

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2011

RAFAEL DE TOLEDO BORBA PEREIRA

**Smart Grid e Carros Elétricos – Influência da Carga de Carros Elétricos Sobre
o Sistema Elétrico**

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação
em Engenharia Elétrica da
Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista,
como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação
em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula

Guaratinguetá
2011

P436s	<p>Pereira, Rafael de Toledo Borba Smart Grid e Carros Elétricos - Influência da Carga de Carros Elétricos Sobre o Sistema Elétrico / Rafael de Toledo Borba Pereira – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 77 f : il. Bibliografia: f. 75-77</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Agnelo Marotta Cassula</p> <p>1. Automóveis elétricos I. Título</p> <p>CDU 629.113</p>
-------	--

SMART GRID E CARROS ELÉTRICOS – INFLUÊNCIA DA CARGA DE CARROS
ELÉTRICOS SOBRE O SISTEMA ELÉTRICO

RAFAEL DE TOLEDO BORBA PEREIRA

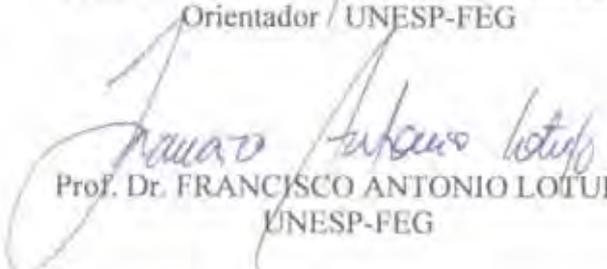
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO
DIPLOMA DE **GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. AGNELO MAROTTA CASSULA
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO LOTUFO
UNESP-FEG


ENG. VITOR ZACCARI
CREA Nº. 260808689-6

Dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

RAFAEL DE TOLEDO BORBA PEREIRA

NASCIMENTO	02.08.1984 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Jaime Borba Pereira Idelí Maria de Toledo Pereira
2004/2011	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família, que sempre esteve presente nos momentos de glória e de dificuldade apoiando e fornecendo sabedoria. Agradeço também os meus amigos que são uma das grandes razões de eu estar onde eu estou. Eles são a família que eu escolhi e que nos ajudando mutuamente compartilhamos o conhecimento adquirido ao longo dos anos afim de que todos pudessem prosseguir sem ressalvas e vencer esta etapa tão árdua de nossa carreira profissional. Dentre os amigos de faculdade gostaria de agradecer especialmente aos meus irmãos de república, todos que já se formaram e os atuais, pois com certeza eles têm grande participação em todos meus feitos até o dia de hoje. A república 6 de Paus é e sempre será minha segunda casa. Mais que especialmente gostaria de agradecer a minha namorada. Ela, apesar de estar pouco tempo na minha vida, me ajudou a conquistar feitos importantíssimos para minha carreira profissional e pessoal. Sem ela não acredito que este trabalho seria possível. Também agradeço a UNESP Campus de Guaratinguetá, por fornecer todo o conhecimento em engenharia adquirido no decorrer da graduação e ao seu corpo docente que dedicaram seu tempo em nos auxiliar a entender assuntos por muitas vezes complexos.

Em especial agradeço ao professor Agnelo Marotta Cassula que me aceitou como seu aluno orientado e tanto me ajudou a desenvolver esse trabalho de graduação.

“Quando você pensa que sabe todas as respostas,
vem a vida e muda todas as perguntas.”

Luís Fernando Veríssimo

Pereira, R. T. B. **Smart Grid e Carros Elétricos – Influência da carga de carros elétricos sobre o sistema elétrico**. 2011. 65 p. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

As tecnologias estão avançando numa velocidade tão expressiva que permitem o aumento da qualidade energética desde a geração até a distribuição para os clientes finais. Essa melhora tem sido possível através da automação da energia que proporciona uma maior qualidade da energia fornecida e menores interrupções no fornecimento assim como um tempo de restabelecimento menor. A tendência da atualidade e do futuro próximo é a geração distribuída de energia, para manter o controle da cadeia automatizada verifica-se a necessidade da presença das redes inteligentes *Smart Grid*, que serão a forma mais eficiente e econômica para se gerenciar todo o sistema. Dentro deste tema, será necessário analisar os carros elétricos que prometem promover um transporte de forma mais sustentável, por não utilizar combustíveis fósseis, e mais saudáveis, por não emitirem poluentes na atmosfera. A popularização deste tipo de veículo estima-se ocorrer em algumas décadas e o estudo de caso analisando sua influência na demanda do sistema elétrico é algo que será importante neste futuro próximo. Este trabalho apresenta um estudo da influência da inclusão das cargas referentes aos carros elétricos.

PALAVRAS-CHAVE: *Smart Grid*, Carro Elétrico, Carregamento.

PEREIRA, R. T. B **Smart Grid and Electric Cars – Influence of load of the electric cars on the electric system.** 2011. 65p. Monograph (Degree in Eletrical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

The technologies are advancing at a pace so expressive that allow the increase of the power quality from generation until the distribution to end customers. This improvement has been made possible through the automation of the energy that follows to a better quality of the energy provided, a lower energy supply disruptions and a very short recovery time. The trend of today and the near future is the distributed energy generation. To keep the automated control of the chain, the presence of Smart Grids is needed and that will be the most efficient and economical way to manage the entire system. Within this theme, is going to be necessary analyze the electric cars that promise to promote a more sustainable transport because it doesn't uses fossil fuels, and more healthy because it does not emit pollutants into the atmosphere. The popularization of this type of vehicle is estimated to happen in a few decades and the case study analyzing its influence on the demand of the electrical system is something that will be very important in the near future. This paper presents a study of the influence of the inclusion of charges refering to electric cars.

KEYWORDS: *Smart Grid*, Electric Car, Charging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pontos notáveis do Sistema Elétrico de Potência (Netto, 2008)	14
Figura 2 - Ônibus Elétrico (Revista Época, Dez 2010)	16
Figura 3 – Carro elétrico, “Jamais Contente” (Revista Época, Dez 2010)	17
Figura 4 - Exemplo de um gerador hidroelétrico (Grupo Energia, 2007).....	21
Figura 5 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Brasil em % e TWh - (BEM 2006) ...	25
Figura 6 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Mundo em %- (BEM 2006)	26
Figura 7 - Esquema de uma Usina Virtual (RBM, 2010).....	28
Figura 8 - - Representação da Transformação em uma SE (Netto, 2008.....	31
Figura 9- Rede de distribuição (Netto, 2008).....	31
Figura 10 - Exemplo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (Netto, 2008) ...	32
Figura 11: Curva de Carga	37
Figura 12: Curva de Carga Típica (Jr, Antonio)	37
Figura 13 - Estrutura do DEMS (Siemens SAG)	45
Figura 14 - Topologia do Sistema (Siemens SAG).....	46
Figura 15 - Previsão do Tempo (Siemens SAG).....	47
Figura 16 - Controle e Supervisão do Sistema (Siemens SAG).....	48
Figura 17 -Potência gerada por cada unidade geradora da usina virtual (Siemens, 2011)	49
Figura 18-Sistema Híbrido Paralelo (Coutinho, 2010)	59
Figura 19 - Sistema Híbrido Série (Coutinho, 2010)	59
Figura 20 - Sistema Híbrido Série-Paralelo (Coutinho, 2010).....	60
Figura 21 - Demanda adicional com carregamento em casa.....	65
Figura 22 - Demanda adicional com carregamento em casa e distribuída ao longo do dia. ...	66
Figura 23 - Demanda adicional com carregamento no estacionamento.....	67
Figura 24 - Demanda adicional com carregamento no estacionamento e distribuída ao longo do dia.....	68
Figura 25 - Demanda adicional com carregamento em Postos de Recarga	69
Figura 26 - Posto de Recarga com a demanda distribuída	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SEP – Sistema Elétrico de Potência
AC – Corrente Alternada
CC – Corrente Contínua
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
COGD – Centro de Operações de Geração Distribuída
SE – Subestação
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
PURPA – Public Utility Regulatory Politic Act
EPACT – Energy Policy Act
FERC – Federal Energy Regulatory Comission
PLC – Power Line Communication
GSM – Groupe Special Mobile
GPRS – General Packet Radio Service
DEMS – Decentralized Energy Management System
IHM – Interface Homem-Máquina
EEG – Energias Renováveis da Alemanha
EUA – Estados Unidos da América
CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz
COPEL – Companhia Paranaense de Eletricidade
IEA – International Energy Agency
MIT – Motores de Indução Trifásicos
ABVE – Associação Brasileira de Veículos Elétricos
SAE – Society of Automotive Engineering
VEB – Veículo Elétrico a Bateria
VEH– Veículo Elétrico Híbrido

GNV – Gás Natural Veicular

SHSP – Sistema Híbrido Série-Paralelo

SHS – Sistema Híbrido Série

SHP – Sistema Híbrido Paralelo

VEP – Veículo Elétrico Plug-In

IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

CONTRAN/DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

SIBRATEC – Sistema Brasileiro de Tecnologia

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

SMART MV SWGR – Smart Medium Voltage SwitchGear

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Histórico da utilização dos veículos elétricos.....	16
1.2 Estrutura da Monografia.....	19
2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	20
2.1 Geração.....	20
2.1.1 Geração Distribuída	22
2.1.2 Geração Distribuída no Brasil.....	24
2.1.3 Geração Distribuída no Mundo.....	25
2.1.4 Usinas Virtuais	27
2.2 Transmissão	29
2.3 Distribuição	30
2.4 Sistema de Tarifação	32
2.4.1. Classificação dos Consumidores.....	33
2.4.2 Modalidades Tarifárias e Tarifação	34
2.4.3 Horário de Ponta.....	36
2.4.4 Curva de carga.....	37
2.4.5 Mudança Tarifária	38
3 SMART GRID	40
3.1 Integração de Comunicação de Duas Vias	41
3.2 Componentes Modernos.....	42
3.3 Métodos de Controle Modernos	42
3.4 Tecnologias de Detecção e de Medição	42
3.5 Melhoria das Interfaces e Apoio à Decisão	43
3.6 Aplicações da Tecnologia Smart Grid	43
3.7 Software de Controle.....	44
3.8 Medidores Inteligentes de Energia.....	50
3.9 Iniciativas Internacionais.....	52
3.10 Iniciativas Nacionais.....	54
4 VEÍCULOS ELÉTRICOS	56
4.1 Tipos de Veículos Elétricos	57

4.2 Características dos Veículos Elétricos	60
4.3 Influência dos Veículos Elétricos	61
4.4 Propostas de investimentos para o Veículo Elétrico	61
5 ESTUDO DE CASO	64
6 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de distribuição de energia têm sido operados de uma forma simples, fácil e unidirecional até agora. O aumento do consumo global, “e-mobility” e a crescente participação de fontes renováveis instaladas próximas aos clientes, combinado com efeitos de liberação do mercado estão mudando as necessidades operacionais.

