cálculo dos fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil].

$$FC_c = CE_c \times FE_c \times OX_c \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

$$FT_{jy} = \frac{\sum_c [CC_{cyj} \times FC_c]}{G_{jy}} \quad (2)$$

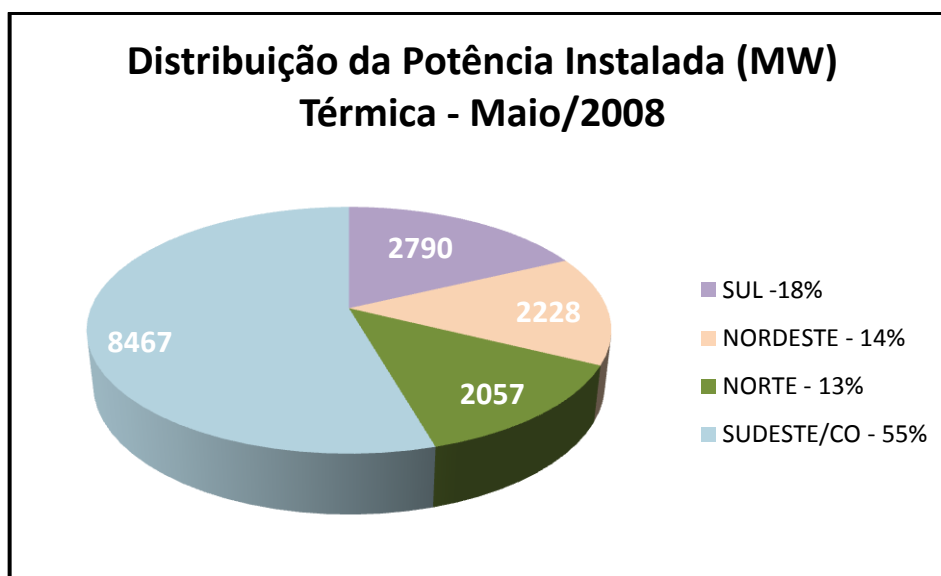
onde:

- FC_c : Fator de emissão de CO₂ por quantidade de combustível c consumido (tCO₂/U_c)
 - CE_c : Conteúdo de energia por unidade de combustível c (TJ/U_c)
 - FE_c : Fator de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível c (tC/TJ)
 - OX_c : Fator de oxidação do combustível c (adimensional)
 - FT_{jy} : Fator de emissão de CO₂ por quantidade de energia gerada pela usina j no ano y (tCO₂/MWh)
 - CC_{cyj} : Consumo de combustível c pela usina j no ano y (U_c)
 - G_{jy} : Geração de energia elétrica pela usina j no ano y (MWh)
- * t – tonelada; c – variável que representa o combustível; j – variável que representa a usina; y – variável que representa o ano

De acordo com o PDE – 2008 – 2017, Volume 1, até o final de 2007 existiam no SIN, desconsiderando os sistemas isolados, 57 usinas termelétricas, sendo que dessas 57, 19 utilizam como combustível, o gás natural, 17 utilizam o óleo diesel, 9 utilizam o carvão, 9 utilizam o óleo combustível, 2 utilizam o urânio e 1 utiliza o vapor. A potência total gerada por essas usinas termelétricas é igual a 13.293 MW. Existem muitas novas usinas termelétricas previstas para os próximos anos, pois, esta é considerada uma forma eficiente e barata de se gerar energia comparada com as demais, porém mesmo com vários estudos para tornar essa forma de geração “mais limpa”, a poluição gerada através da emissão do CO₂ causada pelas termelétricas, continua sendo significativa, o que faz com que esse processo seja incluído na lista das causas do aquecimento global.

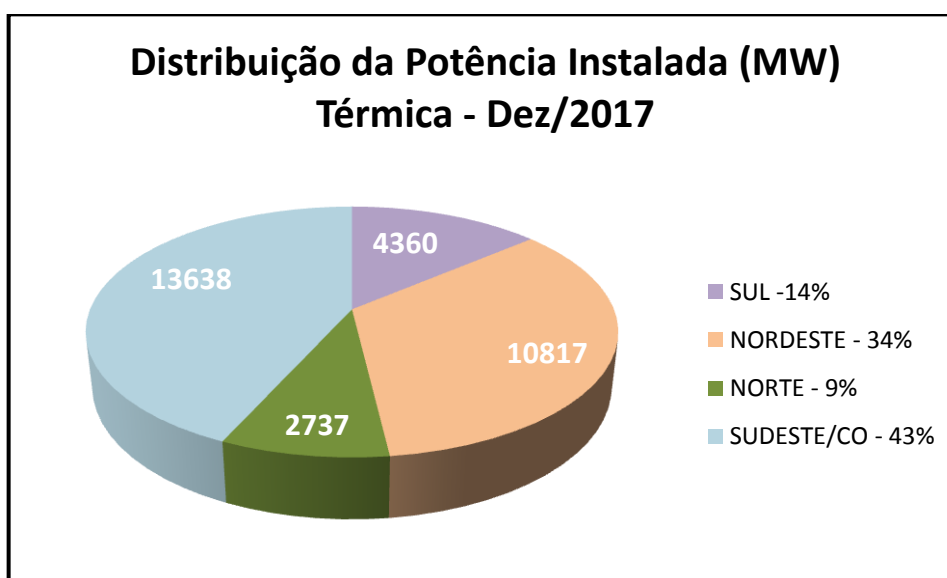
Nos gráficos das figuras 5 e 6, é apresentada a participação da capacidade instalada termelétrica por subsistema no Brasil. No gráfico da figura 5, a distribuição da potência de termelétricas instalada em Megawatts até maio de 2008 e no gráfico da figura 6, uma

estimativa da mesma distribuição para dezembro do ano de 2017. Verifica-se que em ambos os casos, a capacidade relacionada às regiões Sudeste e Centro Oeste é a maior, provavelmente pelo fato de que os pólos econômicos do país se localizam nessas regiões, porém é na região Nordeste que está prevista o maior crescimento com relação à capacidade de termelétricas instaladas.



Fonte: Adaptado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

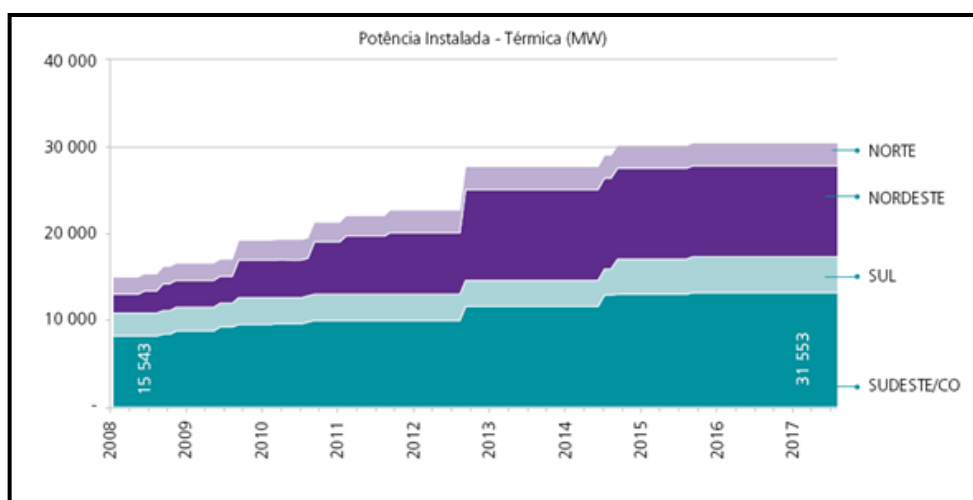
FIGURA 5 – Gráfico da Distribuição da Capacidade Termelétrica – Maio/2008



Fonte: Adaptado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

FIGURA 6 – Gráfico da Distribuição da Capacidade Termelétrica – Dez/2017

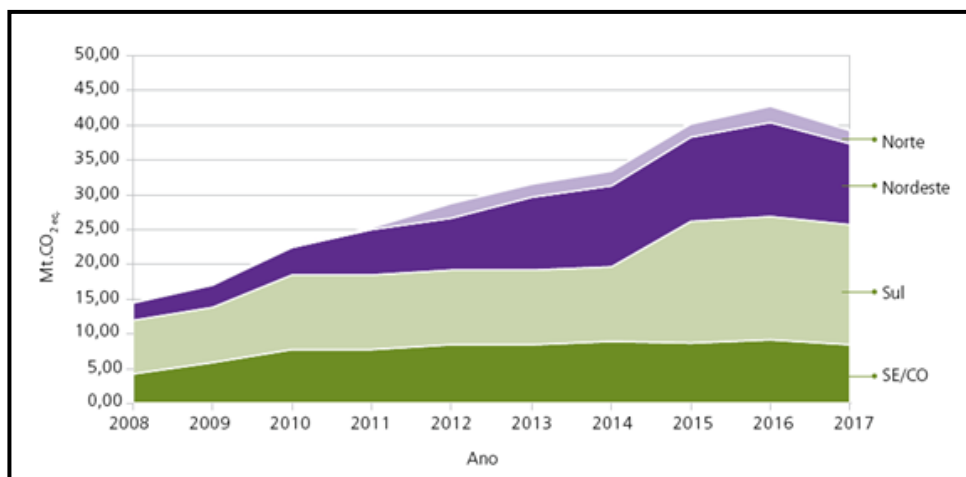
Já no gráfico da figura 7, observa-se a evolução da capacidade termelétrica instaladas no SIN no período de 2008 a 2017, considerando os mesmos estudos utilizados nos gráficos das figuras 5 e 6. De acordo com os dados apresentados a capacidade termelétrica passaria de 15543 MW (2008) para 31553 MW (2017), o que representaria um aumento percentual de aproximadamente 103 %.



Fonte: Retirado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

FIGURA 7 – Gráfico da Evolução da capacidade instalada termelétrica do SIN

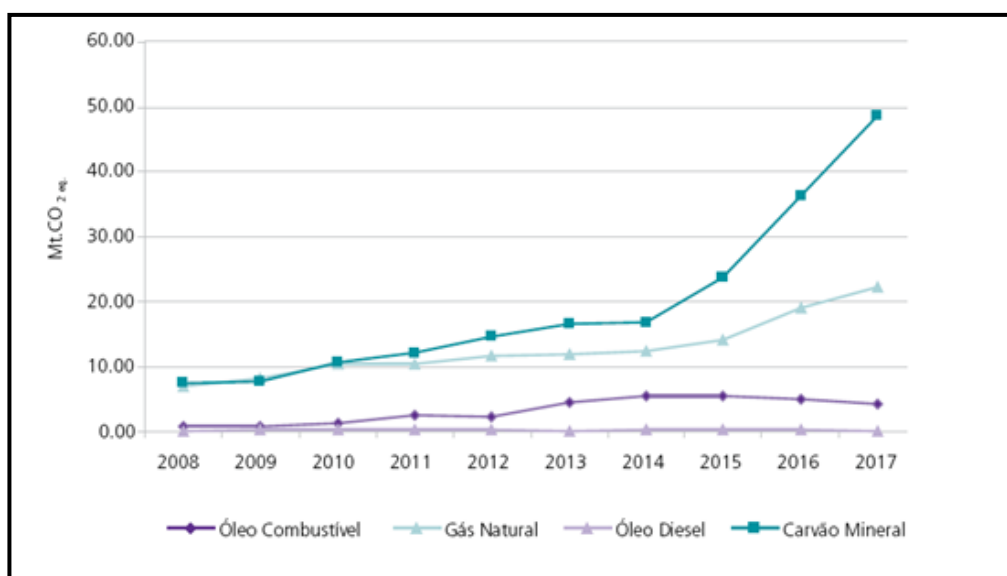
Utilizando a configuração de referência do PDE 2008-2017, Volume 1, a estimativa da emissão de gases de efeitos estufa para o ano de 2017, causadas devido as usinas termelétricas, chegaria a 39,3 Megaton (equivalente a 1 000 000 de toneladas) de CO₂ equivalente, o que resultaria em um aumento de mais de 170% com relação ao ano de 2008. Pode-se observar no gráfico da figura 8, levando em consideração essa estimativa, que todos os subsistemas do Brasil teriam um aumento significativo de emissões de gases de efeito estufa, com destaque para o Norte e Nordeste.



Fonte: Retirado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

FIGURA 8 – Gráfico das Emissões (Máximas) de CO₂ equivalente (Megaton) por Subsistema

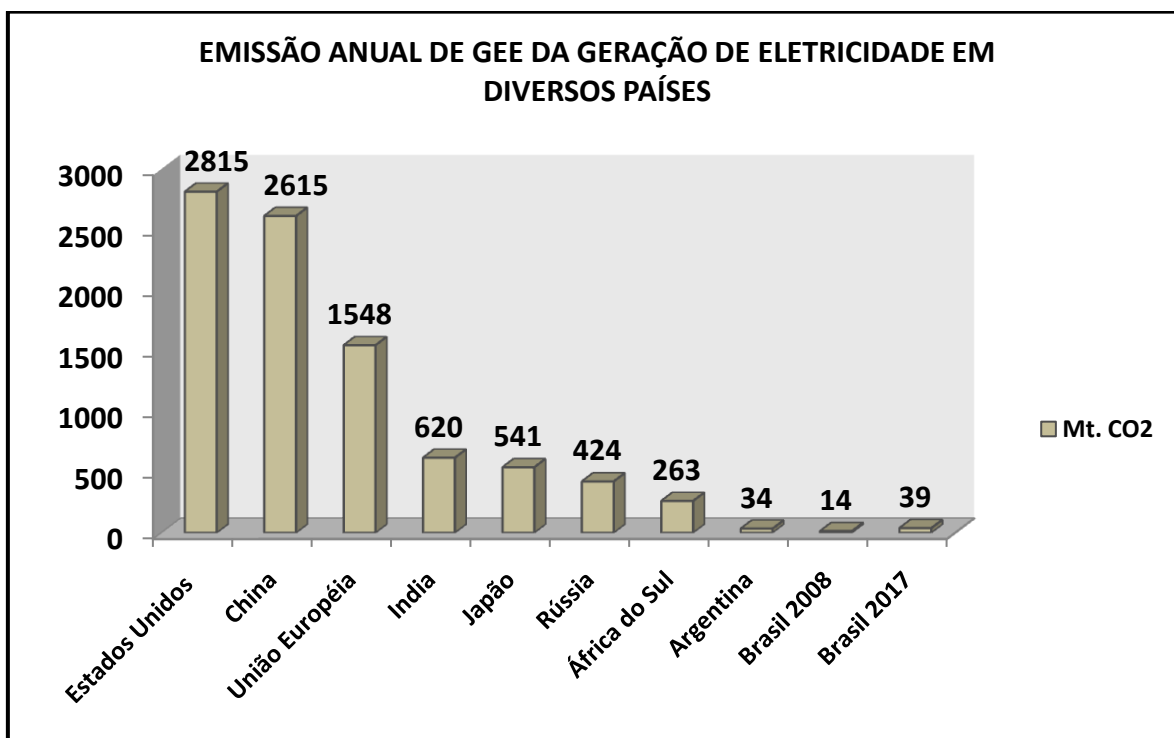
Ainda de acordo com o PDE – 2008 – 2017, Volume 1, levando em consideração a postergação de usinas hidrelétricas e analisando uma possível alternativa, o aumento das emissões de gases de efeito estufa provenientes das termelétricas seria ainda maior, como mostrado no gráfico da figura 9, no qual observa-se que o carvão mineral seria o maior causador desse problema, chegando a atingir o volume de 49 Megaton. CO₂ equivalente em 2017. Para essa alternativa as emissões de gases do efeito estufa, poderiam atingir, no ano de 2017, 75 Megaton CO₂ equivalente.



Fonte: Retirado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

FIGURA 9 – Gráfico das Emissões de Gases do Efeito Estufa, por combustível utilizado

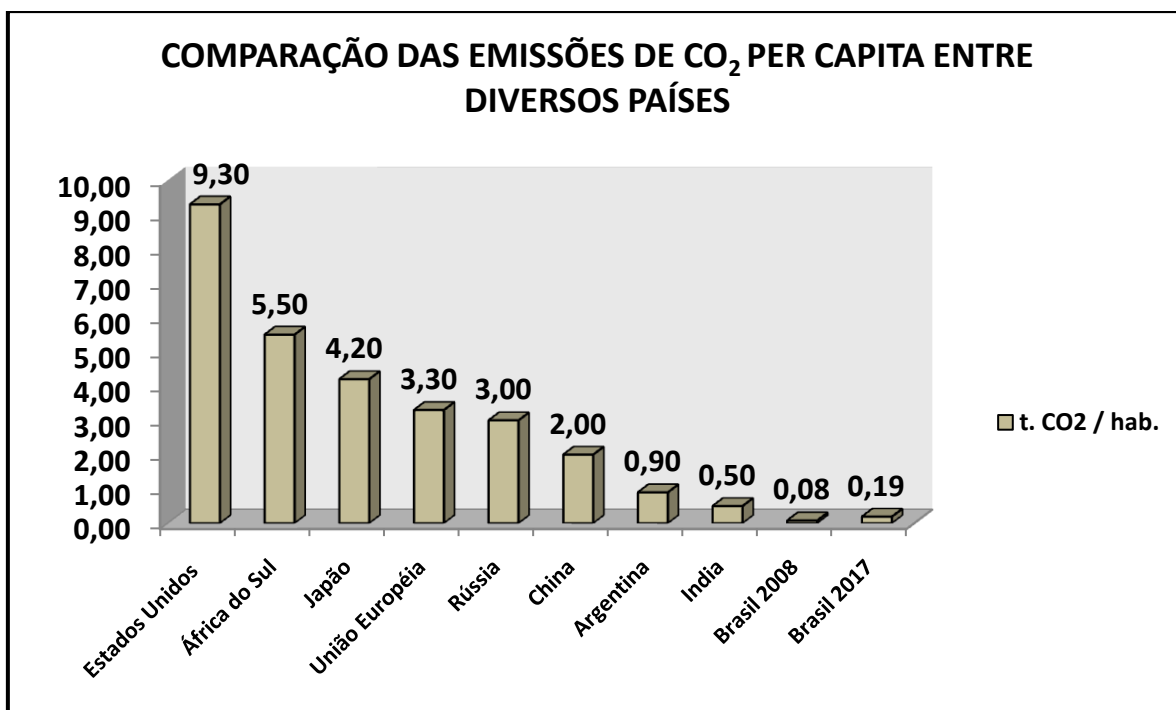
Mesmo com esse grande aumento da emissão de gases do efeito estufa através da geração de energia elétrica, o Brasil, ainda estaria com um patamar bem abaixo comparado a outros países, pois a matriz energética no Brasil não tem como fonte principal as termelétricas e a maior parte da emissão desses gases ocorre devido a outras causas, como por exemplo, a enorme quantidade de queimadas que ocorrem no país, mas embora no Brasil já existam ações visando a redução da poluição causada pela geração de energia esse patamar pode se tornar ainda melhor. Considerando a configuração de referência do PDE 2008-2017, obtém-se o gráfico da figura 10, que representa a emissão de gases do efeito estufa em alguns países.



Fonte: Adaptado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

FIGURA 10 – Gráfico da Emissão anual de GEE da geração de eletricidade em diversos países

No gráfico da figura 11, observa-se o comparativo entre as emissões de CO₂ per capita de alguns países, no qual, considerando os países analisados, o Brasil possui o menor índice.



Fonte: Adaptado do Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017, EPE, Volume 1.

FIGURA 11 – Gráfico da Comparação das emissões de CO₂

Uma forma de se melhorar os índices relacionados as emissões de gases de efeito estufa a partir da geração de energia elétrica, seria o aumento de investimentos em fontes de energia alternativa e também em redes inteligentes, o que iria favorecer a utilização dessas fontes e pelo fato de gerenciar toda a rede, não haveria a necessidade da geração de energia pensando sempre na carga máxima do sistema, pois a geração poderia funcionar de acordo com a necessidade da demanda.

5 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: ENERGIA ALTERNATIVA

Nos tópicos seguintes serão apresentadas as principais oportunidades que poderão surgir com a implantação do Smart Grid, as quais poderão vir a se tornar cada vez melhores e mais viáveis, caso haja a integração com esse sistema.

As fontes de energia alternativa são consideradas fontes de energia limpa, não poluente, uma forma de se gerar energia elétrica de forma eficiente através de recursos naturais, que a princípio são inesgotáveis, pois são renováveis e em certos casos podem ser encontrados com facilidade na natureza. Com a aplicação das redes inteligentes, a conexão de fontes de energia alternativa na rede elétrica se tornaria mais fácil, pelo fato de que se poderia inserir uma fonte em qualquer ponto da rede, o que provavelmente acarretaria no aumento de investimentos nesses tipos de fontes, além do que muitos consumidores poderiam desenvolver suas próprias fontes de energia alternativa.

Existem várias maneiras de se obter energia elétrica através de fontes alternativas, entre elas, a energia obtida através do calor do Sol e da força dos ventos, que são as duas maneiras que terão uma descrição nesse trabalho. Uma grande vantagem desses tipos de fontes de energia é o fato de não gerarem emissões de gases de efeito estufa e nem outros tipos de emissões, o que é considerado um grave problema encontrado na geração de energia elétrica através das usinas termoeletricas, como foi demonstrado anteriormente.

Porém para se desenvolver um sistema de energia renováveis, se requer vários estudos, para os casos da energia solar e eólica, por exemplo, deve se atentar para a situação climática do local onde se aplicará o sistema, visando sua viabilidade, caso contrário, pode não se obter o rendimento esperado.

5.1 Energia Solar

Pode se dizer que várias outras fontes de energia, como por exemplo, a energia das marés e a eólica dependem da energia solar para existir. A energia solar é a energia obtida por meio da energia térmica e luminosa do Sol.

Para se converter essa energia em energia elétrica, são utilizadas células fotovoltaicas. A conversão é realizada por meio do efeito fotovoltaico, no qual, ocorre a incidência da luz do Sol sobre painéis compostos por células de algum material semicondutor. Assim como outras fontes renováveis, a energia solar necessita de algum tipo de conversor eletrônico de potência para poder fazer o aproveitamento ideal da energia elétrica gerada. A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos possui tensão e corrente contínuas e devido a isso necessitam de um conversor para transformá-las em alternadas, tornando-as adequadas para uso na rede elétrica.

Além dessa conversão, existem outras aplicações para a energia solar, entre elas, um exemplo bastante conhecido, são os aquecedores solares usados para aquecimento da água, aplicados geralmente em residências e também em alguns estabelecimentos comerciais.

A geração de energia elétrica pela energia solar apresenta uma enorme vantagem, pois é possível se gerar a energia no mesmo local que se encontra o consumidor, desde que seja estudada a arquitetura do sistema para se realizar a integração. Isso faria com que as perdas decorrentes do transporte de energia (transmissão e distribuição) fossem reduzidas e nos levaria a sistemas de geração distribuída.

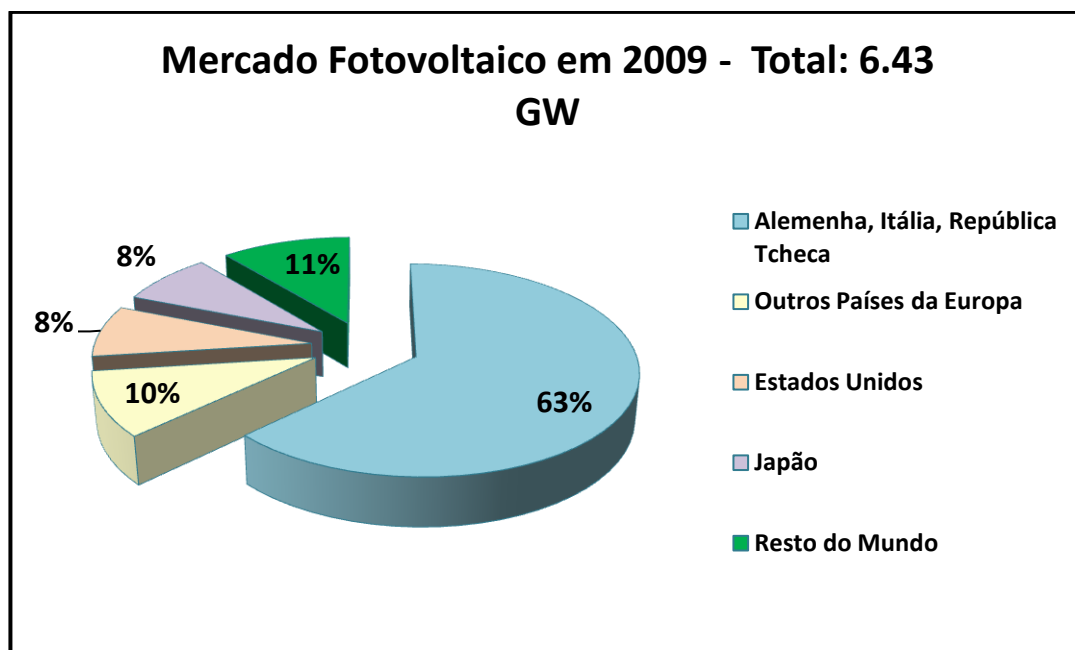
Através de um estudo realizado na Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) da Unicamp foi desenvolvido o primeiro conversor eletrônico de potência trifásica para a conexão de painéis solares à rede elétrica do Brasil. De acordo com o Jornal da Unicamp, número 453, dos dias 8 a 14 de março de 2010, o grau de eficiência do conversor é de 85% e o custo do protótipo foi de aproximadamente 15 mil reais, financiado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). A pesquisa foi conduzida pelo doutorando Marcelo Gradella Villalva e orientada pelo professor Ernesto Ruppert Filho, da FEEC.

“Este conversor substituiu plenamente, durante o período de testes, os três conversores eletrônicos monofásicos adquiridos da empresa alemã SMA, que estão atualmente ligados a esses painéis solares”, afirmou o orientador.

Ainda segundo o Jornal, com relação ao protótipo, o orientador do projeto calculou que em escala de produção o conversor tenha um custo final aproximado de R\$ 10 mil. “Existem alguns componentes que poderiam custar muito menos, caso já estivesse em escala industrial. Se compararmos o custo final de R\$ 10 mil com o custo do conversor

importado, isso significa uma redução de um terço. É realmente muito vantajoso nacionalizar essa tecnologia”, assegurou.

Na atualidade, apesar da eficiência no aproveitamento da energia solar ainda ser bastante reduzida e o investimento ser considerado alto, a capacidade dos parques solares aumenta a cada dia e essa é a forma de geração de eletricidade que mais cresce no mundo. Segundo estudos realizados pelo Instituto de Energia da Universidade da Califórnia e pela Associação das Indústrias Fotovoltaicas Européias, desde 2003, o índice de expansão da indústria voltada para esse ramo ultrapassa 50% ao ano, mas mesmo assim no Brasil ainda há poucas políticas de incentivo voltadas para esse tipo de energia. Um dos prováveis motivos é a existente abundância em energia hidráulica, embora segundo o ONS já exista uma preocupação voltada à redução da capacidade de reserva das hidrelétricas do país, além do que essa geração de energia, de certa forma ainda acaba afetando o meio ambiente. Outro fator que acaba interferindo no investimento em energia solar no Brasil é a produção do silício, pois esse elemento é produzido em nosso país de forma impura e exportado a US\$ 2 o quilo, enquanto que sua forma mais pura é importada a US\$ 60 o quilo, e o silício de alta pureza é um dos principais elementos no desenvolvimento das mais importantes células fotovoltaicas do mercado atual. Na Alemanha, país considerado líder dessa tecnologia, já há uma capacidade de 6500 MW de geração fotovoltaica, o que representa metade da energia produzida pela usina de Itaipu, enquanto que no Brasil se tem aproximadamente apenas 20 MW instalados em sistemas isolados. Mesmo levando em consideração que o Brasil possui níveis de irradiação solar superiores ao da Alemanha, a energia elétrica obtida através energia solar é muito pequena considerando a matriz energética de nosso país. No gráfico da figura 12 é mostrado o Mercado fotovoltaico em 2009.



Fonte: Adaptado do Relatório Solarbuzz 2010

FIGURA 12 – Gráfico do Mercado Fotovoltaico em 2009

De acordo com o relatório Solarbuzz 2010, que se trata de um relatório de pesquisa voltado para a evolução do mercado global de energia solar, no ano de 2009, as usinas fotovoltaicas existentes em todas as partes do mundo obtiveram um recorde de 6,43 gigawatt (GW), o que representa um crescimento de 6% em relação ao ano de 2008. A indústria fotovoltaica gerou US\$ 38 bilhões em receitas e levantou mais de US\$ 13,5 bilhões em aportes de capital, por investimento ou por empréstimos.

Ainda de acordo com os dados do Solarbuzz, o preço por watt gerado a partir da energia solar, nos Estados Unidos era igual a US\$ 4.85 em junho de 2007 e passou para US\$ 4.08 em setembro de 2010 e na Europa passou de € 4.78 em junho de 2007 para € 4.09 em setembro de 2010. Apesar de não representar uma enorme diferença, isso mostra que estão tendo investimentos voltados para esse setor, cuja tendência é crescer ainda mais.

Na fotografia da figura 13, é possível ver algumas fotos da maior central de energia solar fotovoltaica em funcionamento atualmente, localizada em Portugal, na freguesia de Amareleja, concelho (município) de Moura. Segundo o portal de Moura, foram investidos 237,6 milhões de euros para se produzir energia “limpa”. A capacidade instalada chega a 46,41 MW de pico e 35 MW de potência de injeção na rede. Em pleno funcionamento, a central produzirá 93 mil MWh por ano, energia suficiente para abastecer 30 mil famílias

portuguesas, o que evitará uma enorme quantidade de emissão de CO_2 comparando com uma produção equivalente a partir de combustíveis fósseis.



Fonte: Adaptado do Portal de Moura

FIGURA 13 – Fotografia da Central Fotovoltaica de Amareleja

No momento, estão em construção dois parques solares que irão superar a potência instalada na Central de Amareleja. Em ABU DHABI, nos Emirados Árabes Unidos está sendo construído um parque que atingirá a capacidade de 100 MW, capaz de abastecer aproximadamente 62 mil casas, enquanto que no estado do Arizona, nos Estados Unidos, o parque em construção, quando pronto, terá a capacidade de 280 MW, energia suficiente para abastecer aproximadamente 70 mil famílias.

5.2 Energia Eólica

A energia eólica representa a energia obtida pela ação do vento, ou seja, através da energia cinética contida nas massas de ar em movimento, sendo uma fonte de energia renovável de grande potencial, além de ser limpa e estar disponível em praticamente todos os lugares, porém varia de acordo com a região onde está sendo aplicada. A energia elétrica é gerada pela energia eólica através do emprego de turbinas eólicas.

Como foi citado no tópico anterior, a energia eólica é uma das energias que dependem do Sol para sua existência, pois o Sol, aquece a superfície da Terra de uma forma não

homogênea, fazendo com que sejam gerados alguns locais de alta pressão e outros locais de baixa pressão, o que por consequência faz com que o ar se mova gerando os ventos.

Assim como no caso da geração de energia elétrica através da energia solar, a geração através da energia eólica, também não produz gases de efeito estufa e nem outros tipos de emissões, além de também depender de um recurso que a princípio pode ser considerado infinito, porém para se aplicar em alguma região são necessários vários estudos antes, para se comprovar a viabilidade do projeto evitando determinados problemas, como por exemplo, a falta, ou existência de pouco vento, na região onde se aplicou/aplicará o projeto. “Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s” [GRUBB; MEYER, 1993].

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca, mas atualmente já existem mais de 30 mil turbinas eólicas em funcionamento espalhadas pelo mundo. Há anos que muitos países vêm estabelecendo metas voltada para a energia eólica, das quais muitas já foram alcançadas, surgindo novas metas. De acordo com a segunda edição do Atlas da Energia Elétrica no Brasil, elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é estimado que em 2020 o mundo tenha 12% da energia gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de mais de 1200 GW, porém é estimado que o potencial eólico bruto mundial seja aproximadamente 500 mil TWh por ano, dos quais devido a restrições socioambientais, cerca de 53 mil TWh são considerados tecnicamente aproveitáveis, o que representa algo na ordem de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

As tecnologias utilizadas na geração de energia elétrica através da energia eólica estão evoluindo cada vez mais, tornando os equipamentos mais eficientes e confiáveis, além de terem seu custo reduzido.