Um Sistema Elétrico de Potência (SEP) é caracterizado por um conjunto de infraestruturas com a finalidade de geração, transmissão, e distribuição da energia elétrica, conforme apresentado na Figura 1.

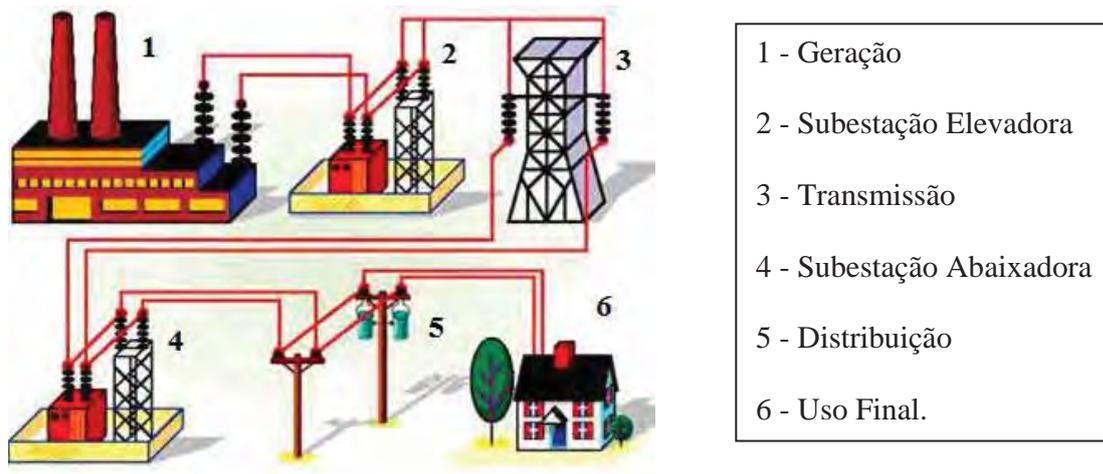


Figura 1 - Pontos notáveis do Sistema Elétrico de Potência (Netto, 2008)

Uma abordagem mais compreensiva é necessária para operar os sistemas de distribuição de energia de forma eficiente e econômica. A rede inteligente *Smart Grid* – a partir deste momento será utilizada esta definição – é aplicável a toda cadeia de fornecimento de energia, ou seja, é aplicável nos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia e pode ser monitorado ou automatizado.

A cada ano que se passa é verificado uma maior automação dos sistemas de potência e devido à geração descentralizada, onde fluxos de potência bidirecionais são gerados e afetam a rede. Os responsáveis pela operação e planejamento dos sistemas procuram ano após ano obter novas formas de detectar falhas no sistema com maior

rapidez. Além disso, estas pessoas tem a necessidade de obter mais informações do sistema que estão gerenciando e veem como grande aliada o gerenciamento e controle remoto, que podem reduzir consideravelmente as durações das interrupções do fornecimento, assim como os custos que esse colapso pode acarretar no sistema.

Sistemas de supervisão e telecontrole em subestações de energia elétrica são possíveis de serem implementados graças aos avanços tecnológicos da automação. Os sistemas automatizados voltados para subestações de energia elétrica possibilitam a ampliação do potencial de aquisição, processamento e comunicação, desta maneira, permitindo o controle mais inteligente e tornando as decisões operacionais mais eficazes.

Dentre os elementos componentes do Sistema Elétrico de Potência, a utilização final voltada ao veículo elétrico é o elemento que será abordado neste trabalho.

A era da eletromobilidade só esta começando, brevemente os primeiros veículos elétricos de série poderão ser vistos nas ruas juntamente com seus postos de recarga. Um ponto importante a ser considerado nesta situação é a interferência dos pontos de reabastecimento sobre a demanda elétrica para o sistema como um todo.

Com esta tendência que está cada vez mais próxima de se tornar realidade é necessário avaliar quais ações podem ser tomadas para se evitarmos uma sobrecarga no sistema.

1.1 Histórico da utilização dos veículos elétricos

Os primeiros veículos elétricos surgiram ainda no século dezenove e precederam a invenção do motor a gasolina por Daimler e Benz, na Alemanha em 1885. Antes que esta tecnologia se impusesse até os nossos dias, eram relativamente prósperas as manufaturas de veículos elétricos e até mesmo linhas de ônibus elétricos ganhavam espaços nas ruas de Londres por volta de 1881, que vieram permitir a recarga das baterias. (PERES, 2011)



Figura 2 - Ônibus Elétrico (Revista Época, Dez 2010)

A Figura 2 apresenta o ônibus elétrico que foi criado em 1881 e era movido com 9 toneladas de bateria de chumbo. Este veículo foi criado por engenheiros renomados como Thomas Edison e circulavam entre Paris e Versailles.



Figura 3 – Carro elétrico, “Jamais Contente” (Revista Época, Dez 2010)

O ímpeto desta trajetória inicial dos veículos elétricos ainda perduraria por um bom tempo, com avanços notáveis, como a construção do “Jamais Contente” (figura 3) pelo engenheiro belga Camille Jenatzy, em 1899, um carro elétrico que alcançou a incrível velocidade, para época, de 100 km/h.

Vale mencionar que em 1918, na cidade do Rio de Janeiro, foi inaugurada a linha de ônibus elétricos, pela antiga Light and Power Co. Ltd., entre a Praça Mauá e o, então existente, Palácio Monroe, na outra extremidade da Avenida Rio Branco.

Apesar destas qualidades, as limitações do tempo de recarga e autonomia não se mostraram suficientes para suplantarem o sucesso iniciado com o lançamento do Ford T, em 1909, que contou, pouco depois, com aperfeiçoamentos como o da partida elétrica. Esta inovação veio a desempenhar importante papel na ascensão de um dos produtos mais almejados e disputados pela sociedade de consumo: o automóvel. O ingresso das grandes empresas de petróleo, neste cenário, a exemplo da Texaco, em 1902, nos EUA, puderam oferecer o suporte necessário de combustíveis, pois em 1892 Rudolf Diesel já havia inventado o famoso motor cujo ciclo receberia o seu próprio nome.

A história moderna dos veículos elétricos pode-se dizer iniciou em 1960, em Phoenix, nos EUA, onde ocorreu o primeiro simpósio internacional dedicado

exclusivamente a este assunto. Nesta época, já eram sensíveis os efeitos da poluição do ar causada por veículos à combustão interna, nos grandes centros urbanos. As crises que se sucederam na década de 70, ao dispararem os preços do barril do petróleo, somaram argumentos à questão da poluição atmosférica em favor da opção veicular elétrica com o objetivo de diminuir o consumo de combustíveis fósseis. Uma nova geração de carros elétricos foi desenvolvida em diversos países, inclusive no Brasil, com o lançamento do ITAIPU ELÉTRICO, fabricado pela extinta indústria nacional GURGEL S.A. Furnas Centrais Elétricas S.A., em 1984, era uma das empresas que de forma pioneira, contou com dois furgões elétricos deste fabricante e pôde testá-los em serviços gerais, nas áreas de Campinas e Tijuco Preto.

As medidas de racionalização e substituição do petróleo em vários cantos do mundo, como a do PROALCOOL (1975) brasileira, foram eficazes sucedendo-se o declínio dos preços do petróleo, antes que os carros elétricos, pudessem firmar a sua utilização junto ao público.

O início da década de 90 foi marcado por inúmeras questões de ordem ambiental e energética, cujos desdobramentos se tornariam irreversíveis em decorrência das repercussões de caráter global. Passaram a fazer parte das primeiras páginas dos jornais assuntos ligados às mudanças climáticas, os desequilíbrios sobre o efeito estufa e as implicações devastadoras sobre a saúde dos seres vivos em consequência da poluição do ar. Nas grandes cidades o problema é agravado pelas emissões dos veículos a combustão interna, pois repercutem de forma majoritária.

O atendimento ao enorme mercado oferecido por esta norma e outras similares tem como candidato natural os veículos elétricos como tecnologia capaz de não provocar emissões ao menos no local onde atuam. Este novo ressurgimento dos veículos elétricos passou a entrar em cena após reunir intensos esforços de fabricantes, centros de pesquisa, universidades e organizações não governamentais.

Entretanto, com uma maciça utilização de carros elétricos por parte da população, irá acarretar um grande aumento de carga no sistema elétrico. Este trabalho apresenta uma discussão inicial sobre os problemas causados por este aumento repentino da carga.

1.2 Estrutura da Monografia

No presente capítulo o objetivo é apresentar uma pequena introdução do tema que será tratado e definir toda a estrutura deste trabalho de graduação

No capítulo 2 será apresentado um pequeno histórico a respeito dos carros elétricos assim como o sistema elétrico brasileiro em toda sua extensão, desde a geração, transmissão e distribuição para os clientes finais.