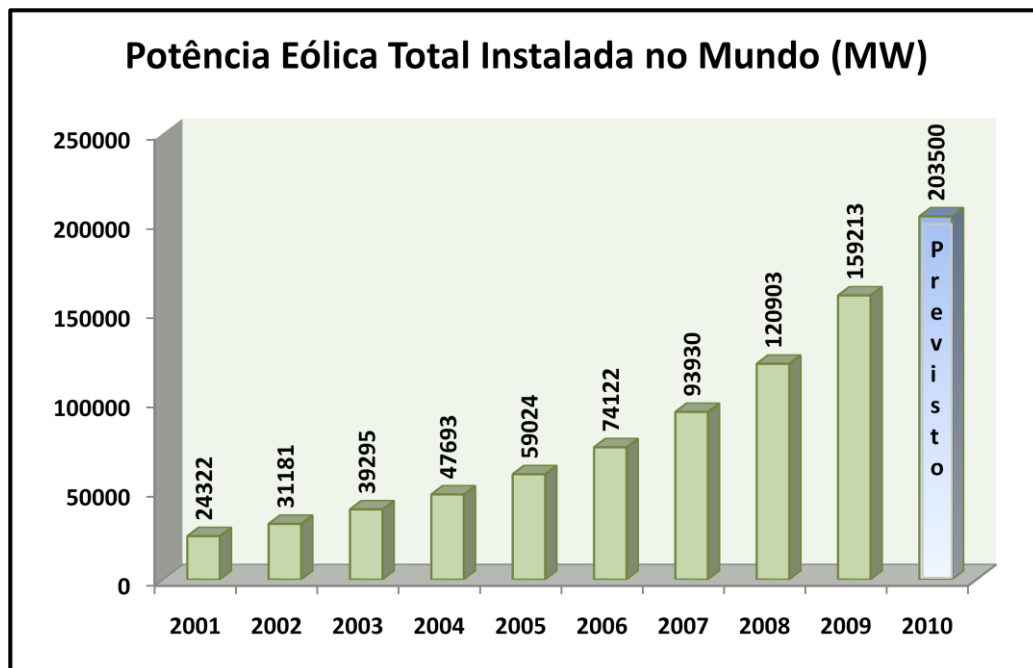
Na tabela 4, é apresentada a estimativa do potencial eólico no mundo, na qual pode se observar que o maior potencial anual, se encontra na América do Norte, o que de certa forma poderia ser uma das justificativas para que atualmente os EUA sejam líder mundial nessa forma de geração de energia e continuem investindo bastante nesse mercado.

TABELA 4 – Estimativa do Potencial Eólico Mundial

Região	Porcentagem de Terra Ocupada*	Potencial Bruto (TWh/ano)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Potencial Líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	20	10.600
Austrália	17	30.000	2	3.000
América do Norte	35	139.000	15	14.000
América Latina	18	54.000	15	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	102	4.800
Europa Oriental & ex-URSS	29	106.000	13	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	100	4.900
Total do Globo**	23	498.400	-	53.000
* Em relação ao potencial bruto; ** Excluindo-se Groenlândia, Antártida, a maioria das ilhas e os recursos offshore				

Fonte: Adaptado da segunda edição do Atlas da Energia Elétrica no Brasil

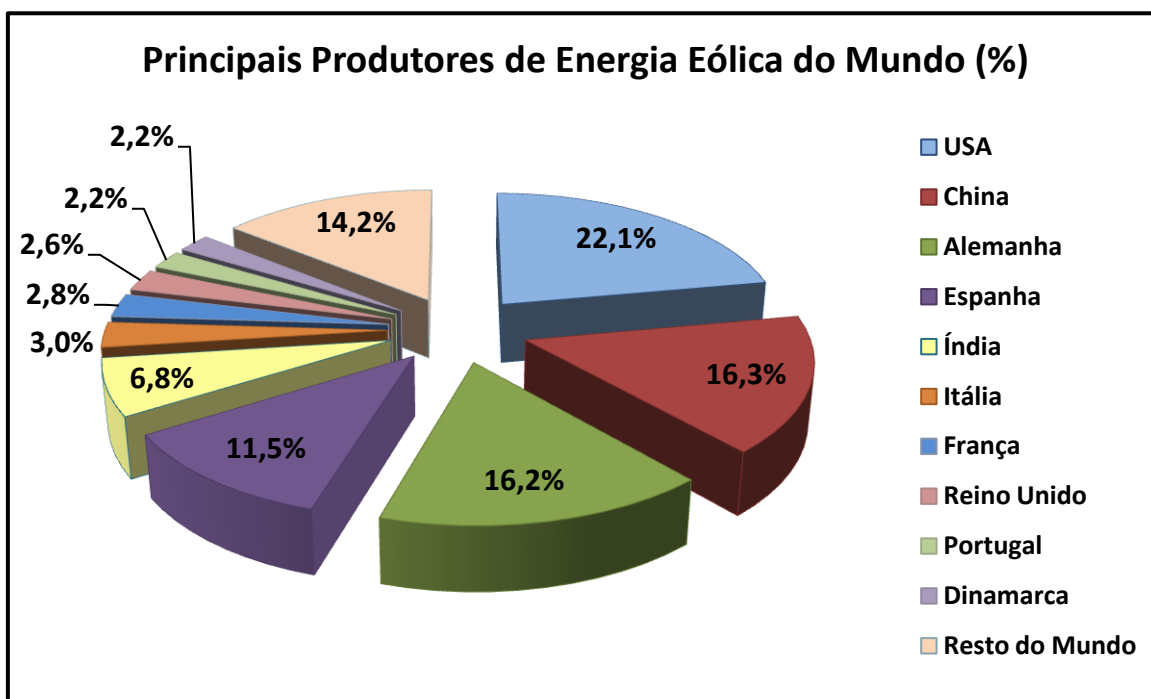
O mundo ainda utiliza pouco desse potencial eólico total que possui, embora a capacidade utilizada esteja aumentando a cada ano. No gráfico da figura 14 verifica-se que a previsão para o ano de 2010 é de mais de 200 mil MW, o que representa aproximadamente 3% do consumo de energia mundial atual.



Fonte: Adaptado do World Wind Energy Report 2009

FIGURA 14 – Gráfico da Potência Eólica Total Instalada no Mundo (MW)

Como já comentado anteriormente, os Estados Unidos é o país com maior potencial eólico instalado na atualidade, porém alguns países da Europa, como por exemplo Alemanha (que já chegou a dominar esse mercado) e Espanha também possuem uma grande fatia desse mercado. A Ásia também vem crescendo, principalmente com a China e com a Índia, principais produtores desse continente. A América Latina ainda não apresenta nenhum produtor em destaque, porém mesmo assim também vem investindo nesse setor. No caso da África, como foi apresentado na tabela 4, existe um potencial enorme para ser desenvolvido, porém os países pertencentes ao continente africano não tem condições de investir nessa tecnologia, o que faz com que todo esse potencial seja praticamente descartado. Abaixo é possível ver os principais produtores de energia eólica do mundo atualmente.



Fonte: Adaptado do World Wind Energy Report 2009

FIGURA 15 – Gráfico das Principais Produtores de Energia Eólica do Mundo (%)

No Brasil, segundo o Global Wind 2009 Report, um relatório anual que visa mostrar a situação do mercado eólico no mundo e fazer estimativas para o mesmo, a capacidade eólica ultrapassa os 350 GW. Esse relatório cita que o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) estabelecido pelo governo brasileiro, tem como um dos objetivos, ter 10% de toda energia do país sendo gerada por fontes renováveis. Na fase inicial do projeto, em 2004, foram realizados leilões compostos de 3.300 MW, divididos entre

energia eólica, biomassa e hidrelétrica de pequeno e médio porte (1.100 MW para cada tecnologia). Abaixo é mostrada uma pequena tabela que demonstra como foi o crescimento eólico do Brasil nos últimos anos.

TABELA 5 – Potencial Eólico Instalado no Brasil – Período de 2002-2009

ANO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
MW	22	29	29	29	237	247	341	606

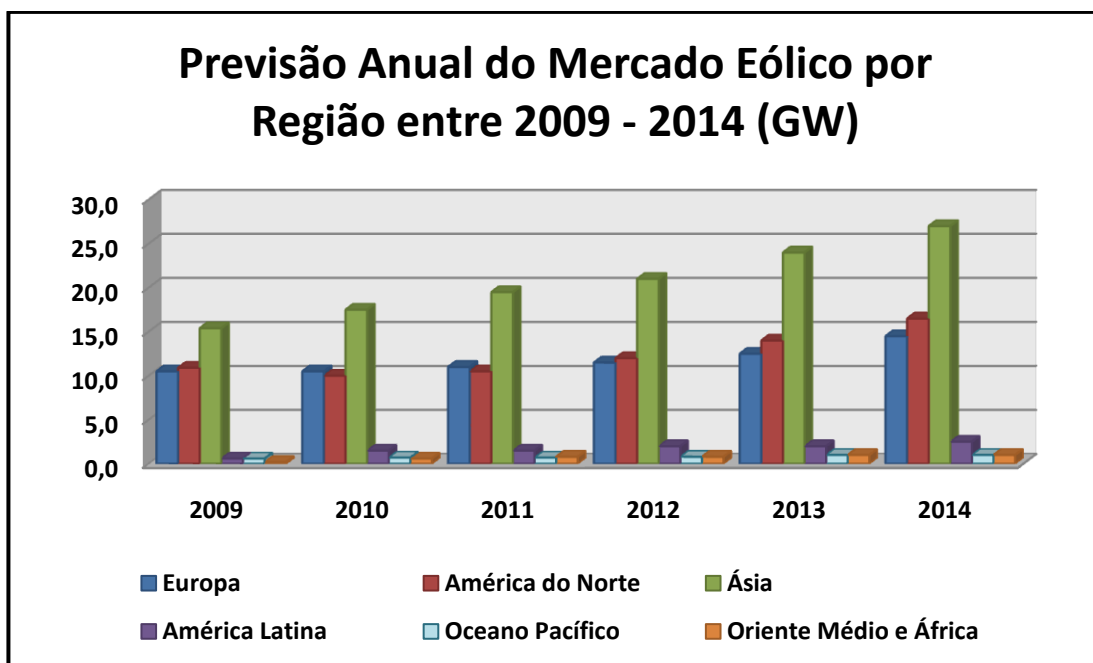
Fonte: Adaptado do Global Wind 2009 Report

Atualmente, estão em construção 154,4 MW e aproximadamente 560 MW permanecem em desenvolvimento. No ano de 2009, a ANEEL sediou um leilão, onde foram contratados 71 novos projetos, totalizando 1800 MW, os quais são apresentados a seguir:

- Rio Grande do Norte – 657 MW em 23 parques eólicos
- Ceará – 542 MW em 21 parques eólicos
- Bahia – 390 MW em 18 parques eólicos
- Rio Grande do Sul – 189 MW em 8 parques eólicos
- Sergipe – 30 MW em um parque eólico

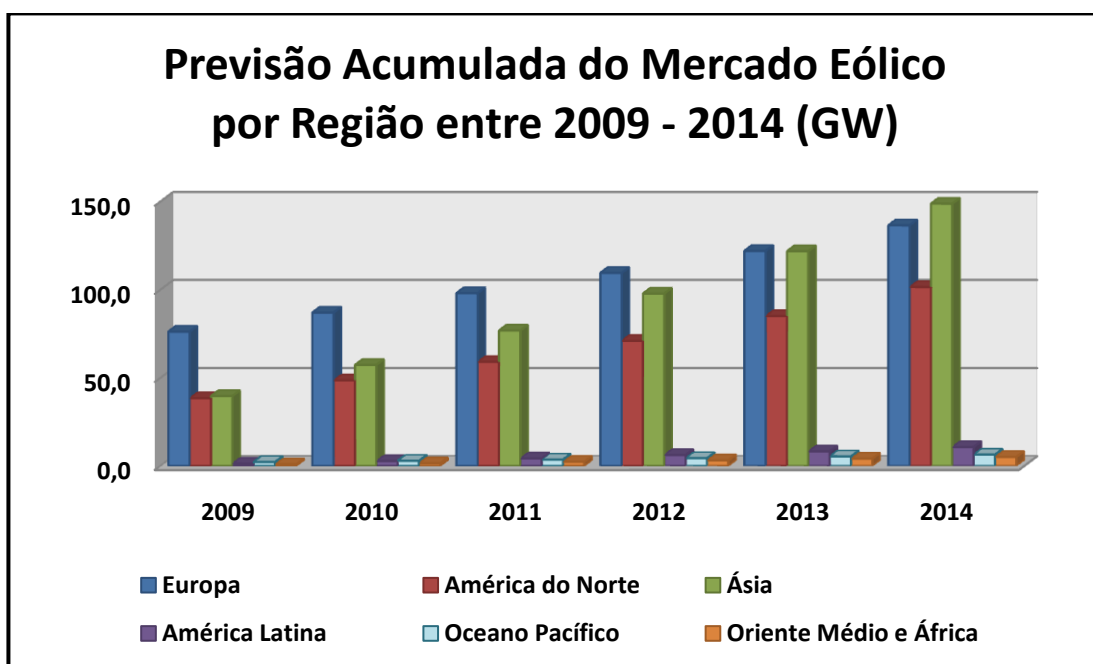
O preço obtido no leilão foi abaixo do esperado, R\$ 148 por MWh, porém devido ao grande volume leilado é possível perceber que o Brasil possui um potencial para se continuar investindo no mercado eólico.

Já nos gráficos das figuras 16 e 17, são apresentadas, a previsão anual e acumulativa do mercado eólico por região no período de 2009 à 2014 de acordo com o Global Wind 2009 Report. Observa-se que a Ásia é a região que possivelmente se destacará nesse mercado nos próximos anos, porém como é mostrado no gráfico da previsão acumulada, atualmente quem domina o mercado eólico é a Europa.



Fonte: Adaptado do Global Wind 2009 Report

FIGURA 16 – Gráfico da Previsão Anual do Mercado Eólico por Região entre 2009-2014



Fonte: Adaptado do Global Wind 2009 Report

FIGURA 17 – Gráfico da Previsão Acumulada do Mercado Eólico por Região entre 2009 - 2014

Abaixo é exibida uma fotografia do maior parque eólico offshore do mundo em operação no momento. Está localizado no Reino Unido, possui 100 turbinas aerogeradoras que são capazes de gerar energia suficiente para abastecer 200 mil casas durante um ano.



Fonte: Retirado do Portal Exame

FIGURA 18 – Fotografia do Parque Eólico Offshore de Thanet

Através dos dados apresentados nesse último tópico, percebe-se que apesar de se existir alguns empecilhos, os investimentos em fontes de energia alternativas podem se tornar cada vez mais viáveis, pois é um mercado que vem se estendendo bastante e que ainda tem muito espaço e potencial para crescer mais nos próximos anos e como já foi comentado, com as redes inteligentes esse crescimento se tornaria ainda maior e provavelmente mais rápido.

6 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: VEÍCULO ELÉTRICO

Apesar de muitas pessoas imaginarem que o veículo elétrico seja algo recente no mercado, as pesquisas direcionadas aos veículos com motores elétricos existem há muitos anos, tanto que por volta de 1837, Robert Davidson Aberdeen desenvolveu um carro movido por uma bateria rústica de ferro e zinco, o qual era impulsionado por um motor elétrico. Na década de 1990, na Califórnia, houve uma tentativa de se inserir o veículo elétrico de vez no mercado automobilístico, chegou até a se obter certa aceitação, porém devido à incessante busca pelo lucro por parte de empresas petrolíferas e também das empresas automobilísticas que não enxergavam vantagens na produção do veículo elétrico aliado a falta de incentivos por parte do governo dos EUA da época, aos problemas relacionados às baterias e as limitações do momento, não houve sucesso nessa implantação. Esse ocorrido pode ser acompanhado com maiores detalhes no documentário “Quem matou o carro elétrico” dirigido por Chris Paine e lançado por uma produtora com o nome de Electric Entertainment.

Mas nos últimos anos esse mercado ganhou força novamente. A frota de veículos no mundo inteiro vem aumentando a cada dia, consequentemente a poluição gerada por eles também aumenta. Provavelmente, um dos principais motivos que alavancou essa retomada dos investimentos voltados para os veículos elétricos esteja relacionado à enorme necessidade de se reduzir as emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente, que são causadores do efeito estufa, emissões das quais os veículos atuais possuem grande influência, embora que a tentativa citada acima também tinha esse como um dos objetivos e a idéia não obteve sucesso, porém atualmente essa necessidade é maior, os interesses e investimentos estão espalhados por todo mundo e não concentrados apenas em uma região e a divulgação é muito maior, fazendo com que o interesse por parte dos consumidores também aumente, além do que a eficiência do veículo vem aumentando cada vez mais com o passar dos anos, mas ainda assim é preciso se ter certa cautela até que esse projeto se torne uma realidade global.

Os veículos elétricos possuem muitas vantagens quando comparados com os veículos comuns. A eficiência de alguns carros com motor elétrico ultrapassa os 90%, enquanto que os carros que utilizam álcool ou gasolina como combustível não ultrapassam os 30% de eficiência. Outra vantagem é o fato de os custos com manutenção também serem reduzidos

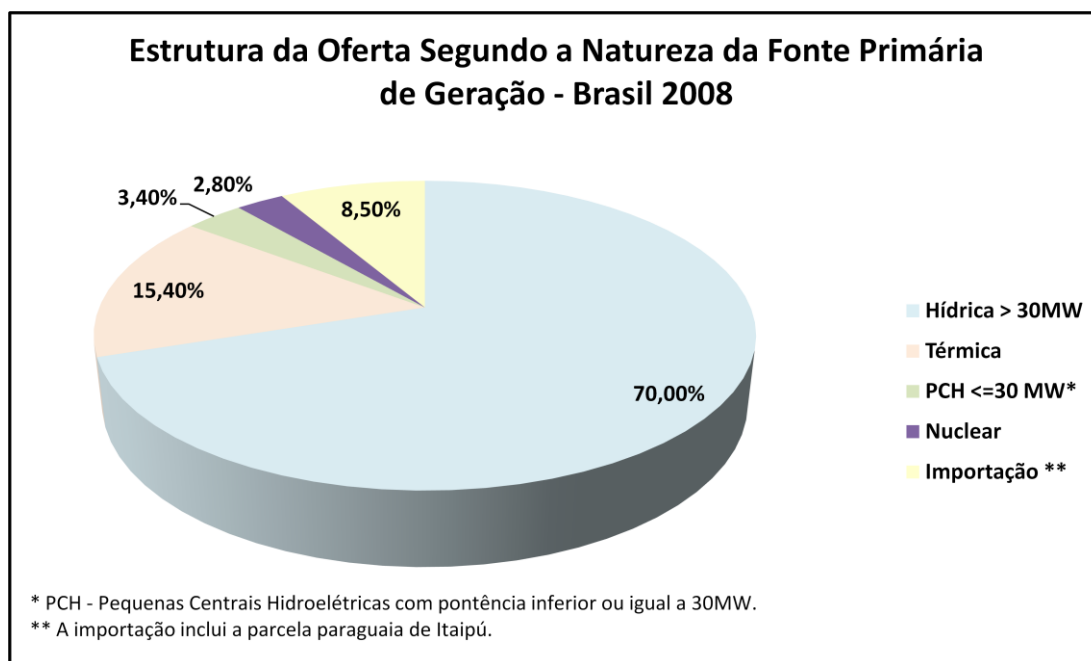
quando comparados com os gastos de um veículo comum. Na tabela 6 é demonstrado o comparativo de alguns dados do carro elétrico com o carro tradicional.

TABELA 6 – Comparação dos Custos de Rodagem: Carro Elétrico VS. Carro Tradicional

Carro Tradicional		Carro Elétrico	
km/dia	50	km/dia	50
km/mês	1500	km/mês	1500
km/l	11	kWh/km	0,18
Litros	136,36	Energia (kWh)	270
Preço Combustível (R\$)	2,50	Custo do kWh (R\$)	0,35
Custo Mensal (R\$)	340,91	Custo Mensal (R\$)	94,50
Custo por km (R\$)	0,23	Custo por km (R\$)	0,06

Fonte: Adaptado da publicação Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil

Além de tudo isso, as emissões de poluentes e gases do efeito estufa de veículos elétricos são desprezíveis, pelo menos considerando diretamente (desconsiderando as emissões decorrentes dos processos da geração da energia que será utilizada para carregar a bateria, que também deve ser analisada), o que seria muito benéfico para o Brasil, já que em nosso país os carros e as motos são os grandes responsáveis pela poluição e em nossa matriz energética, grande parte da geração de energia é constituída por fontes renováveis, consideradas limpas, como pode se observar no gráfico da figura 19. Segundo a publicação Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil, do Fórum Nacional Instituto Nacional de Altos Estudos (INAE), entidade dirigida pelo economista João Paulo dos Reis Velloso, em 2009, os carros e motos foram responsáveis por 83% do total de emissão de CO nas cidades brasileiras. Também se pode levar em consideração que os veículos elétricos são silenciosos, o que reduziria a poluição sonora, principalmente nos grandes centros urbanos.



Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional 2009

FIGURA 19 – Gráfico da Estrutura da Oferta Segundo a Natureza da Fonte Primária de Geração - Brasil 2008

O governo brasileiro vem criando alguns programas de incentivos voltados aos veículos elétricos. Por exemplo, em sete estados brasileiros (Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe), os veículos movidos a motor elétrico são isentos de IPVA, em outros três (Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, São Paulo) possuem a alíquota do IPVA diferenciada. Infelizmente devido ao momento que vive o veículo elétrico no cenário mundial, esses incentivos ainda não são suficientes, levando em consideração que o Brasil é um país com uma matriz energética favorável a implantação do veículo elétrico, já que possui um grande potencial hidroelétrico, enquanto que países que possuem uma matriz energética de certa forma desfavorável a esse tipo de veículo, acabam investindo muito mais. Nos EUA, por exemplo, o governo anunciou em agosto de 2009 a concessão de US\$ 2,4 bilhões em recursos federais para ajudar empresas e universidades na criação de baterias e veículos híbridos e elétricos, além do fato de que ainda existe um subsídio de US\$ 7.500 para aquisição de veículos elétricos.

Atualmente, o Brasil é o 5º maior consumidor e o 6º maior produtor mundial de veículos, portanto é preciso começar o quanto antes a investir mais nesse mercado, pois caso contrário, isso poderá acarretar muitas perdas, gerando no futuro a dependência de muitas

exportações para o setor automobilístico, setor considerado importante para a economia do país atualmente, além do que o setor de autopeças, que faz parte do setor automotivo, exporta para mais de 20 países, incluindo algumas potências, como Estados Unidos e Alemanha. Por esse e outros motivos, mesmo considerando que a situação do Brasil é relativamente confortável devido ao fato de ser líder na produção de veículos que utilizam combustível renovável e por ter disponibilidade de etanol e biodiesel, é preciso ficar atento a esse mercado, até porque ele não representa o fim do etanol, pois também existem pesquisas e incentivos para os veículos elétricos híbridos, onde o etanol poderia ser aplicado, o que ajudaria na autonomia do veículo, gerando mais uma vantagem e oportunidade para o Brasil. Mas a grande maioria dos países desenvolvidos possui um foco maior voltado para os veículos elétricos, por isso não se pode ficar fechado apenas para o desenvolvimento de tecnologias que utilizam etanol como combustível, pois isso poderia fazer com que o Brasil se tornasse um dos poucos consumidores dessa tecnologia, atrasando sua evolução.

Um dos maiores problemas e também um grande desafio tecnológico a superar relacionados ao veículo elétrico é a sua bateria, pois é ela que determina a autonomia do veículo, além de ter grande influência sob seu preço e seu tempo de recarga. Na tabela 7, é feito um comparativo das principais baterias utilizadas atualmente.

TABELA 7 – Comparação de tipos de baterias utilizadas em veículos elétricos

Bateria	Energia (Wh/kg)	Potência (W/kg)	Ciclos *	Custo (US\$/kWh)
Chumbo-ácido	35 - 45	250	400 - 500	160 - 210
NiMH	70	350	1350 - 1550	780 - 930
NiNaCl ₂	90 - 125	150 - 200	1000 - 3000	300 - 700
Íon de lítio	150 - 200	400	1000 - 3500	900 - 1200
* Ciclos se referem ao número total de cargas-recargas que uma bateria rende antes de não poder mais reter carga.				

Fonte: Adaptado dos dados da ABVE, 2010

Grande parte dos carros está sendo desenvolvido utilizando-se bateria à base de íons de lítio, a qual ainda não é produzida no Brasil, além do que o lítio é um material escasso hoje, o que provavelmente pode vir a se tornar um enorme problema para se produzir o carro elétrico em grande escala, pois alguns especialistas questionam a disponibilidade de lítio para suprir essa nova demanda que será gerada. Outro problema é o fato do processo de mineração desse material, no qual, as tecnologias utilizadas atualmente para a realização desse trabalho

são prejudiciais ao meio ambiente, por isso, esse também deve ser um fator a ser levado em consideração e que deve ser analisado antes de se decidir algo e definir uma solução. Também é preciso se preocupar com a reciclagem das baterias que serão utilizadas.

No Brasil já existem aplicações voltadas para o carro elétrico. Pode-se citar como um exemplo recente, o contrato assinado no dia 21 de outubro desse ano entre a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) e a Empresa de Correios e Telégrafos, o qual visa à utilização do veículo elétrico na entrega de Sedex na cidade Campinas (SP). Esse carro possui uma autonomia entre 90 km e 120 km, o suficiente para utilização urbana diária, embora esse ano um veículo já atingiu a marca de 1000 km, o que representa o recorde atual de distância percorrida por um veículo elétrico com uma recarga.

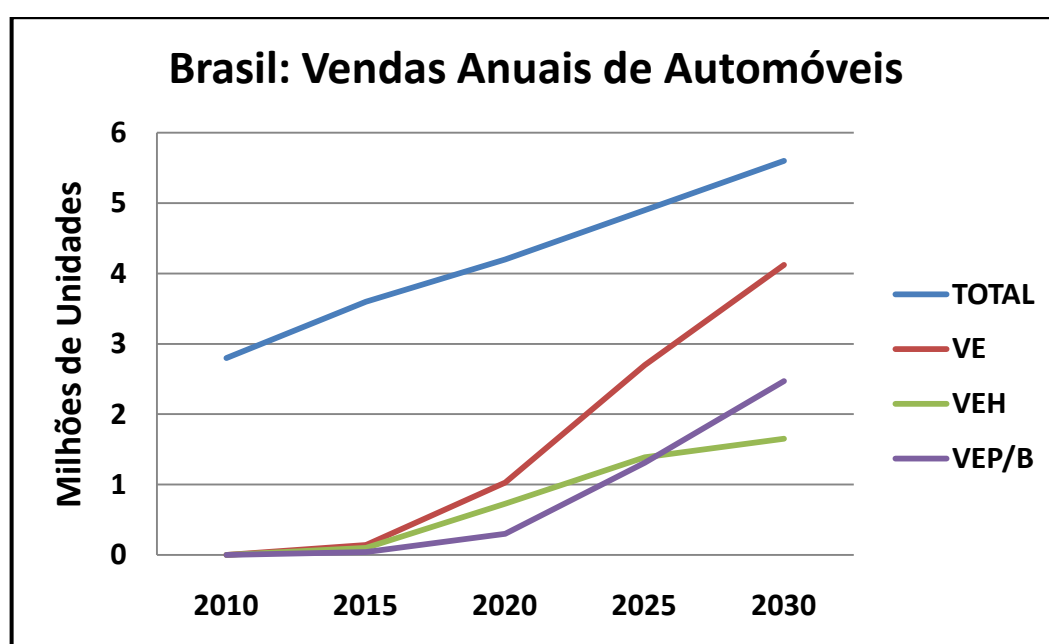
Ainda não se pode considerar que o Brasil está definitivamente pronto para receber o veículo elétrico. Já se possui alguns postos elétricos, o primeiro começou a funcionar no dia 10 de junho do ano passado dentro de um posto da BR Distribuidora, na Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, mas mesmo assim a infra-estrutura do país ainda não está preparada, é preciso começar a desenvolver produtos e tecnologias para esse novo mercado e também realizar estudos para regulamentações e para a rede de distribuição, que provavelmente sofrerá algumas alterações. Não somente o governo, mas empresas e grandes centros comerciais também já devem ficar atentos para isso, pois devem adequar suas instalações para que se torne possível qualquer pessoa, no caso das empresas, os funcionários, recarregarem seus veículos enquanto trabalham. Até mesmo os consumidores residenciais podem começar a pensar em colocar tomadas nas garagens de nossas casas.

Na tabela 8, são apresentadas estimativas de acordo com os dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) para possíveis vendas de carros elétricos no Brasil, as quais podem ser encontradas na publicação Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil. Essa tabela apresenta dados tanto para veículos elétricos (VE), como também para veículos híbridos puros (VEH) ou com baterias que possam ser carregadas da rede externa (VEP e VEB). Através dessa tabela obteve-se o gráfico da figura 20.

TABELA 8 – Brasil: Vendas anuais de automóveis (milhões de unidades)

ANO	TOTAL	VE	VEH	VEP/B
2010	2,8	-	-	-
2015	3,6	0,14	0,1	0,04
2020	4,2	1,03	0,73	0,3
2025	4,9	2,7	1,39	1,31
2030	5,6	4,12	1,65	2,47

Fonte: Adaptado da publicação Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil



Fonte: Adaptado da publicação Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil.

FIGURA 20 – Gráfico - Brasil: Vendas anuais de automóveis (milhões de unidades)

Mesmo considerando a enorme quantidade de investimentos voltados para o mercado de veículos elétricos, que como já foi citado, não poluem diretamente o meio ambiente, por não queimarem nenhum tipo de combustível fóssil, deve se considerar o fato de que para uma frota grande de carros elétricos, seria necessário gerar uma considerável quantidade de energia a mais para suprir essa enorme demanda.

Diante dessa situação, uma rede de distribuição de energia mais inteligente seria uma possível solução interessante, a qual pelo menos reduziria muitos problemas relacionados aos veículos elétricos, pois dessa maneira, se tornaria possível que eles, ou melhor, suas baterias,

não tivessem apenas a função de simples “consumidores”, mas também poderia fazer com que elas se tornassem fornecedores de energia para a rede elétrica, ou também funcionassem como no-breaks para seus proprietários. Como um carro fica em média mais de 20 horas do dia estacionados, nos momentos fora do horário de pico, eles poderiam funcionar como armazenadores de energia e nos momentos de pico, poderiam se tornar fontes conectadas a um ponto da rede, fornecendo energia para o sistema. Isso ainda poderia contribuir para que algumas fontes de energia alternativa, como eólica e solar, que dependem de condições do meio ambiente para gerar energia, pudessem se tornar mais efetivas, funcionando de uma forma conjunta com as baterias dos veículos elétricos, pois as baterias poderiam ajudar quando essas não fossem capazes de gerar energia devido às condições climáticas.

7 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: PLC (*POWER LINE COMMUNICATION*)

Uma tecnologia que evoluiu bastante após a sua descoberta foi à Internet, sendo que um dos principais pontos foi à forma de distribuir suas informações, a qual atualmente possui várias formas, entre elas, wireless, 3G, satélites, etc. A tecnologia PLC é mais uma forma de se distribuir informações, a qual permite transmissões de sinais por onda portadora em redes de distribuição de energia elétrica.

Atualmente a Internet pode ser utilizada para a realização de várias atividades, como realizar transações bancárias, ler notícias, trocar e-mails, realizar pesquisas, enfim, de certa forma estar conectado ao mundo. A cada ano, o número de usuários da Internet aumenta, porém infelizmente ela ainda não é acessível a todos. Muitos não possuem acesso a Internet devido ao fato de morarem em regiões que não são servidas pelos serviços de telecomunicações. Esse índice ainda é grande no Brasil, ou seja, muitos brasileiros ainda sofrem e são prejudicados com essa situação.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao Plano Nacional por Amostras de Domicílio (PNAD) de 2009, o índice de pessoas que acessaram a Internet em 2009 foi de aproximadamente 67,9 milhões de pessoas (pessoas com 10 ou mais anos de idade), embora esse índice esteja crescendo anualmente. Mas considerando que atualmente o número de habitantes no Brasil é de aproximadamente 190 milhões, o índice representa aproximadamente 35,7% da população brasileira. Já a porcentagem dos domicílios que dizem ter iluminação elétrica, representava em 2009, 98,9% do total, uma quantidade bem maior comparada ao de habitantes com acesso a Internet.

O assunto relacionado à transmissão de dados pela rede elétrica surgiu em 1920 com o desenvolvimento de idéias de sistemas de portadoras para comunicação de voz em redes de alta tensão. Em 1930 surgiu a técnica RPC (*Ripple Control*), através da qual foi possível a utilização da rede de distribuição de energia elétrica para transmissão de alguns sinais, porém utilizando frequências baixas (100 a 900 Hz), o que fazia com que a comunicação fosse realizada a taxas bem baixas e potência elevada para transmissão, além do fato do sistema possuir comunicação unidirecional, sendo utilizadas apenas para tarefas simples, como o acionamento da iluminação pública. Somente na década de 1990 foi possível obter sistemas capazes de fornecer comunicação de forma bidirecional através da rede de distribuição de

energia elétrica, os quais utilizavam frequências mais elevadas e menores níveis de potência transmitida.