O capítulo 3 apresenta os conceitos sobre *Smart Grid*. Qual o seu conceito, o porquê da sua utilização, quais as diferentes utilizações em outros países e as tendências para o futuro próximo.

No capítulo 4 será apresentado o carro elétrico e suas variações.

No capítulo 5 é o estudo voltado à carga de carros elétricos e sua interferência no sistema elétrico das cidades.

No capítulo 6 são comentadas as principais conclusões obtidas neste trabalho.

2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A eletricidade entrou no Brasil no final do século 19, através da concessão de privilégio para a exploração da iluminação pública, dada pelo Imperador D. Pedro II a Thomas Edison. Em 1930, a potência instalada no Brasil atingia a cerca de 350 MW, em usinas hoje consideradas como de pequena potência, pertencentes às indústrias e as Prefeituras Municipais, na maioria hidroelétricas, que operam com barragens a “fio d’água” ou com pequenos reservatórios de regularização diária. Em 1939, no Governo do Presidente Vargas, foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia, órgão de regulamentação e fiscalização, mais tarde substituído pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), subordinado ao Ministério de Minas e Energia. A primeira metade do século 20 representa a fase de afirmação da geração de eletricidade como atividade de importância econômica e estratégica para o País.

A partir do fim da Segunda Guerra Mundial, o Sistema Elétrico ganhou impulso com a construção da primeira grande usina, a de Paulo Afonso I, com a potência de 180 MW, seguida pelas usinas de Furnas, Três Marias e outras, com grandes reservatórios de regularização plurianual. No final da década de 60, foi criado o Grupo de Coordenação de Operação Interligada, tomando corpo o sistema nacional interligado.

2.1 Geração

A energia elétrica é gerada através de diferentes tecnologias. Dentre as principais verifica-se que as mesmas aproveitam um movimento rotatório para gerar uma Corrente Alternada (AC) em um alternador. Este movimento rotatório pode vir de uma fonte de energia mecânica direta, como o fluxo de água ou o vento ou até mesmo de um ciclo termodinâmico.

Neste último caso, verifica-se que com o aquecimento de um fluido é possível conseguir um circuito que move um motor ou uma turbina. O resultado deste processo,

que é o calor, se obtém mediante a queima de combustíveis fósseis, reações nucleares entre outros processos.

No caso das usinas hidroelétricas a água flui diretamente através das turbinas para converter energia potencial gravitacional em energia elétrica.

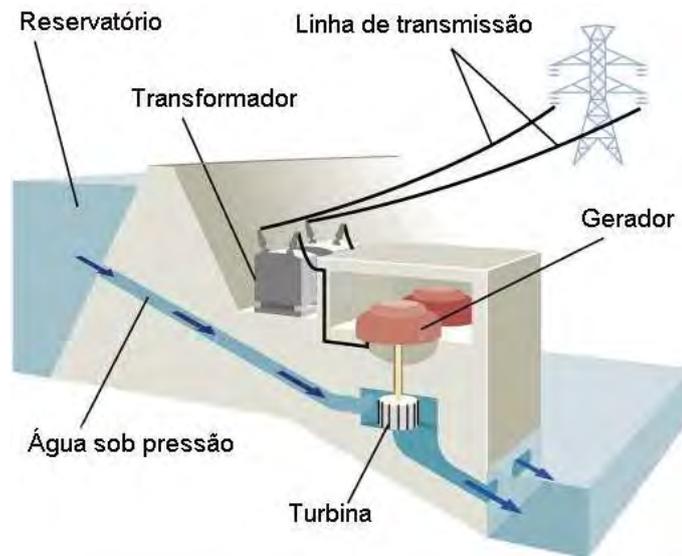


Figura 4 - Exemplo de um gerador hidroelétrico (Grupo Energia, 2007)

Na Figura 4 é possível visualizar a forma que a energia elétrica é gerada em uma usina hidroelétrica. A água sob pressão, contém alta energia potencial, entra na turbina transformando esta energia em energia cinética. A turbina, ligada ao gerador, gira transformando esta energia em eletricidade. A tensão elétrica vai para o transformador e é transmitida pelas torres de alta tensão até as cidades aonde finalmente é distribuída para os consumidores finais.

Para o tema deste trabalho de graduação, é necessário entender o conceito de geração distribuída, pois esta é uma das bases para a implantação do *Smart Grid*.

2.1.1 Geração Distribuída

Segundo o decreto de Nº 5.163, de 30 de Julho de 2004, Geração Distribuída é definida como a produção de energia proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto os empreendimentos hidrelétricos, com capacidade instalada superior a 30MW, e os termelétricos, inclusive de co-geração, com eficiência energética inferior a 75%, sendo que aqueles empreendimentos termelétricos que utilizem como combustível a biomassa ou resíduos de processos não estarão limitados a este percentual de eficiência.

Esta geração distribuída propicia diversas vantagens, seja ao consumidor final, ao setor elétrico ou a sociedade.

Vantagens do uso da Geração Distribuída:

- Produção de potência próxima de onde ela é consumida;
- Redução global de perdas e possível redução da necessidade de novas linhas de transmissão e de distribuição;
- Flexibilidade de implementação em curto espaço de tempo;
- Operação em horários de ponta, diminuindo a flutuação de preço;
- Benefícios ambientais quando utilizam energias renováveis;
- Aumentar a confiabilidade do sistema, por ter uma redundância inerente;
- Propicia uma abordagem modular dos problemas, atendendo demandas particulares com soluções específicas;
- Redução no carregamento da rede, maior flexibilidade operativa, melhor perfil de tensão e redução das perdas;
- Propicia a aplicação de diferentes técnicas de gerenciamento da demanda.

Desvantagens do uso da Geração Distribuída:

- Aumento do nível de curto circuito, flutuações rápidas e cíclicas da tensão (efeito “*flicker*”), flutuação de potência ativa e coordenação da proteção;
- Altos custos das tecnologias aplicadas, maior complexidade de operação do sistema elétrico, questões sérias quanto à qualidade da energia, curto-circuito, operação e manutenção, interconexão, operação sem carga, custos de interconexão elevados e maior complexidade nas interligações e no planejamento integrado;
- O fato das fontes, em grande parte, dependerem da variabilidade de fenômenos naturais como ventos, incidência do sol e outras, sendo então sujeitas a influências meteorológicas e sazonais;
- O aparecimento de fluxos contrários ao convencional;

A Geração Distribuída, pode ainda seguir duas vertentes:

- **Reserva Descentralizada:** A Reserva Descentralizada funciona como um parque descentralizado capaz de suprir as mais diversas necessidades, tais como: excesso de demanda (demanda de ponta); cobertura de apagões localizados ou generalizados; melhorar as condições qualitativas do fornecimento em regiões atendidas deficientemente (em tensão ou em frequência), por razões estruturais ou por razões conjunturais e momentâneas.
- **Fonte de Energia:** Essencialmente, volta-se para atender cargas conectadas diretamente à geração, seja para autoconsumo industrial ou predial (comercial, residencial ou atendimento público como hospitais, terminais aeroportuários ou similares), com ou sem produção de excedentes exportáveis, seja para suprir necessidades locais de distribuição de energia.

Pode-se afirmar que a Geração Distribuída não compete e, sim, complementa e melhora o Sistema Elétrico convencional.

2.1.2 Geração Distribuída no Brasil

No Brasil, devido a grande extensão territorial e distância das unidades geradoras aos centros consumidores, já existe um significativo interesse pela Geração Distribuída, principalmente por Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e biomassa, o que requer uma atenção especial dos agentes do Setor Elétrico Brasileiro quanto à conexão, controle e despacho otimizado de todas estas unidades geradoras.

Assim sendo, a regulação brasileira, segundo os procedimentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), já menciona a criação de um Centro de Operações de Geração Distribuída (COGD) para este gerenciamento. Principalmente porque este tipo de tecnologia vem apresentando grandes vantagens econômicas na geração de energia, uma vez que o preço da tarifa convencional é fortemente penalizada devido a grande carga tributária, e devido ao custo do MWh que vem aumentando nos últimos anos, pela necessidade de geração de energia distante dos grandes centros de consumo do país.

Sendo assim, o número de unidades de Geração Distribuída irá aumentar significativamente nos próximos anos, passando a ter, portanto, uma grande influência no despacho de energia do sistema elétrico e conseqüentemente a criação de um COGD será indispensável.

Com relação aos incentivos fiscais, no Brasil já há ações focadas em subsidiar projetos relacionados a energias renováveis:

- Desconto (50% ou 100%) nas tarifas de uso do sistema de distribuição ou de transmissão (Instituído na Lei 9.427/1996).
- Isenção de impostos de importação para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à geração eólica e solar (Lei no 9.991/2000).

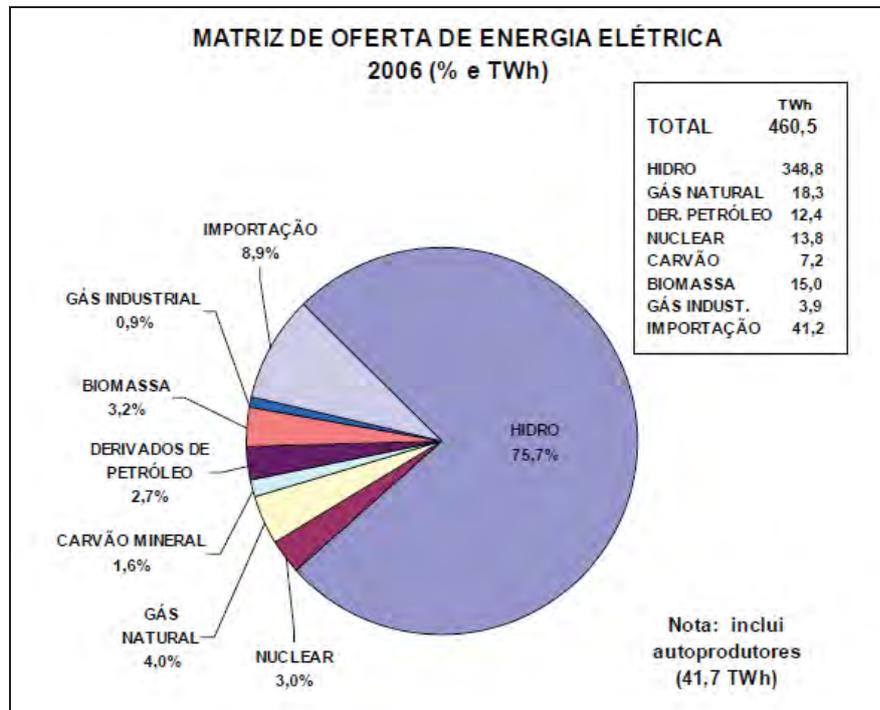


Figura 5 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Brasil em % e TWh - (BEM 2006)

A Figura 5 apresenta a matriz de oferta de energia elétrica brasileira e a partir deste gráfico é possível verificar a dependência do Brasil perante a geração de energia Hidrelétrica. Apesar da geração do Brasil ser muito alta, ainda é necessário importar uma quantidade considerável de energia, sendo que as principais fontes são: Argentina, Venezuela, Paraguai e Uruguai. Além disto, temos uma quantidade considerável de geração por gás natural, biomassa e nuclear.

2.1.3 Geração Distribuída no Mundo

A Crise do petróleo no começo dos anos 70 teve grande impacto no sistema energético mundial, demonstrando a forte dependência das economias ocidentais aos combustíveis fósseis. Para diminuir esta dependência, países como Japão, França e Estados Unidos, aumentaram os incentivos a geração de energia elétrica através de fontes alternativas, principalmente a nuclear. Nesta mesma época, aumentou-se o estímulo ao

desenvolvimento e estudo de novas tecnologias de geração de energia elétrica: solar, fotovoltaicas, geotérmicas, eólicas e biomassa.

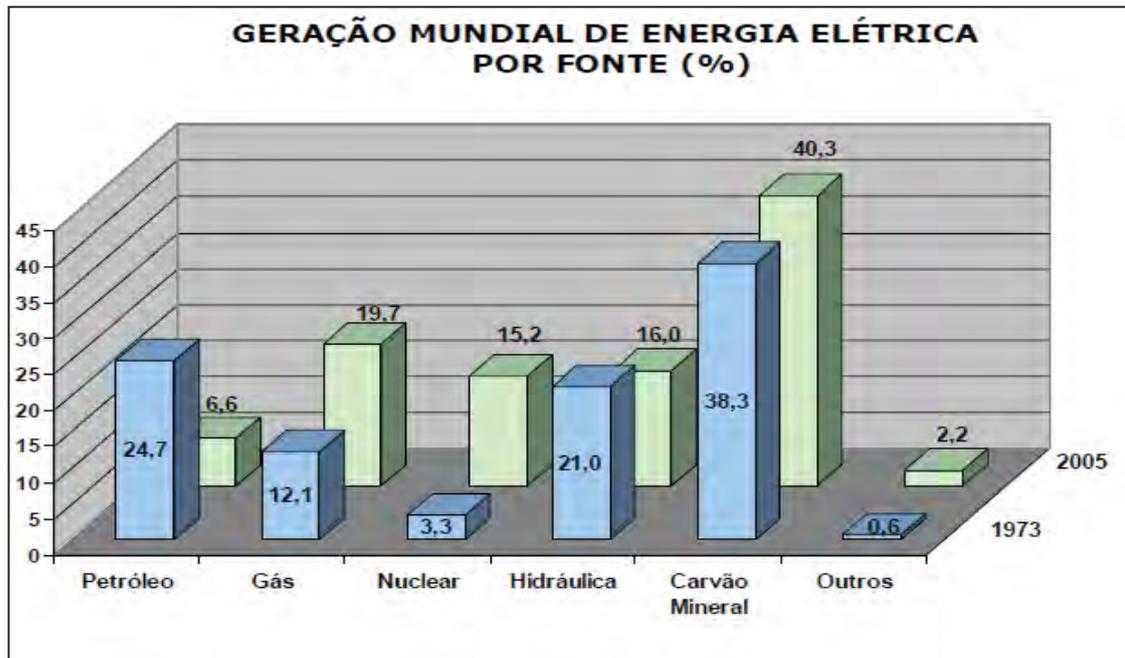


Figura 6 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Mundo em %- (BEM 2006)

A Figura 6 apresenta a evolução dos tipos de geração elétrica ao redor do mundo desde 1973 até 2005. Pode-se verificar a redução por hidráulica e principalmente por petróleo (grande gerador de poluição), assim como o grande aumento da geração por energia nuclear e gás.

Devido à queda do petróleo muitos países desinteressaram-se por estas fontes geradoras. Entretanto os EUA aprovaram, em novembro de 1978, o plano PURPA – (Public Utility Regulatory Politic Act), visando aumentar a eficiência energética e diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

O PURPA introduziu a concorrência na indústria de geração de energia e garantiu aos produtores devidamente qualificados a geração de energia sem a imposição de regulamentações discriminatórias. Entende-se por produtores qualificados, aqueles que tinham uma capacidade menor de 50MW, a menos que a energia gerada fosse de fontes renováveis e com um grau de eficiência mínimo. Com o PURPA as concessionárias

foram forçadas a comprar a energia oferecida destes autoprodutores. Assim sendo, pode-se dizer que o PURPA revolucionou a geração de energia nos EUA e nutriu o surgimento da geração distribuída.

Posteriormente, através da EPACT (Energy Policy Act), em 1992 e com apoio do FERC (Federal Energy Regulatory Commission), garantiu-se o acesso destes autoprodutores as malhas de transmissão e distribuição e iniciou-se um processo de legislação para o tema, o que resultou na modificação das regras do mercado de energia e fomentou a concorrência entre os fornecedores.

Atualmente, a competitividade no mercado de energia americano continua crescendo e o setor elétrico tende a separar a geração, transmissão e distribuição em entidades diferentes e com funções específicas.

Nos países da União Europeia, existem diferenças com relação à definição da Geração Distribuída, na França, o limite da planta dos autoprodutores é de 8 MW, na Itália existem restrições para instalações superiores a 3 MW ou 25 GWh/ano, em Portugal se impõe um regime de concessão para centrais com potência superior a 10 MW, enquanto que na Alemanha não existe restrição à geração distribuída.

Com relação ao acesso a rede, da União Europeia, somente a Bélgica, Dinamarca, Luxemburgo e Irlanda sugerem a necessidade de contratos específicos, nos demais países este processo já está implementado.

2.1.4 Usinas Virtuais

Uma usina Virtual é a representação de um grupo conciso de instalações de geração distribuída como: pequenas centrais hidrelétricas, parques eólicos, pequenas termelétricas entre outras, que são coordenadas e gerenciadas por uma única central.

O nome virtual implica que esta central única não existe fisicamente, apenas representa o esforço de todas as unidades geradoras. A operação centralizada aliada a um software de controle possibilita um melhor gerenciamento e é capaz de planejar e aperfeiçoar a geração de energia baseado nas necessidades dos consumidores e na

disponibilidade dos recursos naturais. Uma das grandes vantagens deste tipo de tecnologia é baratear o despacho e o gerenciamento de várias pequenas unidades de geração distribuídas.

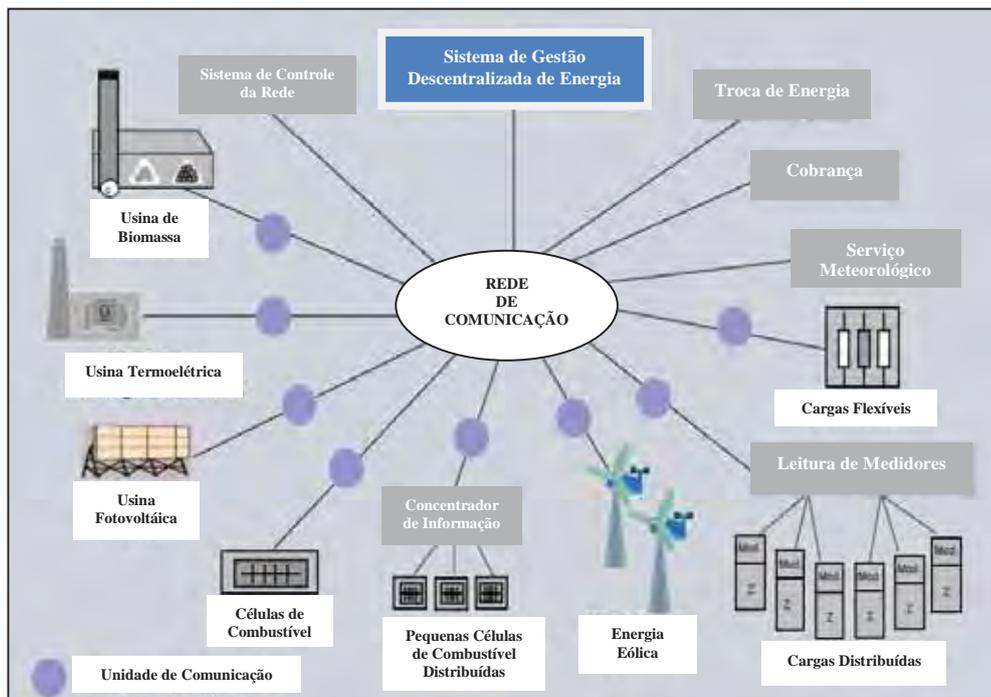


Figura 7 - Esquema de uma Usina Virtual (RBM, 2010)

A Figura 7 demonstra toda interface de uma usina virtual. Verifica-se que através de uma rede complexa de comunicação um sistema de gestão descentralizado consegue coordenar todo tipo de geração de energia que ingressa na rede através das unidades de comunicação. Além desse gerenciamento, esse sistema tem a possibilidade de realizar outras funções, como serviço meteorológico, sistema de cobrança, identificação de falhas, etc.