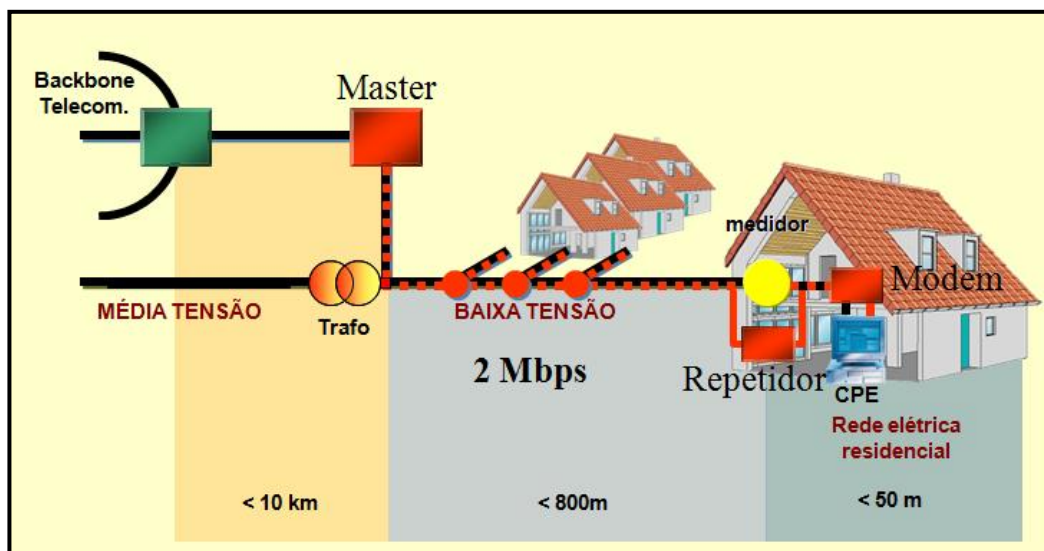
Atualmente existem muitas pesquisas voltadas para a tecnologia PLC, a qual através do fenômeno de propagação de ondas nos condutores elétricos visa transmitir dados utilizando a mesma estrutura das redes de distribuição de energia elétrica. Essa tecnologia é capaz de transmitir de forma controlada (frequências e níveis de propagação específicos) sinais que utilizam as frequências de forma inteligente e diferenciada daquelas utilizadas por outros equipamentos e pela própria transmissão de energia elétrica. Também conhecida como BPL (*Broadband Power Line*), a tecnologia PLC opera em uma faixa que varia de 1,6 a 30 MHz e alcançam taxas de até 200 Mbps. Para se realizar a definição das frequências de operação das portadoras é preciso realizar medições e planejamentos de frequências de banda de rádio de ondas curtas e de acordo com as normas. Os elementos da tecnologia PLC são capazes de assegurar uma boa qualidade tanto para áudio, quanto para vídeo. Esse sistema permite a distinção entre pacotes TCP (*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*) e também apresentam agentes SNMP (*Simple Network Management Protocol*), os quais representam um protocolo de gerência típica de redes UDP, da camada de aplicação e são imprescindíveis para que haja um monitoramento e controle da rede, pois facilitam o intercâmbio de informação entre os dispositivos da rede.

Mas existem alguns problemas em se transmitir dados pela rede elétrica, levando em consideração que essa não foi projetada para essa finalidade. Devido ao descasamento de impedância que ocorre entre pontos da rede e também entre equipamentos, é gerada uma reflexão do sinal transmitido, que acaba causando uma maior atenuação do sinal original, uma vez que parte dele será perdido. Essa atenuação sofrida pelo sinal ao longo da linha de distribuição limita a distância que esses sinais podem atingir. Ela pode variar de acordo com a topologia, conservação e quantidade de conexões da rede. É interessante ressaltar que os equipamentos de PLC não podem ser ligados a estabilizadores ou filtros de linhas, pelo fato desses dispositivos bloquearem sinais em alta frequência. A qualidade do acesso também pode variar de acordo com o padrão da instalação elétrica e a temperatura ambiente.

Outro problema a ser considerado é a interferência de outros sistemas que utilizam o mesmo espectro que a tecnologia PLC, ou até mesmo causada por outros usuários que estejam utilizando a tecnologia PCL. Nas residências é possível ocorrer interferências por parte de alguns aparelhos eletrodomésticos. Também é preciso seguir as normas referentes às

limitações de frequência para essa tecnologia para que não se corra o risco de interferências com transmissões de rádio.

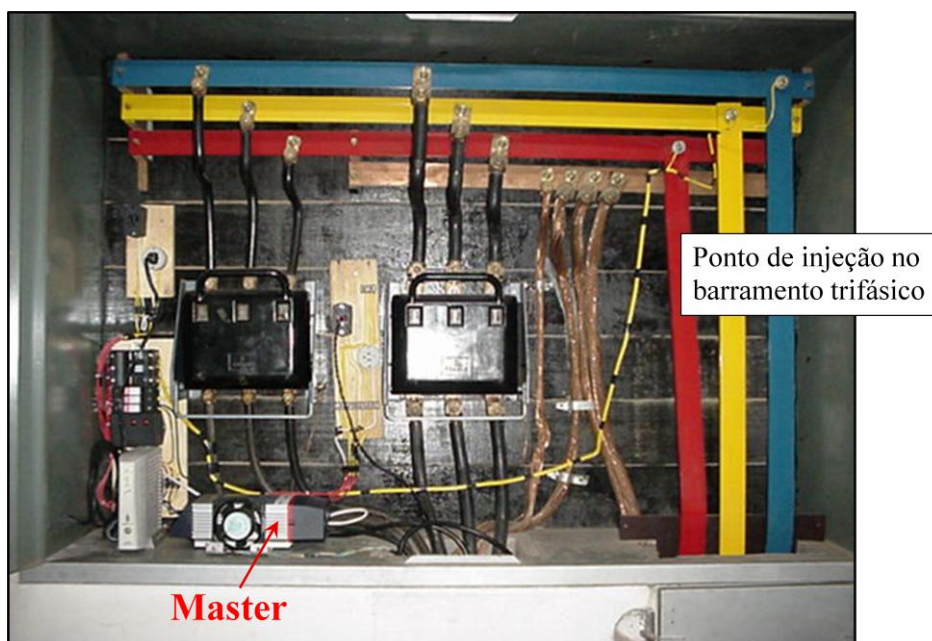
Abaixo, pode se observar um esquema, no qual é demonstrada uma configuração típica de uma rede utilizando a tecnologia PLC.



Fonte: Retirado da apresentação do Projeto PLC CEMIG

FIGURA 21 – Esquema da Configuração Típica – PLC

De acordo com o esquema pode se verificar que o *Master* (Figura 22) é conectado a um *cable modem*. Esse *Master* é instalado próximo a um transformador de energia elétrica e o sinal é injetado nos fios (fases e neutro) da rede elétrica. Em seguida o sinal é coletado e no medidor de energia do consumidor é regenerado por um repetidor (Figura 23), embora este seja dispensável para alguns casos. Na residência o sinal recebido pode ser captado em qualquer tomada conectada a instalação elétrica através da utilização do Modem PLC (Figura 24). A partir desse modem pode ser realizada a conexão com a placa do computador, disponibilizando o serviço para o usuário.



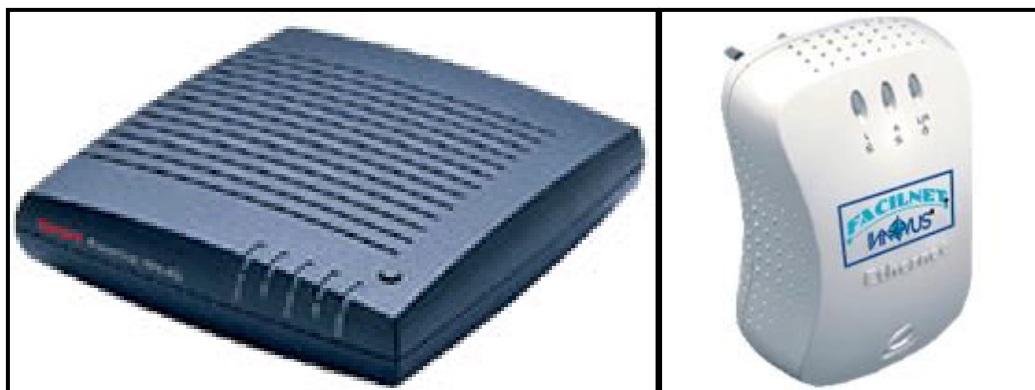
Fonte: Adaptado da apresentação do Projeto PLC CEMIG

FIGURA 22 – Fotografia do Master PLC e ponto de injeção do sinal



Fonte: Adaptado da apresentação do Projeto PLC CEMIG

FIGURA 23 – Fotografia da Utilização do repetidor no medidor de energia do consumidor



Fonte: Retirado do Artigo sobre PLC de Marcus Vinicius de Almeida Ferreira

FIGURA 24 – Fotografia dos Tipos de Modens PLC

A tecnologia PLC é bastante estudada atualmente, porém na grande maioria dos casos, apenas com projetos piloto, o que demonstra que essa tecnologia ainda precisa superar vários desafios para que se torne viável a sua utilização comercialmente. Esses desafios estão relacionados tanto ao aperfeiçoamento dos equipamentos atuais, quanto ao desenvolvimento de mais normas e também de padronizações.

Através do Smart Grid, esse provavelmente seria mais uma mercado que poderia aumentar seus investimentos, visto que a tecnologia PLC, poderia vir a ser utilizado em determinados pontos do sistema inteligente.

8 OPORTUNIDADES COM A MUDANÇA: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Existe mais de uma definição para o conceito da expressão Geração Distribuída (GD), a qual de forma simplificada pode ser utilizada para representar a geração de energia elétrica junto ou próxima do consumidor, independente da fonte de energia, da potência e da tecnologia usada para o projeto, porém “no Brasil, a geração distribuída foi definida de forma oficial através do Decreto nº5.163 de 30 de julho de 2004” conforme abaixo: [Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE)]

“ Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II termelétrico, inclusive de co-geração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...).

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput."

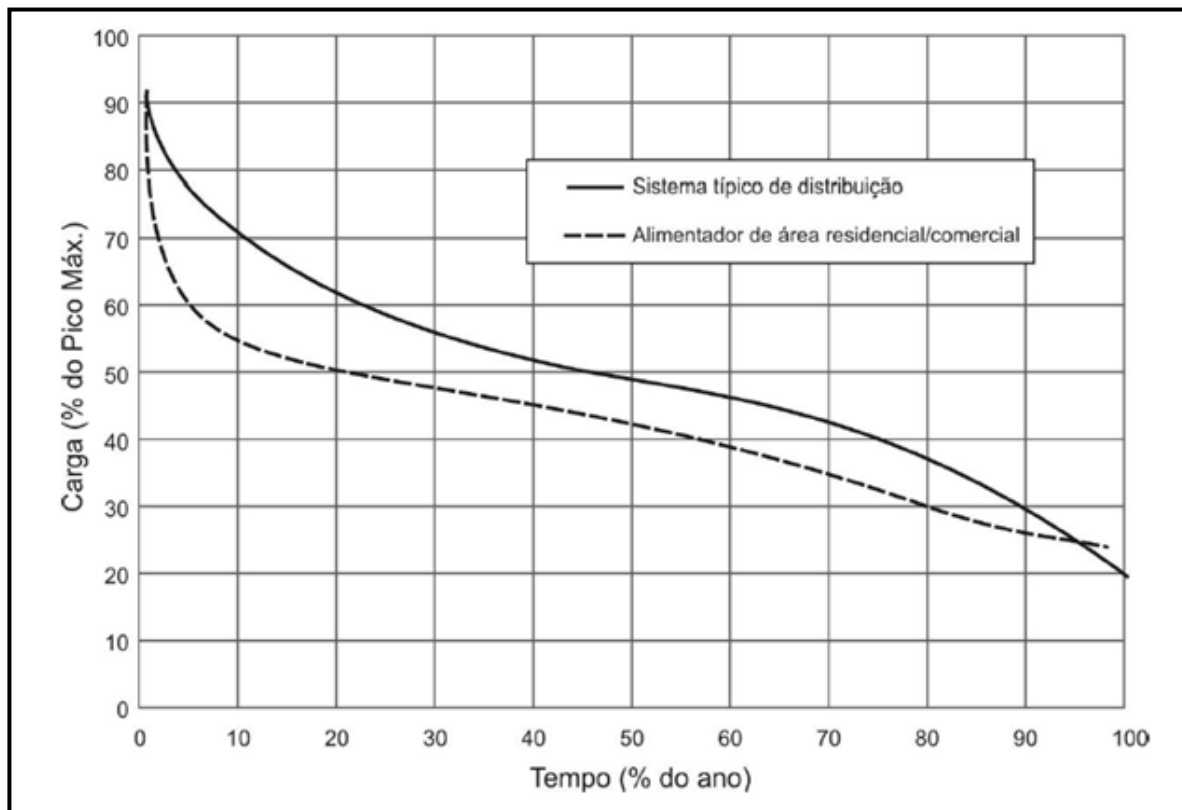
A geração de energia próxima ao consumidor já foi algo bastante utilizado por empresas, porém a partir da década de 40, a geração realizada em grandes centrais e distribuída pelas concessionárias de energia acabou se tornando mais barata, o que fez com que os investimentos relacionados à geração distribuída praticamente parassem por um longo tempo, até que por volta dos anos 80, o desenvolvimento de tecnologias para essa área voltou a ser incentivado, obtendo como resultados reduções de custos consideráveis. Em alguns países como Holanda e Finlândia, este tipo de produção ultrapassa 40% de toda geração nacional.

Através da geração distribuída, será possível se obter muitos benefícios voltados para a concessionária de energia, para a sociedade, ou seja, os consumidores e também para o meio

ambiente. Abaixo são descritos algumas das vantagens que poderiam ser obtidas com esse tipo de produção de energia.

- ⇒ Como se observou no tópico anterior “PLC”, apesar de a grande maioria da população brasileira ter acesso a energia elétrica, ainda existe uma pequena parcela que não desfruta desse acesso, o qual é essencial na vida de todas as pessoas atualmente, o que faz com que sejam prejudicadas. Com a geração distribuída é possível reduzir ainda mais ou até extinguir o número de pessoas que não tem acesso a energia elétrica no Brasil, pois facilitaria o acesso aos locais mais distantes da zona urbana, já que estes locais não possuem infra-estrutura de transmissão e distribuição, devido à instalação destas possuir um custo elevado. Além disso, a qualidade da energia do consumidor próximo a GD seria melhor, devido à redução das falhas, reduzindo a possibilidade da falta de energia, logo a confiabilidade do sistema aumentaria.
- ⇒ A redução das perdas na rede de transmissão e distribuição, que ocorrem no transporte da energia. Essas perdas, que representam “prejuízos” para as concessionárias de energia acabam resultando no aumento dos custos da tarifa para os consumidores. Com a redução dessas perdas, consequentemente também seria reduzido o investimento para reforçar o sistema, além de poder reduzir os custos com manutenções. “Segundo Distributed Power Coalition of America (DPCA) de 2005, o potencial de economia nos sistemas de transmissão e distribuição com a implantação de GD é de 2,34 a 3,14 US\$ economizado / MWh produzido devido à redução das perdas no sistema.” [Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE)]
- ⇒ Também seria obtida uma redução dos investimentos para a criação de novas centrais para suprir o aumento da demanda, já que a GD poderia satisfazer essa necessidade conforme o crescimento da procura, o que também aumentaria a estabilidade do sistema, além de que o tempo para sua construção seria bem menor, podendo atender as novas necessidades de forma mais rápida, acarretando na redução dos investimentos para atender a demanda nos horários de pico. No gráfico da figura 25, pode se observar que através da utilização da GD, poderia se obter uma redução no pico de demanda durante o ano. “Segundo DPCA (2005), o potencial de economia nos sistemas de transmissão e distribuição com a

implantação de GD é de 1,60 a 60,27 US\$ economizado / MWh produzido devido à postergação de subestações.” [Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE)]