Este fluxo de informações pode ocorrer através de variados meios. sendo que os principais serão brevemente comentados a seguir:

- “Power Line Communication” (PLC) significa “comunicações através de linha de força” que é a tecnologia que utiliza uma das redes mais utilizadas em todo mundo, a rede de energia elétrica. A ideia desta tecnologia não é nova, e consiste em transmitir

dados e voz em banda larga pela rede de energia elétrica. Sua vantagem é que como utiliza uma infraestrutura já disponível, não necessita de obras para ser implantada.

- GSM (Groupe Special Mobile) que é uma tecnologia móvel e o padrão mais popular para telefones celulares do mundo. Esta tecnologia utiliza dois conjuntos de frequências em bandas diferentes, próximas aos 900 MHz.

- GPRS (Serviço de Rádio de Pacote Geral) é uma tecnologia que aumenta as taxas de transferência de dados nas redes GSM existentes. Esta permite o transporte de dados por pacotes. Sendo assim, o GPRS oferece uma taxa de transferência de dados muito mais elevada que as taxas de transferência das tecnologias anteriores, que usavam comutação por circuito, que eram em torno de 12kbps. Já o GPRS, em situações ideais, pode ultrapassar a marca dos 170kbps..

É importante ressaltar ainda que para garantir uma verdadeira interação com o sistema, é muito importante a utilização de protocolos padronizados nestes processos de comunicação, de modo que sejam abertos e acima de interesses específicos.

2.2 Transmissão

A transmissão de energia elétrica é o processo de transportar grandes volumes de energia entre dois pontos. Este transporte é feito através de linhas de transmissão de alta potência, geralmente usando corrente AC.

Cada linha de transmissão tem um nível de tensão nominal, onde é possível encontrar valores de até 750kV, as linhas no Brasil são usualmente na faixa de 230kV.

Em sistemas de grande porte é usual que existam interligações redundantes formando assim uma rede. O número de interligações aumenta a confiabilidade do sistema, pois caso ocorra um problema numa linha qualquer, outra poderá substituir temporariamente a linha que esta problemática e assim é evitada a interrupção de carga.

As linhas de transmissão são compostas por torres que erguem os cabos a uma distância segura do solo, de forma a evitar contato elétrico com qualquer ser vivo que possa se aproximar do local. Estas devem suportar os cabos em condições extremas,

determinadas pelo tipo do cabo, ventos da região e outros eventos locais. Além das torres, existem os isoladores que são o meio que as torres suportam os cabos. Estes isoladores evitam a dissipação da energia através da estrutura metálica garantindo assim rigidez dielétrica, em geral são constituídos de cerâmica, vidro ou polímeros.

Para se transportar uma mesma potência, eleva-se a tensão, com o intuito de reduzir a corrente e, assim, diminuir a “bitola” dos cabos de transmissão, reduzindo seus custos e também minimizando os esforços mecânicos sustentados pela torre. Outro aspecto importante é que, com a diminuição das correntes, reduzem-se as perdas por efeito Joule, já que estas perdas são proporcionais ao quadrado da corrente.

Um aspecto importante a ser citado é o efeito Corona. Este efeito ocorre quando o campo elétrico na superfície de um condutor atinge um limiar em que seu dielétrico com o ar é rompido, isto gera uma descarga elétrica em torno do condutor, gerando perdas para todo o sistema. Em dias de chuva a umidade relativa no ar aumenta, e isto facilita o rompimento do dielétrico.

A transmissão de energia é a forma de conectar a usina geradora até uma subestação elétrica que realiza a distribuição desta eletricidade para os usuários finais.

2.3 Distribuição

Quando se trata da distribuição da energia é necessário o seu recebimento em uma Subestação (SE), aonde a tensão de transmissão será reduzida a valores de distribuição na rede primária.

Esta transformação pode ser representada conforme abaixo:

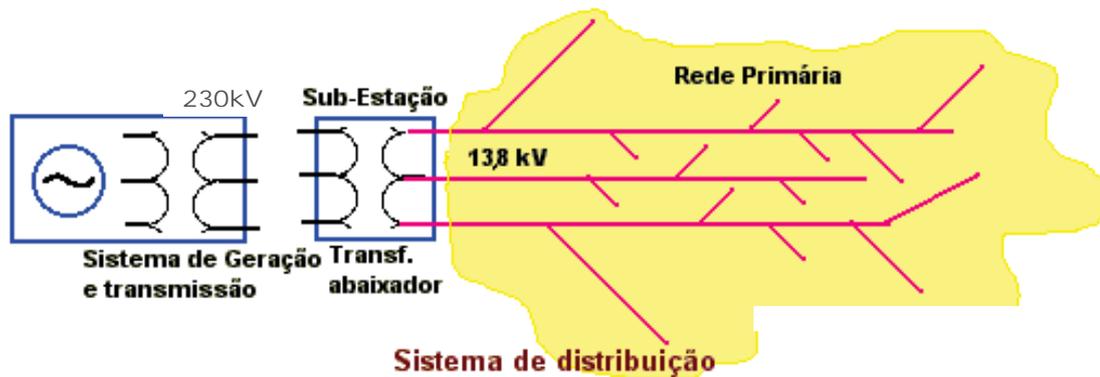


Figura 8 - - Representação da Transformação em uma SE (Netto, 2008)

A Figura 8 representa uma situação em que uma tensão chega pela linha de transmissão com 230kV e através de um transformador abaixador tem seu valor reduzido para 13,8kV e esta tensão então é conduzida pela rede primária.

Este sistema de distribuição alimenta os transformadores de distribuição que se encontram nos postes da rua próximo as residências. Na figura 9 apresenta uma parte da rede primária (13,8kV) e uma parte da rede secundária.

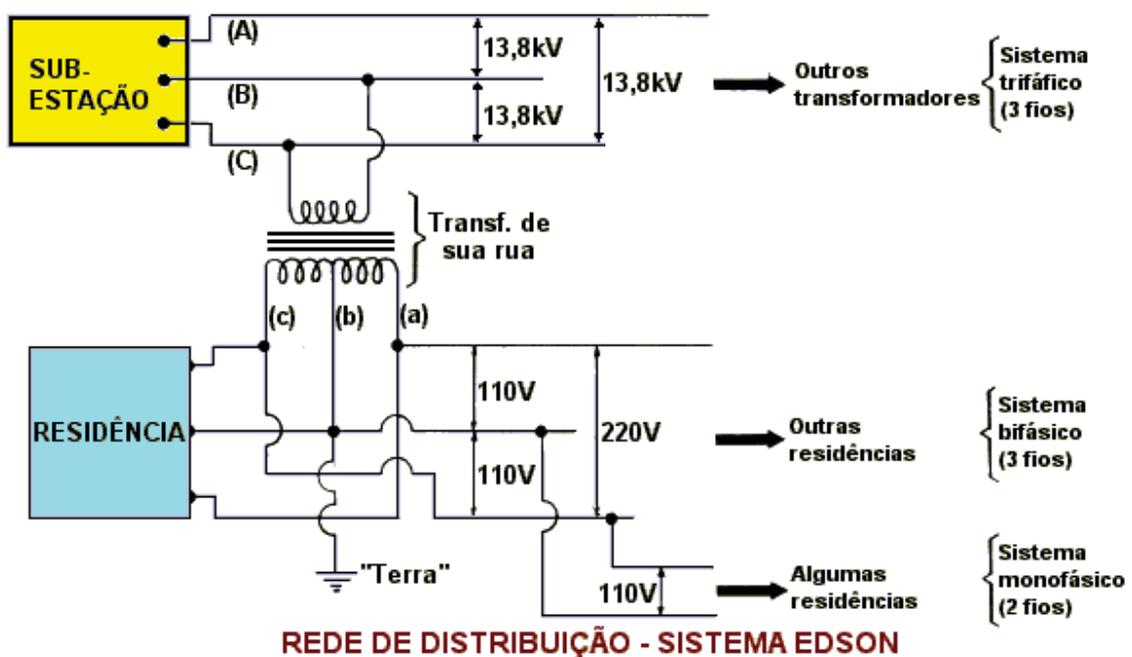


Figura 9- Rede de distribuição (Netto, 2008)

Para se exemplificar o que foi comentado até este momento, será utilizado um caso onde o gerador fornece 13,8kV, o transformador elevador eleva a tensão para 230kV, é feita a transmissão e então o transformador abaixador abaixa a tensão na SE para 13,8kV que então será transportada para o consumidor final. A figura 10 ilustra este exemplo:

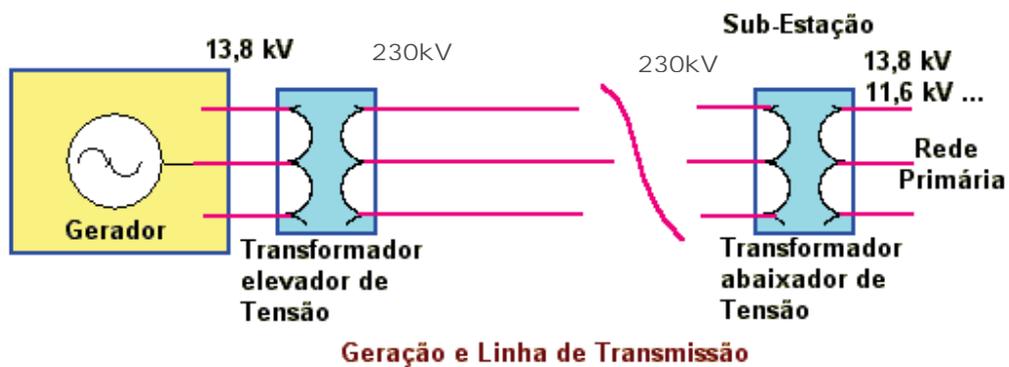


Figura 10 - Exemplo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (Netto, 2008)

2.4 Sistema de Tarifação

O sistema tarifário brasileiro em vigor atualmente foi estabelecido a partir de 1993 pela Lei nº 8.631 e o Decreto nº 774, que a regulamentou. Estabeleceram a desqualificação tarifária e a extinção da remuneração legal mínima de 10% sobre o investimento, vigente desde o Código de Águas, de 1934, fixando, a partir de então, o regime tarifário vigente. (ANEEL, 2000)

A resolução da ANEEL Nº 414/2010, Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Segue abaixo uma parte desta resolução onde temos o seguinte:

XLVII – modalidade tarifária: conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas:

a) tarifa convencional: modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano; e

b) tarifa horossazonal: modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas

de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com os postos horários, horas de utilização do dia, e os períodos do ano, observando-se:

1. horário de ponta: período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, e os seguintes feriados:

Dia e mês Feriados nacionais Leis federais

01 de janeiro Confraternização Universal;
 21 de abril Tiradentes;
 01 de maio Dia do Trabalho;
 07 de setembro Independência;
 12 de outubro Nossa Senhora Aparecida;
 02 de novembro Finados;
 15 de novembro Proclamação da República;
 25 de dezembro Natal;

2. horário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta;

3. período úmido: período de 5 (cinco) ciclos de faturamento consecutivos, referente aos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte;

4. período seco: período de 7 (sete) ciclos de faturamentos consecutivos, referente aos meses de maio a novembro;

5. tarifa azul: modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, assim como de tarifas diferenciadas de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia; e

6. tarifa verde: modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, assim como de uma única tarifa de demanda de potência. (ANEEL, 2010)

2.4.1. Classificação dos Consumidores

Os consumidores são classificados pelo nível de tensão em que são atendidos. Os consumidores atendidos em baixa tensão, em geral em 127V ou 220V, como residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais e boa parte dos edifícios comerciais, são classificados no Grupo B.

Os consumidores atendidos em alta tensão, acima de 2300V, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, são classificados no Grupo A. Esse grupo é subdividido de acordo com a tensão de atendimento, como mostrado abaixo:

- A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV;
- A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- AS para sistema subterrâneo

2.4.2 Modalidades Tarifárias

As tarifas do “grupo A” são para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, 2,3 a 750 (kV), e recebem denominações com letras e algarismos indicativos da tensão de fornecimento, como mencionado anteriormente.

As tarifas do “grupo A” são construídas em três modalidades de fornecimento: convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde, sendo que a convenção por cores é apenas para facilitar a referência.

a) Estrutura tarifária convencional

A estrutura tarifária convencional é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. A tarifa convencional apresenta um valor para a demanda de potência em reais por quilowatt e outro para o consumo de energia em reais por megawatt-hora.

b) Estrutura tarifária horo-sazonal

A estrutura tarifária horo-sazonal é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano. O objetivo dessa estrutura tarifária é racionalizar o consumo de energia elétrica ao longo do dia e do ano, motivando o

consumidor, pelo valor diferenciado das tarifas, a consumir mais energia elétrica nos horários do dia e nos períodos do ano em que ela for mais barata.

Para as horas do dia são estabelecidos dois períodos, denominados postos tarifários. O posto tarifário “ponta” corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica, que ocorre entre 18 e 21 horas do dia. O posto tarifário “fora da ponta” compreende as demais horas dos dias úteis e as 24 horas dos sábados, domingos e feriados. As tarifas no horário de “ponta” são mais elevadas do que no horário “fora de ponta”.

Já para o ano, são estabelecidos dois períodos: “período seco”, quando a incidência de chuvas é menor, e “período úmido” quando é maior o volume de chuvas.

As tarifas no período seco são mais altas, refletindo o maior custo de produção de energia elétrica devido à menor quantidade de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, provocando a eventual necessidade de complementação da carga por geração térmica, que é mais cara. O período seco compreende os meses de maio a novembro e o período úmido os meses de dezembro a abril.

b1) Tarifa horo-sazonal azul

A tarifa horo-sazonal azul é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia. Ela é aplicável obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado, e com tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV.

A tarifa horo-sazonal azul tem a seguinte estrutura:

Demanda de potência (R\$/kW):

Um valor para o horário de ponta (P);

Um valor para o horário fora de ponta (FP).

Consumo de energia (R\$/MWh):

Um valor para o horário de ponta em período úmido (PU);

Um valor para o horário fora de ponta em período úmido (FPU);

Um valor para o horário de ponta em período seco (PS);

Um valor para o horário fora de ponta em período seco (FPS).

b2) Tarifa horo-sazonal verde

A tarifa horo-sazonal verde é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

A tarifa horo-sazonal se aplica obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300kW.

A tarifa horo-sazonal verde tem a seguinte estrutura:

Demanda de potência (R\$/kW): valor único

Consumo de energia (R\$/MWh):

Um valor para o horário de ponta em período úmido (PU);

Um valor para o horário fora de ponta em período úmido (FPU);

Um valor para o horário de ponta em período seco (PS);

Um valor para o horário fora de ponta em período seco (FPS).

2.4.3 Horário de Ponta

Ao longo das 24 horas do dia, o consumo de energia varia, atingindo valores máximos entre as 17 e 22 horas. De acordo com o perfil da carga de cada concessionária, são escolhidas três horas compreendidas no intervalo das 17:00 às 22:00h, dos dias úteis, definido como HORÁRIO DE PONTA.

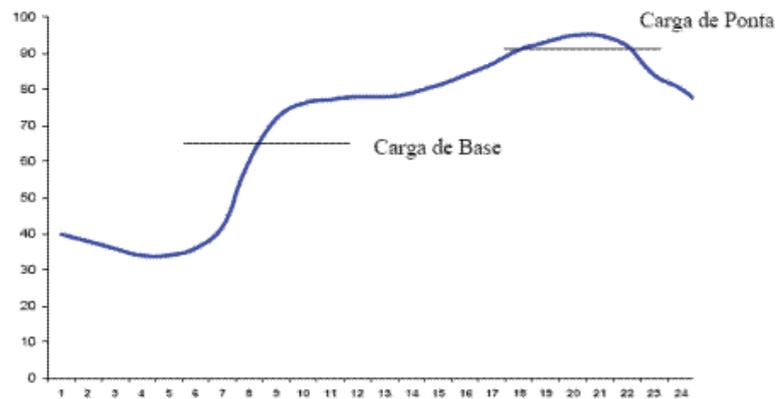


Figura 11: Curva de Carga

Fonte : [http://www.geradoresriopreto.com.br/artigos.asp?id=4&slug=horario de ponta - tarifacao de energia14-04-2011](http://www.geradoresriopreto.com.br/artigos.asp?id=4&slug=horario%20de%20ponta%20-%20tarifacao%20de%20energia14-04-2011)

O sistema de geração de energia tem que ter capacidade para suprir o pico de consumo neste horário e no restante do tempo permanecer com capacidade ociosa.

A carga média dos horários fora de ponta é chamada de carga de base e a carga média das cinco horas do horário de ponta é chamada de carga de ponta. Para se obter um melhor equilíbrio do sistema de geração, utiliza-se durante o dia, nos horários fora de ponta, a energia gerada pelas usinas hidrelétricas, mantendo o suprimento da carga de base.

2.4.4 Curva de carga



Figura 12: Curva de Carga Típica (Carlos, Antonio)

Uma curva de carga é um gráfico que mostra a evolução no tempo da quantidade de energia elétrica consumida em um determinado ponto da malha elétrica. É uma informação fundamental para o correto dimensionamento dos equipamentos da instalação. No caso de plantas industriais, a curva de carga é particularmente monitorada durante os horários de pico, quando o custo da energia elétrica é maior - em algumas situações a produção é reduzida nesse momento e as vezes chega e ser interrompida.

Em empresas de comercialização de energia, utilizam as curvas de carga para o cálculo de perdas na distribuição. As curvas de carga são também utilizadas na elaboração de previsões de demanda. Tais estudos são realizados para o cálculo dos níveis futuros de tensão, que propiciam a alocação otimizada de recursos no planejamento de operação e de expansão da malha de distribuição.

2.4.5 Mudança Tarifária

Foi aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia. O novo regulamento prevê a aplicação de tarifas diferenciadas por horário de consumo, oferecendo tarifas mais baratas nos períodos em que o sistema é menos utilizado pelos consumidores.

A nova sistemática, que será aplicada a cada distribuidora a partir de sua revisão tarifária, entre 2012 e 2014, modifica padrões vigentes desde a década de 1980 e considera as mudanças que ocorreram na oferta e na demanda de energia nesse período.

Para os consumidores de baixa tensão, seja os residenciais, comerciais, industriais e de áreas rurais, a principal mudança é a criação da modalidade tarifária branca, que será uma alternativa à convencional hoje em vigor e oferecerá três diferentes patamares para a tarifa de energia, de acordo com os horários de consumo. De segunda a sexta-feira, uma tarifa mais barata será empregada na maioria das horas do dia; outra mais cara, no horário em que o consumo de energia atinge o pico máximo, no início da noite; e a terceira, intermediária, será entre esses dois horários. Nos finais de semana e feriados, a tarifa mais barata será empregada para todas as horas do dia.

A proposta da tarifa branca é estimular que o consumo em horários que a tarifa é mais barata, diminuindo o valor da fatura no fim do mês e a necessidade de expansão da rede da distribuidora para atendimento do horário de pico. A tarifa branca será opcional, e caso o consumidor não pretenda modificar seus hábitos de consumo, a tarifa convencional continuará disponível. Essa modalidade tarifária não valerá para a iluminação pública e os consumidores de baixa renda.