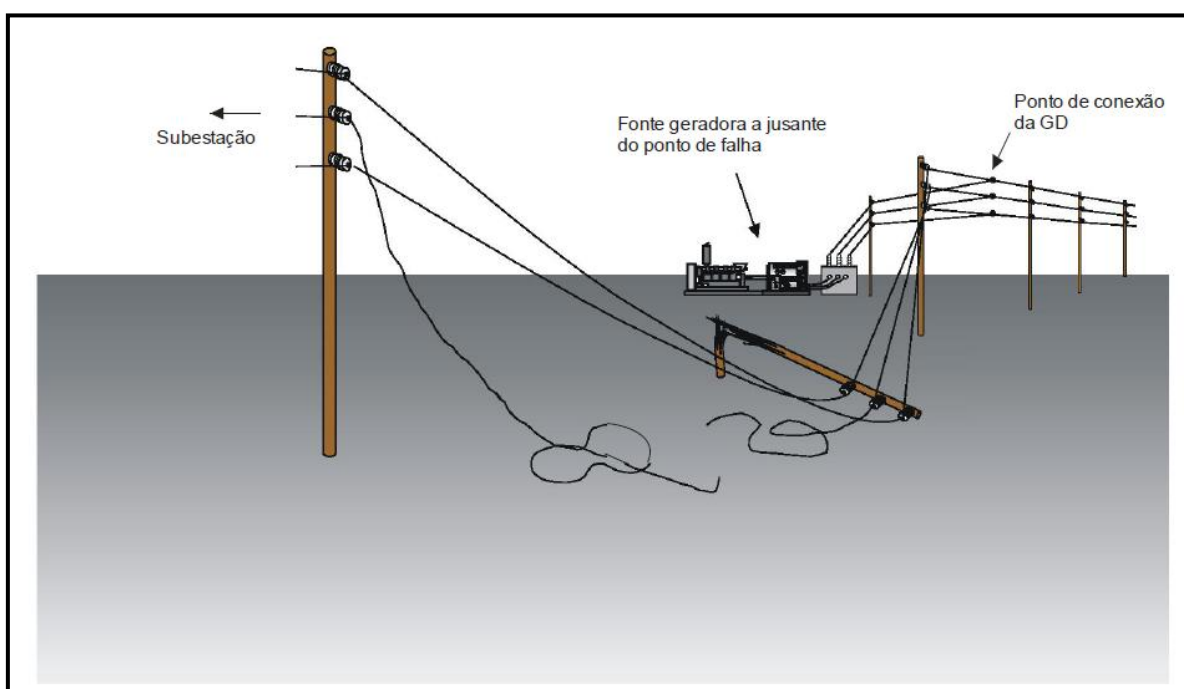


Fonte: Retirado da Revista Brasileira de Energia

FIGURA 25 – Gráfico das Curvas de Duração de Carga

- ⇒ Com a implantação da geração distribuída, também seriam obtidas consideráveis vantagens com relação ao meio ambiente, pois evitando a construção de novas centrais de geração de energia, reduziria bastante o impacto ambiental, tanto com relação às áreas alagadas, quanto com relação à redução das emissões de poluentes, contribuindo assim para a proteção da natureza e o desenvolvimento sustentável.
- ⇒ Além de tudo isso, se teria uma melhora na eficiência energética, que se poderia se tornar ainda melhor nos casos em que fossem utilizados co-geradores, que produzem energia elétrica e também aproveitam o calor resultante do processo de geração de energia através da queima de combustíveis, que no caso da geração centralizada são liberados para a biosfera.

- ⇒ Outra vantagem seria o fato de poder ter um papel importante no caso de interrupções de energia ocasionadas devido a acidentes naturais, ou até mesmo outros tipos de falhas, reduzindo o número de consumidores afetados e evitando longos períodos sem fornecimento de energia, já que poderiam ser implementados geradores de emergência na rede, conforme figura 26, onde os consumidores localizados a jusante do ponto de conexão da GD continuariam a ser atendidos normalmente.



Fonte: Retirado da Revista Brasileira de Energia

FIGURA 26 – Exemplo de como a GD pode minimizar problemas de interrupções no fornecimento de energia

Mas a geração distribuída não apresenta apenas vantagens, esse processo também possui algumas desvantagens, as quais devem ser levadas em consideração e por isso, algumas são descritas abaixo.

- ⇒ Com a aplicação desse processo haveria um aumento na complexidade de várias áreas: do planejamento e da operação do sistema elétrico; na realização de ações de manutenção e das medidas de segurança; dos procedimentos administrativos, comerciais e contratuais, entre outras. Em alguns casos, a proteção do sistema,

devido à configuração atual não ser adequada para um fluxo bidirecional, deveria ser reconfigurada.

- ⇒ Ainda há um custo considerável relacionado às tecnologias utilizadas na GD, o que de certa forma acaba reduzindo o interesse por parte dos investidores.
- ⇒ Através da co-geração próxima ao consumidor, poderia surgir uma poluição sonora, gerando certo transtorno para os moradores da região. Em alguns casos seria necessário a instalação de sistemas de atenuação de ruído.

No Brasil, ainda não se há um conhecimento profundo de tal tecnologia, portanto seria necessário a realização de pesquisas, visando desenvolver formas de facilitar e tornar mais barata a aplicação de sistemas de GD e também deve haver um maior do incentivo por parte de órgãos reguladores. Provavelmente, devido às necessidades que vem surgindo, tanto com relação ao meio ambiente, quanto às concessionárias e os consumidores, a GD terá uma participação cada vez mais importante no sistema de energia elétrico. Com o Smart Grid, a aplicação de sistemas de geração distribuída se tornaria mais fácil, já que a configuração das redes inteligentes prevê a inserção de fontes em qualquer ponto da rede.

9 SMART GRID

Como já foi citado e demonstrado em tópicos anteriores, o sistema de energia atual, principalmente ao se analisar a situação do Brasil ainda é muito vulnerável a falhas e os principais recursos naturais utilizados para a geração da energia elétrica estão se tornando cada vez mais escassos. Com isso e com os outros fatores demonstrados até aqui é evidente a necessidade de se realizar uma mudança em todas as redes do setor de energia, a fim de se ter uma evolução do sistema, com maior segurança, qualidade e economia, ou seja, é preciso fazer com que todos os pontos da rede funcionem de forma interligada e inteligente, buscando a interoperabilidade, a qual representa a capacidade de um sistema, juntamente de todos os seus elementos e aplicativos realizarem trocas de informações de forma segura e eficaz, fazendo com que o usuário tenha a menor preocupação possível, visando à confiabilidade, a segurança e a qualidade da rede. Essa mudança de certa forma já começou a ser realizada em alguns lugares e aos poucos vem se tornando algo próximo da realidade.

Em vários países, bilhões de dólares estão sendo investidos para que se consiga desenvolver e construir os elementos da tão desejada rede inteligente. Várias empresas conceituadas estão explorando esse mercado e muitos congressos e seminários estão sendo organizados pelo mundo todo ao longo dos últimos anos a fim de se concretizar esse projeto. Alguns acreditam que com Smart Grid, por se obter um fluxo de energia e comunicação bidirecional, as funcionalidades estejam apenas relacionadas com o fato de se instalar medidores inteligentes nos consumidores, porém elas vão muito além disso. Com a aplicação das tecnologias digitais que avançam a cada dia, espera-se melhorar a confiabilidade, segurança, interoperabilidade e a eficiência energética da rede elétrica de forma considerável, reduzindo os impactos causados ao meio ambiente e em consequência, colaborar para o crescimento e fortalecimento da economia do país.

O conceito de Smart Grid relaciona várias áreas, mas algumas devem ser priorizadas, visando à efetividade do projeto. Pode-se considerar como algumas das áreas que devem ser priorizadas:

- ⇒ **A rede de comunicação**, o desempenho de seus componentes e o estudo com relação ao seu alcance geográfico, tanto para o momento quanto para o futuro, analisando sua eficiência em tempo real, a fim de se otimizar a gestão dos elementos da rede de

energia elétrica, para que possam ser realizadas ações de prevenção ou resposta diante dos problemas que podem surgir.

- ⇒ **A infra-estrutura de medição avançada** (AMI, sigla em inglês para *Advanced Metering Infrastructure*), através da qual será criada uma rede bidirecional, que realizará a resposta à demanda residencial, ou seja, através dessa infra-estrutura será realizada a troca de informações entre os consumidores e as concessionárias de energia e o gerenciamento dos dados. Também deve ser considerada que a rede deve estar preparada para se integrar aos veículos elétricos.

Essas duas áreas provavelmente serão as chaves para o processo, através da qual todo o sistema será interligado, mas também se deve priorizar:

- ⇒ **O gerenciamento da rede de distribuição de energia**, pois através desse gerenciamento, será possível aperfeiçoar o desempenho dos componentes da rede, como transformadores, chaves, entre outros, além de poder realizar uma integração com os sistemas de transmissão e também com a geração, sendo que haverá a possibilidade desta última ser realizada pelo próprio cliente. Isso aumentará a confiabilidade da rede, reduzindo bastante a ocorrência de falhas.
- ⇒ **A segurança da rede**, já que dados muito importantes estarão sendo transmitidos por ela, portanto é necessário garantir a integridade, confiabilidade e disponibilidade de todas as informações do sistema, as quais serão necessárias para gerenciamento, operação e proteção dos elementos do Smart Grid.
- ⇒ **O transporte elétrico**, pois através dele aumentaria a possibilidade da utilização de fontes de energia alternativa, ocasionando a redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa. Além do que, como observou-se no tópico “Veículo Elétrico”, a estimativa com relação ao crescimento da utilização do veículo elétrico no Brasil não é pequena, portanto é preciso que o país já esteja preparado para integrá-los ao Smart Grid, por isso deve-se ter uma certa atenção voltada para o transporte elétrico.
- ⇒ **A eficiência energética**, pois a qualidade da energia também deve ser um fator importante a se considerar. Essa qualidade poderia ser monitorada por sensores de qualidade de energia espalhados pela rede.

- ⇒ **O incentivo ao consumidor**, tanto para os residenciais, como também para os comerciais e os industriais, com o objetivo de se reduzir o consumo de energia nos horários de pico, além do que, é necessário apresentar aos consumidores, a viabilidade em se utilizar os medidores inteligentes. Quando se analisa a situação do Brasil, esse seria um ponto essencial e bastante complicado, considerado a enorme quantidade de perdas decorrentes de furtos de energia.
- ⇒ **O armazenamento de energia**, visando aproveitar melhor toda energia que é gerada.

Muitos equipamentos, como, sensores inteligentes para serem aplicados nas linhas de distribuição de energia, medidores inteligentes para serem utilizados nas residências dos consumidores, softwares, entre outros, já estão sendo desenvolvidos e em alguns casos até aplicados. Para o desenvolvimento de qualquer tecnologia é preciso se definir padrões, o mesmo ocorre com o Smart Grid, para o qual também é necessário se estabelecer protocolos. Isso é uma necessidade urgente e atual, para que os dispositivos já desenvolvidos, ou em desenvolvimento não corram o risco de se tornarem obsoletos, o que acarretaria em uma enorme perda diante dos grandes investimentos. De acordo com *Energy Independence and Security Act* (EISA) DE 2007 essa função foi atribuída ao *National Institute of Standards and Technology* (NIST), agente federal de tecnologia, sendo responsável por coordenar o desenvolvimento de uma estrutura que inclui os protocolos e modelos padrões para o gerenciamento das informações, assegurando a interoperabilidade dos elementos e do sistema do Smart Grid.

Devido a essa urgência, o NIST desenvolveu um plano dividido em três fases com o objetivo de acelerar a identificação de um conjunto inicial de padrões e estabelecer uma estrutura robusta para um desenvolvimento sustentável de outros padrões adicionais que serão necessários e também para que seja possível a definição de uma infra-estrutura de testes de conformidade e certificação. Como resultado da primeira fase de seu plano, o instituto NIST publicou o documento “*Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0*”, no qual é apresentado um modelo de referência de alto nível conceitual para o Smart Grid. Para essa publicação houve apoio de várias partes interessadas, a fim de se obter o melhor resultado. Nesse documento também são identificadas 75 normas existentes, que são, ou podem ser aplicáveis para o contínuo desenvolvimento das redes inteligentes, além de especificar 15 falhas de alta prioridade e também as medidas para os padrões novos ou revisados e os requisitos que serão necessários para se garantir a segurança do sistema. A

segunda fase do projeto do NIST, lançada oficialmente em novembro de 2009, tem como objetivo estabelecer um Painel de Interoperabilidade para Smart Grid (SGIP), para apoiar a contínua evolução da estrutura e impulsionar o progresso a longo prazo. Já a terceira fase visa desenvolver e implementar uma estrutura robusta para a realização de testes de conformidade e certificação dos sistemas e dispositivos relacionados ao Smart Grid, pois apesar dos padrões serem essenciais, não são suficientes.

Segundo o NIST, os padrões de interoperabilidade de Smart Grid devem ser abertos, ou seja, os padrões devem ser desenvolvidos e mantidos através de um processo colaborativo, orientado por todas as partes afetadas e não por apenas uma única organização ou um grupo de organizações. Esses padrões, sempre que possível, devem ser desenvolvidos e implementados a nível internacional.

9.1 Arquitetura

Um modelo de arquitetura é essencial para qualquer sistema, ou seja, essa é uma parte importante para o Smart Grid, que por ser uma tecnologia que relaciona vários sistemas, necessita que as arquiteturas desses sistemas sejam desenvolvidas independentemente, mas que no final funcionem de forma integrada. Essas arquiteturas devem estar preparadas para suportar várias opções tecnológicas, considerando tanto as tecnologias já desenvolvidas ou em desenvolvimento, como as novas, facilitando a realização de interfaces, quando necessárias, com ou entre essas tecnologias, de modo a evitar ao máximo os investimentos adicionais e customizações.

Na figura 27, é apresentado os níveis de camada de uma arquitetura desenvolvido pelo *GridWise Architecture Council (GWAC)*, conselho formado por uma equipe de líderes da indústria com o objetivo de moldar os princípios para uma arquitetura altamente inteligente e interativa do sistema elétrico, identificando áreas de padronização para se obter níveis significativos de interoperabilidade entre os componentes do sistema. Segundo o NIST, a arquitetura apresentada em seu documento não tem a intenção de restringir como o Smart Grid será implantado, mas sim, tentar ajudar os interessados a entenderem as necessidades da interoperabilidade para o Smart Grid. A arquitetura inclui modelos técnicos e de negócios, demonstrações, implementações e normas, que juntos tentam formar e transmitir um entendimento de Smart Grid.



Fonte: Adaptado do documento Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0

FIGURA 27 – As oito camadas para determinar os requisitos de interoperabilidade de Smart Grid e definir a troca de informações na rede

Em seguida será mostrado uma pequena descrição de cada camada.

1. Conectividade Básica: Mecanismo para estabelecer as conexões físicas e lógicas entre os sistemas.

2. Interoperabilidade da Rede: Mecanismo para realizar a troca de informações entre os múltiplos sistemas através de várias redes.
3. Interoperabilidade Sintática: Realizará a compreensão da estrutura dos dados nas mensagens enviadas entre os sistemas.
4. Compreensão Semântica: A compreensão dos conceitos contidos na mensagem das estruturas de dados.
5. Contexto do Negócio: Ter conhecimento dos negócios relacionados com uma interação específica.
6. Processos de Negócio: Alinhamento entre os processos de negócio e os procedimentos operacionais.
7. Objetivos de Negócio: Objetivos estratégico e tático compartilhados entre os negócios.
8. Política Econômica / Regulamentação: Objetivos políticos e econômicos incorporados na política e regulamentação.

Essas oito camadas compreendem um alto nível de interoperabilidade, o qual é necessário para permitir a flexibilidade entre as camadas e as várias interações no Smart Grid. Como exemplo de flexibilidade se pode citar a Internet, que pode variar o seu tipo de conectividade, como Ethernet, Wi-Fi, entre outras, e ainda assim ser capaz de trocar informações entre as diferentes redes. A arquitetura apresentada pode ser dividida em camadas inferiores, que são as camadas físicas dos equipamentos e os softwares para codificação e transmissão dos dados, e camadas superiores, onde se localizam as funcionalidades de negócios, como os protocolos de comunicação e aplicações. Cada camada normalmente depende da camada abaixo dela. Através dessas camadas, é formado o modelo de uma arquitetura para Smart Grid.

9.2 Modelo de Referência

Nesse tópico será apresentado um modelo de referência baseado no modelo disponibilizado no documento do NIST, *Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0*. Esse modelo tem como objetivo dar suporte ao

planejamento e organização do desenvolvimento de um sistema, expandindo o conjunto de redes interconectadas que irão compor o Smart Grid.

O modelo em análise pode ser dividido em domínios, onde cada domínio representa o agrupamento de agentes e aplicações que possuem objetivos semelhantes e dependem ou participam de tipos similares de atividades do Smart Grid. Pode se considerar como sendo agentes, dispositivos, sistemas ou programas que irão executar as tomadas de decisões e as trocas de informações necessárias para a realização de aplicações. Como exemplos desses agentes, é possível citar os medidores inteligentes, os geradores solares, sensores inteligentes, sistemas de controle, entre outros. Já as aplicações podem ser consideradas as tarefas que serão executadas por um ou mais agente que se encontram dentro de um domínio, por exemplo, as aplicações correspondentes aos exemplos dos agentes citados, como automação residencial relacionada aos medidores inteligentes, geração de energia solar relacionada aos geradores solares, etc. Na tabela 9, observa-se a divisão do Smart Grid em sete domínios, de acordo com a abordagem adotada pelo NIST.