Uma das novidades para os consumidores de alta tensão é a possibilidade de flexibilizar parâmetros de construção das modalidades tarifárias, com base nas contribuições das distribuidoras e demais interessados.

A diferença decorre da aplicação de postos tarifários e da forma de cobrança dos custos relativos ao uso da rede (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD) no horário de maior utilização do sistema, definido como horário de ponta. Na tarifa azul os custos de rede são cobrados em demanda (R\$/kW). Na verde, estes custos são cobrados em energia (R\$/MWh), convertidos por meio de um fator de carga definido em 66%. Este valor será mantido, porém, poderá ser alterado com base nas propostas da distribuidora e da sociedade para adequá-lo à realidade da concessão na busca de minimizar a necessidade de expansão da rede e a inibição de uso de geradores diesel no horário de ponta.

A partir de janeiro de 2014, ocorrerá também a criação das Bandeiras Tarifárias Verde, Amarela e Vermelha, que funcionarão como um semáforo de trânsito e se refletirão em diferença de tarifa para o consumidor. A Bandeira Verde significa custos baixos para gerar a energia. A Bandeira Amarela indicará um sinal de atenção, pois os custos de geração estão aumentando. Por sua vez, a Bandeira Vermelha indicará que a situação anterior está se agravando e a oferta de energia para atender a demanda dos consumidores ocorre com maiores custos de geração, como por exemplo, o acionamento de grande quantidade de termelétricas para gerar energia, que é uma fonte mais cara do que as usinas hidrelétricas. O público alvo serão todos os consumidores do Sistema Interligado Nacional (SIN), de alta e baixa tensão.

3 SMART GRID

Hoje em dia as redes inteligentes podem parecer como a panaceia para os problemas do mundo da energia. Este conceito promete uma maior eficiência, confiabilidade, e meios mais econômicos de distribuição e transmissão de energia. Estas melhorias dependem de novas tecnologias e novos níveis de interconexão construídos na rede elétrica, mas

No Brasil os principais motivadores para a implantação :

- A grande demanda de energia mundial, que cresce a taxas anuais de 6,0% ao ano (ANEEL, 2005), incentivando o crescimento nacional;
- A grande extensão territorial e distâncias envolvidas entre a geração de energia e o consumo;
- A necessidade de operação do sistema elétrico com parte da infraestrutura de energia envelhecida e desatualizada;
- Os sistemas elétricos de potência estão se tornando cada vez mais interligados, complexos para operação e com requisitos de disponibilidade e interoperabilidade mais severos;

Por outro lado, ainda existe o grande desafio para tornar o sistema de energia sustentável utilizando fontes de energia renováveis, outro fator importante é a redução das perdas não técnicas que são as ações contra o patrimônio ou as receitas das concessionárias, ato este conhecido popularmente por “gato”..

Neste ponto, as soluções em *Smart Grid*, ou redes inteligentes, serão essenciais para o sistema de energia de forma a propor alterações que resolvem, ou ao menos amenizam estes impactos.

O *Smart Grid* não é um único dispositivo, aplicativo, sistema de rede, ou mesmo ideia. Não existe uma definição *Smart Grid*, no entanto, as definições de diversas organizações, seguem um tema comum: utilizar a tecnologia de redes inteligentes de comunicação e informação para aperfeiçoar a transmissão e distribuição de eletricidade de

fornecedores para os consumidores. Além disso, o *Smart Grid* não é um conceito estático. Ele continuará a evoluir à medida que evoluem as tecnologias existentes e novas tecnologias são desenvolvidas.

Para atingir os objetivos desejados como a distribuição de energia confiável, eficiente e limpa, os *Smart Grids* empregam uma combinação de diferentes tecnologias. É possível verificar que as seguintes tecnologias são consideradas fundamentais para a viabilidade do *Smart Grid*:

- Integração de Comunicação de Duas Vias;
- Componentes Modernos;
- Métodos de Controle Modernos;
- Tecnologias de Detecção e de Medição;
- Melhoria das Interfaces e Apoio à Decisão;
- Aplicações da Tecnologia de *Smart Grid*.

A seguir cada uma destas tecnologias serão brevemente apresentadas.

3.1 Integração de Comunicação de Duas Vias

A comunicação bidirecional permite ao operador monitorar e interagir com os componentes do *Smart Grid* em tempo real. Esse tipo de comunicação aumenta a habilidade do operador para gerenciar as operações da rede. Por exemplo, hoje em dia os operadores não têm conhecimento de interrupções de energia até que os clientes os notifiquem, geralmente por meio de chamadas telefônicas para um centro de apoio ao cliente. Em uma rede inteligente, os operadores são capazes de detectar e lidar com o problema sem qualquer notificação dos clientes, resultando na resolução mais rápida de problemas e diminuição dos custos operacionais. A fim de alcançar esta capacidade, os componentes de redes inteligentes requerem habilidade de comunicação em duas vias, isto porque, o sinal de verificação enviado pelos operadores deverá ser devolvido pelo sistema, caso isso não ocorra, então se sabe que existe alguma anomalia na rede.

3.2 Componentes Modernos

Componentes modernos incluem as áreas de supercondutividade, tolerância a falhas, armazenamento de energia excedente, dispositivos inteligentes, e equipamento de diagnóstico. Essa tecnologia determina ativamente o comportamento elétrico da rede. Por exemplo, o excesso de eletricidade que é criado durante o dia por usinas de energia solar pode ser armazenada em aparelhos elétricos e dispositivos de armazenamento para ser utilizados durante a noite, quando a usina de energia solar é incapaz de gerar eletricidade. Os assim chamados dispositivos inteligentes podem fornecer o consumo útil tanto para os consumidores quanto para os fornecedores de energia permitindo assim uma melhor gestão e o aproveitamento da energia.

3.3 Métodos de Controle Modernos

Utilizando o componente de comunicação de duas vias, os métodos de controle avançado permitirão que os operadores (humano ou máquina) gerenciem os diversos componentes da rede inteligente. Os métodos de controle avançados permitem a coleta de dados, bem como diagnósticos e manutenções adequadas. Por exemplo, um operador pode identificar um problema com um componente e aplicar uma correção remotamente, economizando assim tempo e os custos associados com o envio de equipes para o local do problema.

3.4 Tecnologias de Detecção e de Medição

Novos sensores e tecnologias de medição garantem a estabilidade do *Smart Grid*, sua vitalidade e funcionalidade com segurança. A mais comum destas tecnologias é o Smart Meter, ou medidor inteligente que monitora o uso de estatísticas e relatórios de uso

para o detalhamento dos serviços oferecidos pela empresa concessionária, consumidores e prestadores de serviços de terceiros. Dependendo do medidor inteligente e da infraestrutura, o medidor inteligente pode ser utilizado para outras funções administrativas, como notificação de falta de energia e desativação do serviço remota.

3.5 Melhoria das Interfaces e Apoio à Decisão

Os seres humanos e máquinas compreendem linguagens diferentes e como resultado, informações importantes podem ser perdidas nesta tradução. Devido à sua natureza, uma rede inteligente irá recolher dados muito complexos e extensos que seriam impossíveis um ser humano ser capaz de ler e entender em pouco tempo.

A interface homem-máquina (IHM) deve ser capaz de simplificar os dados e a análise resultante de uma forma eficiente, para permitir aos operadores e gerentes tomar decisões rapidamente.

3.6 Aplicações da Tecnologia *Smart Grid*

Um consumidor informado é um consumidor inteligente. Esta é a razão teórica para oferecer aos consumidores o uso de dados em tempo real. As aplicações fornecem aos consumidores as estatísticas de uso e preço. Tem por objetivo propor recomendações para reduzir a sua fatura, por exemplo, o funcionamento da máquina de lavar louça de madrugada, durante as horas de menor atividade, em oposição à tarde quando os moradores retornam do trabalho. A ideia, para um futuro próximo, é fornecer esta informação de forma clara e direta para garantir que o consumidor sempre saiba exatamente a quantidade de eletricidade que utiliza e qual o preço que esta pagando pela mesma. (FLICK, MOREHOUSE, 2010.)

Os clientes finais desenvolveram uma maior sensibilidade para com a interrupção do fornecimento de energia e sua qualidade. Especialmente os clientes industriais, que discutem exaustivamente assuntos voltados a novas fontes de energia, seu gerenciamento

e cobrança, chegando algumas vezes até a instalar sua própria fonte de energia e sistema de medição.

Além disso, tudo, a economia é um tema global, relativo ao cliente final e as operações do sistema de distribuição. O cliente final espera obter o melhor preço, e as empresas esperam baixos custos operacionais e vendas a um bom preço, ambos obtendo um resultado satisfatório.

Enfim, as Smarts Grids não implicam simplesmente na renovação ou modernização do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, mas também em uma melhor utilização das tecnologias e soluções em busca de aperfeiçoar o planejamento e operação das redes de eletricidade.

3.7 Software de Controle

Aliado a uma usina virtual, o software de gerenciamento de energia é capaz de:

- O programa é capaz de realizar o planejamento e a previsão tanto para o consumo quanto para a geração de energia; baseado nas informações fornecidas pelo sistema, nas informações dos recursos energéticos disponíveis e com base em seu histórico de consumo,
- Fazer a alteração de alguns parâmetros pré-determinados em tempo real;
- Agregar um baixo custo operacional ao sistema, devido à possibilidade de integrar diversas fontes de energia,;
- Julgar qual a fonte de energia mais eficiente e conveniente para um determinado instante isso de acordo com a demanda,
- Elaborar uma configuração “customizada” de acordo com as necessidades e especificações de um consumidor, até que atenda às exigências solicitadas.