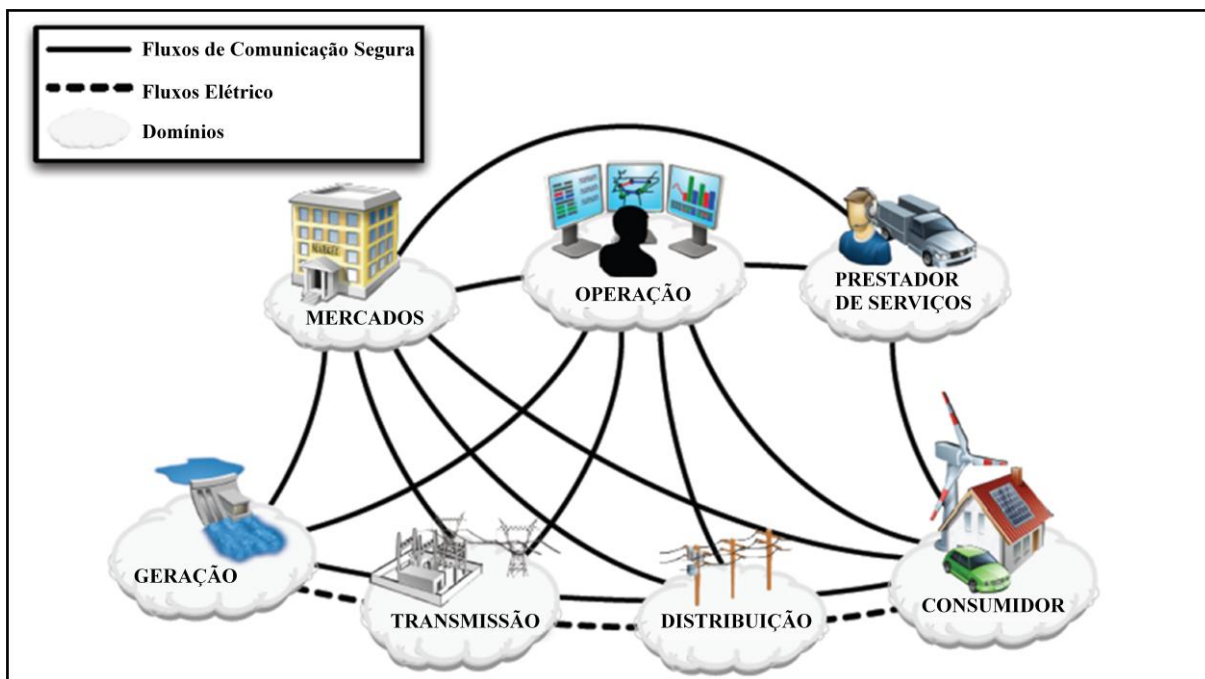
TABELA 9 – Domínios e Agentes no Modelo Conceitual do Smart Grid

Domínio	Agentes no Domínio
Consumidores	O usuário final de eletricidade. Também pode gerar e armazenar energia, além de poder gerenciar o uso da mesma. Tradicionalmente, são divididos em três tipos de consumidores: residencial, comercial e industrial.
Mercado	Os operadores e participantes do mercado de eletricidade.
Prestadores de Serviço	As empresas que prestam serviços para os consumidores e <i>utilities</i> de energia elétrica.
Operação	Os gestores da circulação de energia elétrica.
Geração de energia em grandes quantidades	A geração de eletricidade em grandes quantidades. Também pode armazenar energia para uma posterior distribuição.
Transmissão	O transporte de eletricidade a longas distâncias. Também pode armazenar e gerar energia elétrica.
Distribuição	A distribuição de eletricidade para os consumidores e deles para a rede. Também pode armazenar e gerar energia elétrica.

Fonte: Adaptado do documento *Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0*

Os agentes de um mesmo domínio, geralmente possuem objetivos semelhantes. Eles também podem interagir com agentes de outros domínios, como é mostrado na tabela 9, no caso do Smart Grid. Em alguns casos, áreas particulares também podem conter componentes de outros domínios. Como um caso desses pode se citar uma concessionária de distribuição de energia elétrica, a qual possui componentes relacionados a outros domínios, como por exemplo, o domínio da operação, já que utiliza sistema de gestão de distribuição e o domínio dos consumidores, tratando-se da utilização de medidores.

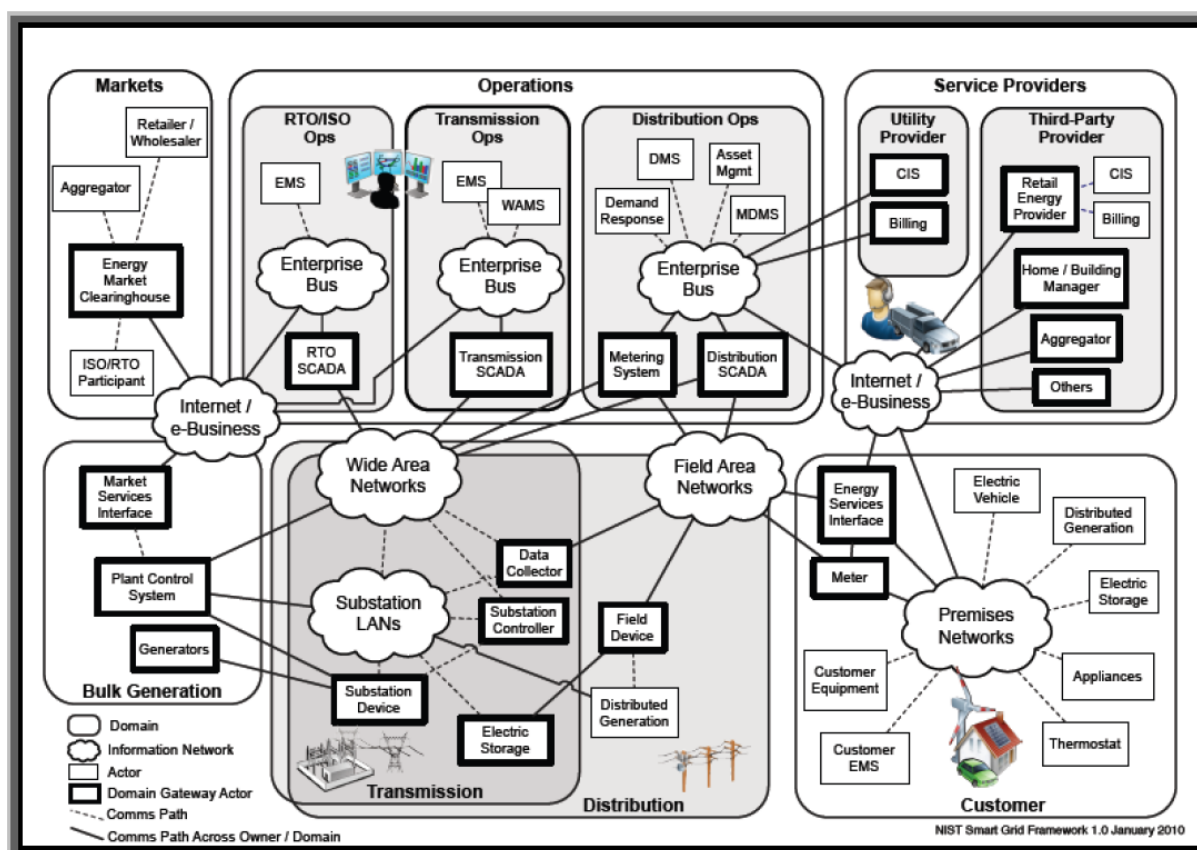
Com base na tabela 9, onde são apresentados os domínios do Smart Grid e seus respectivos agentes, é possível se estruturar o diagrama a seguir, através do qual, espera se fornecer uma ferramenta útil para auxiliar os interessados em Smart Grid, além de buscar incentivar os investimentos no setor de energia.



Fonte: Adaptado do documento Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0

FIGURA 28 – Interação de agentes em diferentes domínios de Smart Grid através de Fluxos de Comunicação Segura e Fluxos Elétricos

Apesar do modelo da figura 28 não determinar como o Smart Grid será implantado, pois se trata apenas de um modelo descritivo, ele ajuda a identificar os possíveis caminhos de comunicação do Smart Grid e dá uma visão melhor das interações que podem ocorrer entre seus domínios. Na figura 29, que representa um diagrama muito mais detalhado, é possível ver que um domínio pode ser dividido em várias funcionalidades, ou seja, pode se observar que cada domínio possui muitos agentes.



Fonte: Retirado do documento Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0

FIGURA 29 – Diagrama detalhado de um modelo de Smart Grid

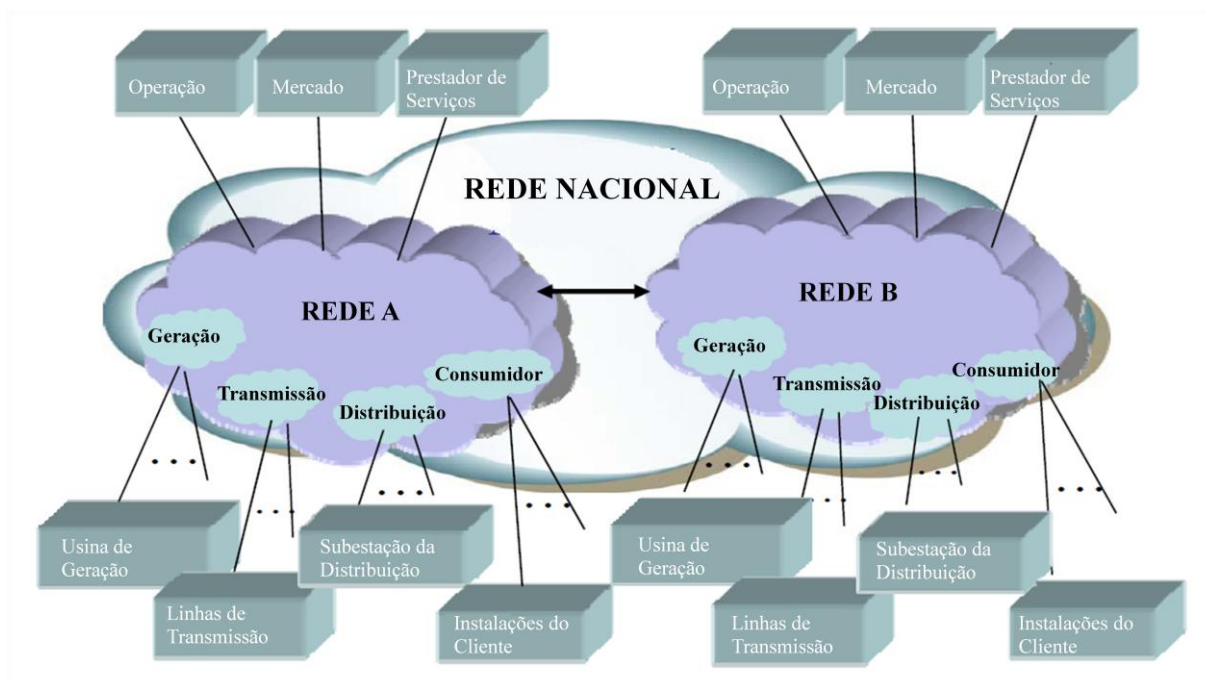
Nesse diagrama, além dos domínios e dos agentes, também estão sendo representados:

- ➔ **Information Network (Informação da Rede):** Uma rede de informação é uma coleção, ou um conjunto, que engloba, computadores interligados, dispositivos de comunicação, e outras informações e tecnologias de comunicação. Tecnologias em uma rede trocam informações e compartilham recursos. O Smart Grid é composto de muitos tipos diferentes redes, das quais nem todas estão no diagrama da figura 29. As redes do diagrama incluem: O *Enterprise Bus* que conecta o centro de controle das aplicações (Operação) ao mercado e à geração e também realiza a conexão entre esses dois; *Wide Area Networks* (WAN) que conectam locais distantes; *Field Area Network* (FAN) que conecta dispositivos, como os Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs - *Intelligent Electronic Devices*), os quais controlam disjuntores e transformadores; e *Premises Networks* que incluem redes dos consumidores e também redes das *utilities* que estão “dentro do domínio do consumidor”. Essas redes podem ser implementadas

utilizando uma combinação entre redes públicas (como por exemplo, a Internet) e redes não públicas. Independente de qual tipo de rede se utilizar, será necessário a implantação e manutenção de uma segurança adequada e dos controles de acesso para suportar o Smart Grid. É importante ressaltar que através de redes públicas é possível realizar comunicações entre vários agentes de domínios diferentes.

- ➔ *Gateway Actor*: que pode ser considerado um agente de um determinado domínio que interage com agentes de outros domínios ou de outras redes. Eles podem utilizar muitos tipos de protocolos de comunicação, portanto é possível, que um *gateway actor* utilize um protocolo de comunicação diferente do que um agente do mesmo domínio, além de se poder utilizar vários protocolos simultaneamente.
- ➔ *Common Path* (Caminho comum da comunicação): Mostra a troca lógica de dados entre agentes, ou entre agentes e redes.

Com relação às redes de informação, a figura 30, exibida abaixo, dá uma visão de como será o funcionamento das redes com relação às comunicações bidirecionais entre os pontos finais da rede, considerando os sete domínios apresentados anteriormente. Cada domínio é um ambiente de computação distribuída único e pode ter sua própria sub-rede para atender aos requisitos especiais de comunicação para o domínio. Dentro de cada rede, existe uma estrutura hierárquica composta de tecnologias de rede. Tecnologias como *Home Area Networks*, *Personal Area Networks* (PAN), *Wireless Access Networks*, *Local Area Networks* (LAN), and *Wide Area Networks*, poderão ser implementadas. De acordo com os requisitos funcionais do Smart Grid, a rede deverá fornecer a capacidade para permitir que uma aplicação de um determinado domínio consiga se comunicar com outra aplicação de qualquer outro domínio que esteja sobre a rede de informação, além de ter extrema necessidade de garantir a segurança dos dados, a qual deve incluir: procedimentos, protocolos e políticas de segurança para proteger as informações do Smart Grid; procedimentos, protocolos e políticas de autenticação; procedimentos, protocolos e políticas de segurança e controle para proteger componentes da infra-estrutura e as redes interconectadas; pois somente com as informações devidamente protegidas pode se obter uma integridade e uma confiabilidade de todo o sistema, permitindo acesso devidamente restrito as partes envolvidas, evitando qualquer risco para essas informações, já que a interceptação desses dados acarretaria em consequências graves, além do que poderia afetar outros sistemas que estivessem interligados.



Fonte: Adaptado do documento Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0

FIGURA 30 – Redes para troca de informação

Como é possível observar, os dispositivos e as aplicações em cada domínio são pontos finais da rede. No caso do domínio do Consumidor, é exibido no diagrama o relacionamento com as Instalações do Cliente, que envolvem, por exemplo, os medidores inteligentes, os veículos elétricos, entre outros. No domínio da Distribuição, é mostrado o relacionamento com a Subestação da Distribuição, no domínio da Transmissão, o relacionamento com as Linhas de Transmissão e no domínio da Geração, com a Usina de Geração. No caso dos domínios Operações, Mercado e Prestador de Serviços, as aplicações são semelhantes aos de Internet e aos processamentos de informações de negócios, o que faz com que a função de cada um não seja distinguida de redes de processamento de informações normais, motivo pelo qual, não possuem nuvens ilustradas no diagrama.

Essa rede de informação pode ser composta por várias redes interligadas, que no caso, estão sendo representadas por duas redes *de backbone* (esquema de ligações centrais de um sistema mais amplo, tipicamente de elevado desempenho), A e B. Cada um representa a rede na região de serviços de uma concessionária de energia ou serviço. Pode se considerar que A representa as redes da CPFL e B representa as redes da Eletropaulo. As ligações físicas ou lógicas dentro e entre essas redes, e as ligações para pontos do final da rede podem utilizar

qualquer tecnologia de comunicação adequada disponível atualmente ou a serem desenvolvidas e padronizadas no futuro.

Ainda com relação ao modelo de referência do Smart Grid, convém observar que atualmente há uma grande expectativa de que as redes baseadas em *Internet Protocol* (IP) poderão servir como elemento chave para o Smart Grid, porque mesmo não sendo capazes de atender à todos os requisitos de comunicações da tecnologia do Smart Grid, elas possuem vários aspectos que faz com que sejam vistas com grande importância para essa tecnologia. Através da utilização de redes baseadas em IP, se obtém vários benefícios, como, o fato dela já possuir um grande número de normas definidas, a disponibilidade de ferramentas e aplicações que podem ser aplicadas em ambientes Smart Grid, além de permitir que as aplicações sejam desenvolvidas de maneira independente da infra-estrutura de comunicação e das diversas tecnologias de comunicação que serão utilizadas, seja ela com fio ou sem fio.

As redes baseadas em IP permitem a divisão de largura de banda entre as aplicações e maior confiabilidade com capacidades de roteamento dinâmico. Elas podem ser facilmente escalável, ou seja, estarão preparadas para que sejam acrescentados outros dispositivos de Smart Grid a rede, como medidores inteligentes, eletrodomésticos inteligentes, entre outros. Para aplicações de Smart Grid que possuem exigências específicas de qualidade de serviço, como atraso mínimo de acesso, outras tecnologias podem ser usadas.

É importante atentar para o fato de que a quantidade de dispositivos conectados a rede do Smart Grid aumentará consideravelmente, assim como o número de endereços IP necessários para identificar os dispositivos. Devido a isso, segundo o NIST é preciso observar que os endereços no padrão IPv4 estarão esgotados em breve, portanto seria mais viável a utilização do padrão IPv6 para os novos sistemas que serão desenvolvidos e implantados, os quais foram especificamente desenvolvidos para suprir as necessidades de endereços e fornecer melhorias para a rede IP.

Para cada conjunto de requerimentos do Smart Grid, uma análise é necessária para determinar se a utilização do IP é apropriado, considerando se a segurança e as características de desempenho desejado podem ser asseguradas. Para que haja um correto funcionamento das redes de IP no ambiente de Smart Grid, um conjunto de protocolos devem ser identificados e desenvolvidos, para que se possa dar início as aplicações de Smart Grid. Segundo o NIST, o desenvolvimento desses conjunto de protocolos deve ser baseado nos padrões definidos pelo

Internet Engineering Task Force (IETF), comumente referido como *Request for Comments (RFCs)*.

9.3 Smart Grid e GIS

Para que a implantação do Smart Grid seja bem sucedida e se torne viável, será necessário que esse sistema tenha a capacidade de se integrar com as diversas ferramentas já existentes dentro de uma concessionária de energia. Cada concessionária possui ferramentas de gerenciamento, operação, manutenção, projetos, cálculos de engenharia, entre outros processos, os quais, mesmo em alguns casos sendo similares aos de outras concessionárias, possui características específicas, o que faz com que o desenvolvimento do Smart Grid deva ser algo genérico, possibilitando a integração com as diferentes tecnologias, buscando se obter a interoperabilidade do sistema.

Uma tecnologia muito importante utilizada em grande parte das concessionárias do mundo, não somente de energia, mas também de gás ou de água, para o gerenciamento de seus ativos é o *Geographic Information System (GIS)*, o qual representa um sistema com todos os ativos da concessionária georreferenciados. Para alguns casos essa tecnologia pode ter integração com outros módulos, voltadas para outros processos, como, operação, projetos e cálculos, etc. Abaixo pode se observar uma imagem que representa um exemplo de um GIS.

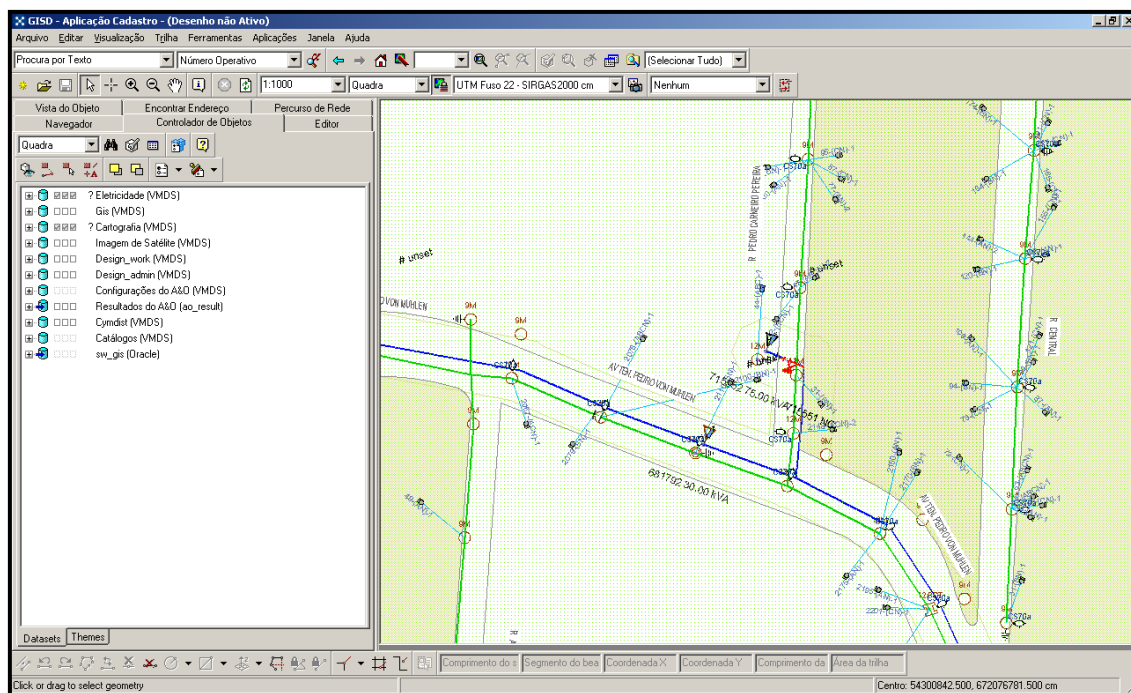


FIGURA 31 – Exemplo de um Sistema de Informação Georreferenciado

A integração do Smart Grid com o GIS é de grande importância, pois transformaria essa tecnologia em um sistema supervisorio que funcionaria de maneira on-line. Sem a utilização de um GIS, é praticamente impossível se atingir os objetivos do Smart Grid, pois seria através dessa ferramenta, que os dados recebidos seriam analisados, estudados e utilizados para ações de melhorias, planejamentos, operações, entre outros procedimentos.

Atualmente já existem módulos que se integram com o GIS, específicos para a operação do sistema elétrico, como por exemplo, o DMS (*Distribution Management System*), o qual utiliza o sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) para realizar essa supervisão, porém ainda são poucos os dispositivos que podem ser controlados da central de operação, ou seja, que podem ser ligados ou desligados via comando do operador e praticamente nenhum deles, considerando a parte da distribuição possui alguma inteligência. Em algumas subestações já existem alguns equipamentos que utilizam os IEDs.

Da mesma forma que o Smart Grid deverá se adequar as tecnologias utilizadas atualmente, essas tecnologias necessitarão de customizações para se adequar ao sistema inteligente, pois ainda não estão preparadas para isso e cada empresa precisará realizar as modificações necessárias para que se adequem aos seus processos.

Com o Smart Grid os dados da rede seriam coletados e enviados para um servidor através de sensores inteligentes instalados nos equipamentos que fazem parte da rede elétrica, como por exemplo, transformadores, chaves, disjuntores, entre outros e também haveria trocas de informações entre esses sensores. No servidor os dados seriam analisados para tomadas de decisões, as quais, em certas ocasiões poderiam ser determinadas e executadas pelo próprio sistema, através de sua inteligência. Por exemplo, no caso de uma queda de energia em um determinado circuito, decorrente de um curto-circuito, muitos consumidores seriam afetados e ficariam sem energia. Considerando o funcionamento do sistema como é atualmente, poderia ocorrer desses consumidores ficarem um período consideravelmente longo sem energia, porém com a implantação das redes inteligentes, através de uma comunicação entre os equipamentos, poderia ser realizado um tipo de manobra automaticamente para começar a fornecer energia ao maior número clientes possível por outro caminho da rede, minimizando ao máximo o impacto causado pela queda de energia, pois não seria necessária se esperar a realização das manobras manuais para se restabelecer a energia de todos prejudicados, além do que o tempo gasto para a realização dessas manobras manuais seria reduzido, devido ao fato de que a equipe de manutenção seria despachada, logo após o incidente, pois as informações chegariam mais rapidamente, além do que transitariam em ambos os sentidos da rede, sendo bidirecionais. Também deve ser levado em consideração que através da monitoração realizada com os dados enviados pelos sensores inteligentes, muitos incidentes poderiam ser evitados, já que por essa monitoração será possível verificar a carga sobre cada dispositivo, possibilitando evitar alguns acontecimentos não desejados, antecipando a realização de ações e facilitando a tomada de decisões, além do que os planejamentos poderiam ser executados de forma melhor, o que em certos casos possibilitaria a postergação de determinadas manutenções.

Mas para a realização dessa integração, é preciso se ter conhecimentos das várias regras de negócios utilizadas no GIS de uma concessionária de energia, os quais são de grande relevância para um bom funcionamento do sistema.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível verificar no decorrer desse trabalho a evidente necessidade de uma mudança no sistema de energia elétrico atual. Como foi demonstrado, a demanda por energia está aumentando a cada dia, surgindo a necessidade de atualização ou de troca dos ativos atuais utilizados nas redes elétricas, o que não resolve o problema, pois mesmo com a realização dessa manutenção, a configuração atual ainda continua sujeita a muitas falhas, devido ao fato de ser uma rede unidirecional. Outro agravante que foi demonstrado é com relação ao meio ambiente, tema que preocupa o mundo todo atualmente, em consequência do problema do aquecimento global, problema no qual, a geração de energia elétrica tem grande participação em alguns países.

Observou-se que caso essa grande modificação do sistema de energia atual seja realizado através da implantação do Smart Grid, outras oportunidades surgiriam, como o aumento dos investimentos em outras áreas, como por exemplo, as fontes de energia alternativa ou o veículo elétrico, pois através da integração com as redes inteligentes, essas tecnologias funcionariam em sincronismo umas com as outras e poderiam superar algumas deficiências existentes atualmente.

Porém essa mudança não é simples, muito pelo contrário, ela é de extrema complexidade e devido a isso necessita de longos estudos para definição de normas e padrões, os quais já estão sendo definidos através de vários estudos e realização de testes, pois sem esses requisitos não é possível se obter a interoperabilidade do sistema, já que eles são necessários para a realização da integração com a enorme diversidade de tecnologias e processos que estarão envolvidos com o Smart Grid.

Muitos acabam se confundindo, considerando que as redes inteligentes estão relacionadas apenas a instalação de medidores inteligentes nos consumidores, para que se obtenha uma medição inteligente, porém isso pode ser considerado um equívoco. Com certeza, a medição inteligente é uma das partes principais e mais importantes para a implantação do Smart Grid, porém esse sistema, quando pronto, envolverá muitos outros processos, pois através dele será realizada uma automação de toda a rede de energia elétrica, interligando de uma forma inteligente tudo que estiver conectado a essa rede, através de equipamentos de telecomunicação e de sensoriamento, os quais devem ser de alta qualidade e precisão para garantir a interoperabilidade, a eficiência e a segurança desse novo sistema.

Vários investimentos estão sendo realizados em todas as partes do mundo para que as redes inteligentes se tornem uma realidade, o que provavelmente acontecerá em um futuro não muito distante, porém é necessário se ter certo cuidado para que esse sistema seja implantado da melhor maneira possível para que se consiga atingir a todas as expectativas e suprir todas as necessidades de um sistema inteligente. É preciso buscar soluções eficientes, e de total segurança, tanto nas partes relacionadas aos hardwares, como nas partes relacionadas aos softwares, visando os benefícios para a sociedade em geral e a melhora dos processos das concessionárias de energia. Para se reduzir custos, é recomendável que os desenvolvimentos sejam realizados buscando a integração com as tecnologias já existentes, porém sem deixar de adotar os padrões e as normas já definidas e as que ainda serão adicionadas.

Através da implantação do Smart Grid, será possível se obter um mundo mais sustentável, utilizando cada vez melhor os recursos para a geração, transmissão e distribuição de energia.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. V. P. **Rede Inteligente: por que, como, quem, quando, onde?** 2009. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com>> Acesso em 15/04/2010

_____. **Smart grid: Quando eu vou ter a minha?** 2009. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com>> Acesso em 25/04/2010

_____. **Smart Grid não é panacéia, mas poderia minimizar os efeitos de um apagão, diz APTEL.** 2009. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com>> Acesso em 27/04/2010

ARANHA, A. B. **Projeto PLC CEMIG.** Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/plc>>. Acesso em 14/09/2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. Dados 2010. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/>>. Acesso em 15/08/2010

BOCCUZI, C. V. **Experiência Internacional e Agenda Colaborativa Mundial** (Fórum Latino Americano - 2009). Disponível em: <<http://www.smartgrid.com.br/>>. Acesso em 22/04/2010

BOCCUZI, C. V.; Vries, T. **As funcionalidades Current : Flexibilidade e Inteligência na implementação de Smart Grid.** Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Pernambuco: 2008, 11p. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br>>. Acesso em 10/05/2010

_____; _____. **SMART GRID - As Redes de Distribuição do Futuro.** Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Pernambuco: 2008, 8. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br>>. Acesso em 10/05/2010

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017.** Rio de Janeiro: EPE, 2009 Volume 1. 435 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017.** Rio de Janeiro: EPE, 2009 Volume 2. 299 p.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil.** Segunda edição, 2005.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional,** 2009, 276 p.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº167.** 2005, 4 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017.** Rio de Janeiro: EPE, 2009 Volume 1. 435 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia – 2008 – 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2009 Volume 2. 299 p.

BRASIL, Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Carga de Energia - Evolução Mensal**. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/home/>>. Acesso em 17/11/2010

CÁLCULO dos fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil. 15p. Disponível em: <www.reciclecarbono.com.br/biblio/calculoco2.pdf>. Acesso em: 14/03/2010

CHIRS PAINE. **Documentário “Quem matou o carro elétrico”**.

ELETROBRÁS/PROCEL. Conservação de Energia: Eficiência Energética de instalações e equipamentos. Itajubá, Minas Gerais: FUPAI, 2001. 467 p.

FERREIRA, M. V. A. **PLC - Power Line Communication**. Departamento de Telecomunicações – Laboratório MIDIACOM - Universidade Federal Fluminense (UFF). Rio de Janeiro: 27p. Disponível em: < <http://www.radiocb.com/main/images/pdf/PLC.pdf>>. Acesso em 16/09/2010

FIGURA 13 – **Fotografia da Central Fotovoltaica de Amareleja**. Disponível em: <http://www.portaldemoura.com/index.php?option=com_content&task=view&id=739&Itemid=285>. Acesso em 18/07/2010

FIGURA 18 – **Fotografia do Parque Eólico Offshore de Thanet**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/meio-ambiente-e-energia/noticias/inglaterra-inaugura-maior-parque-eolico-offshore-mundo-599250>>. Acesso em 26/07/2010

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind 2009 Report**. 2010, 68 p. Disponível em: <http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global_Wind_2007_report/GWEC_Global_Wind_2009_Report_LOWRES_15th.%20Apr..pdf> . Acesso em 05/07/2010

GOLDEMBERG, José. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Tradução: André Koch. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998. 234 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ALTOS ESTUDOS. **Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil**. Rio de Janeiro: 2010, 213 p.

LOBO, H. F. L. **PLC - COMUNICAÇÃO DE DADOS VIA REDE ELÉTRICA**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo: 2005, 52 p.

MOSSÉ, A.; WAKEFIELD M. **Implantando “Smart Grids”: Padrões Internacionais & Mais...Painel Padrões e Normas Internacionais**. Fórum Latino Americano - 2009). Disponível em: <<http://www.smartgrid.com.br>>. Acesso em 14/04/2010

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY'S. **Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards**. Release 1.0", 2010, 144 p.

SANTOS, F. A. C. M.; SANTO, M. S. M. **Geração Distribuída Versus Geração Centralizada**. 15p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Revista Brasileira de Energia. **Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e barreiras**. Volume 11, nº2. 11p. Disponível em: < <http://www.sbpe.org.br/>>. Acesso em 27/09/2010

SOLAR ENERGY INDUSTRY RESEARCH AND CONSULTANCY. **Solarbuzz Report 2010**. Disponível em: < <http://www.solarbuzz.com/>>. Acesso em BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Plano Nacional por Amostras de Domicílio. 2009. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 12/07/2010

UNICAMP. **Jornal da Unicamp**, número 453, dos dias 8 a 14 de março de 2010

WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION. **Wind Wind Energy Report 2009**. 2010, 20 p. Disponível em: <http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_s.pdf>. Acesso em 19/07/2010