Para este estudo, utiliza-se o Software DEMS (Decentralized Energy Management System) da Siemens (Siemens SAG – “Siemens *Aktiengesellschaft*”).

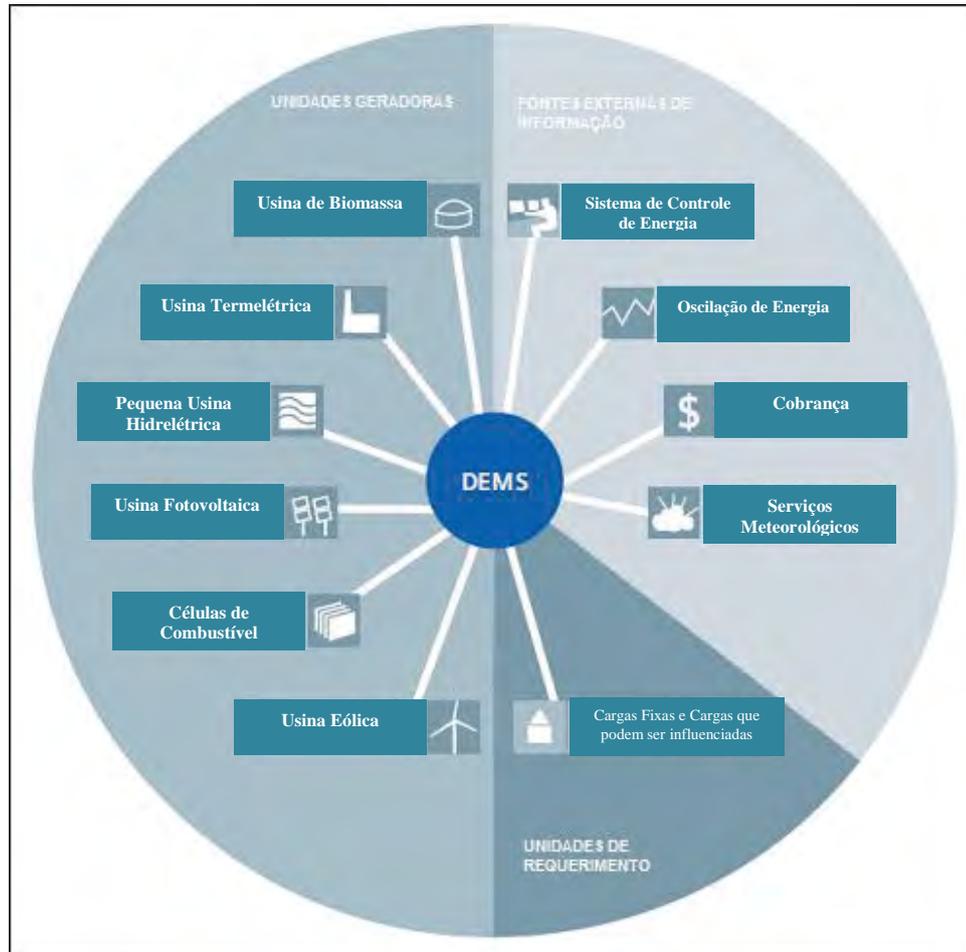


Figura 13 - Estrutura do DEMS (Siemens SAG)

A Figura 13 mostra a estrutura do programa DEMS. É possível verificar que este software gerencia todo sistema, desde as unidades geradoras, até as fontes externas de informação.

O software já está sendo utilizado e foi implementado em diversas usinas virtuais, principalmente na Europa, com bons resultados. A seguir apresentamos as funcionalidades desta solução.

Com uma interface clara e objetiva, o software pode apresentar a topologia completa da usina virtual gerenciada, exibindo em uma mesma tela um resumo de todas as unidades geradoras, a demanda e os possíveis elementos armazenadores de energia.

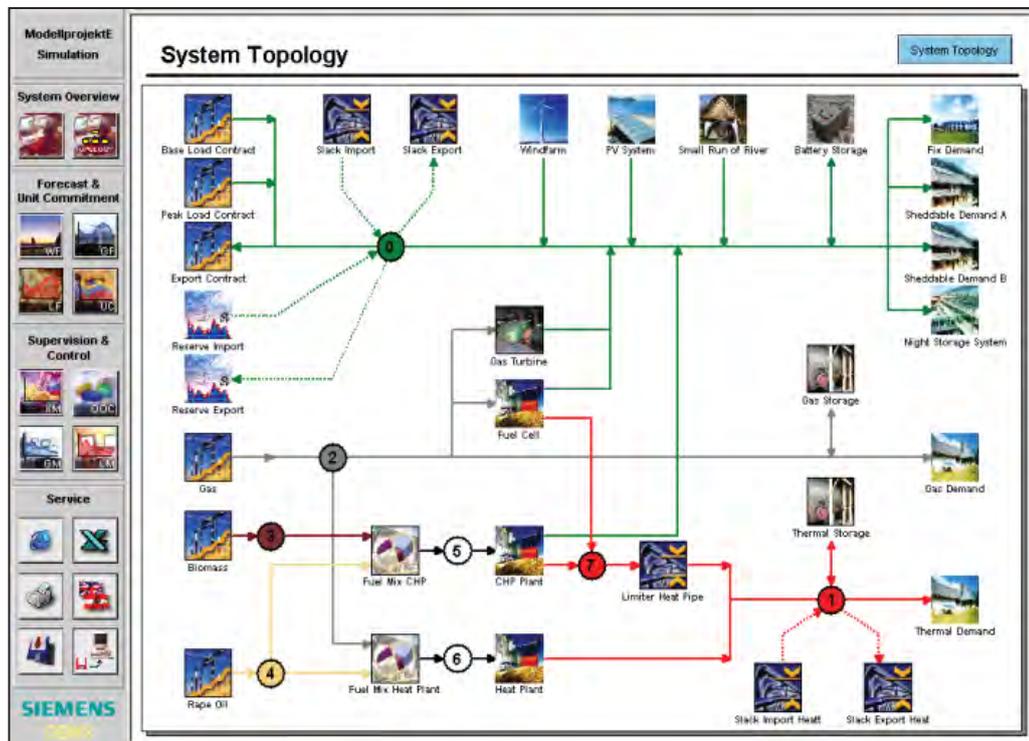


Figura 14 - Topologia do Sistema (Siemens SAG)

A Figura 14 demonstra toda topologia do software DEMS dando uma visão geral da sua abrangência.

O software possui aplicativos capazes de auxiliar a prever tanto a demanda quanto a geração de energia, e para isso, devem ser importados dados de bases meteorológicas e de disponibilidade dos recursos energéticos além do consumo passado de seus consumidores. Com base nos dados fornecidos, a solução prepara uma previsão e pode então aperfeiçoar o sistema. Por exemplo, desligando as PCHs para aproveitar o máximo de unidades eólicas e solares durante períodos de seca, com grande incidência solar e com ventos fortes.

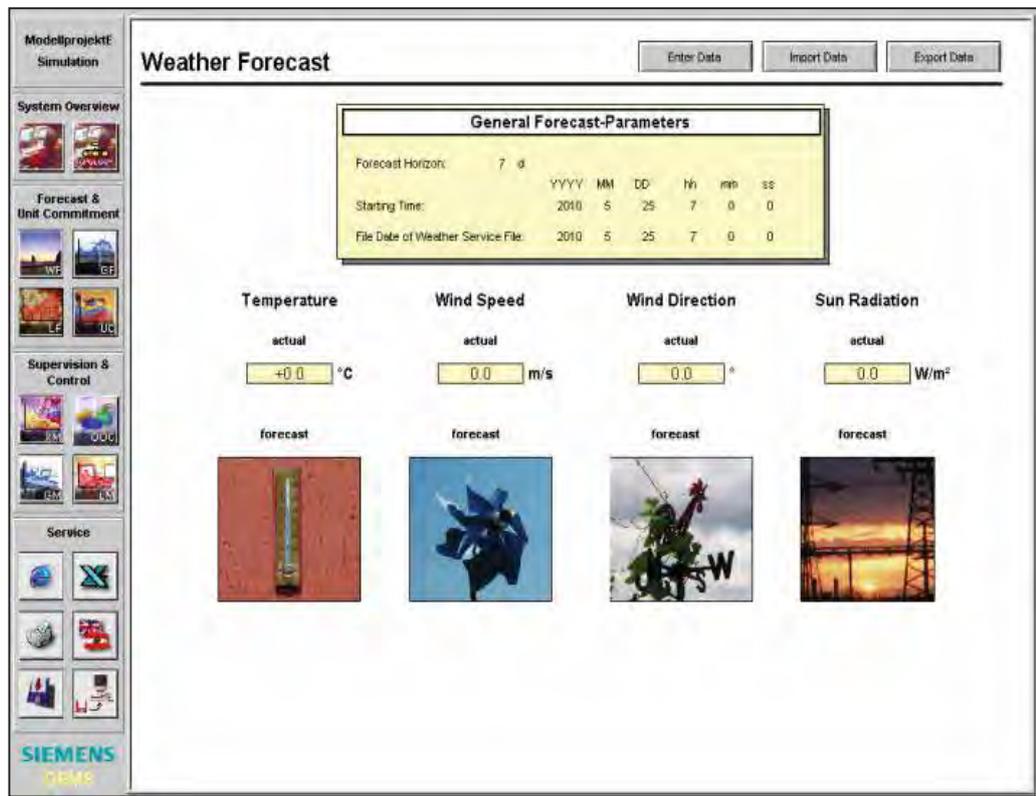


Figura 15 - Previsão do Tempo (Siemens SAG)

A Figura 15 demonstra como funciona a visualização da previsão meteorológica. A partir destes dados é que o sistema gerencia qual a melhor opção de geração em um determinado instante.

Na tela de controle, pode-se verificar a situação do sistema, deixando evidente a energia e potência utilizada em tempo real, além da energia reservada para um horário de pico.

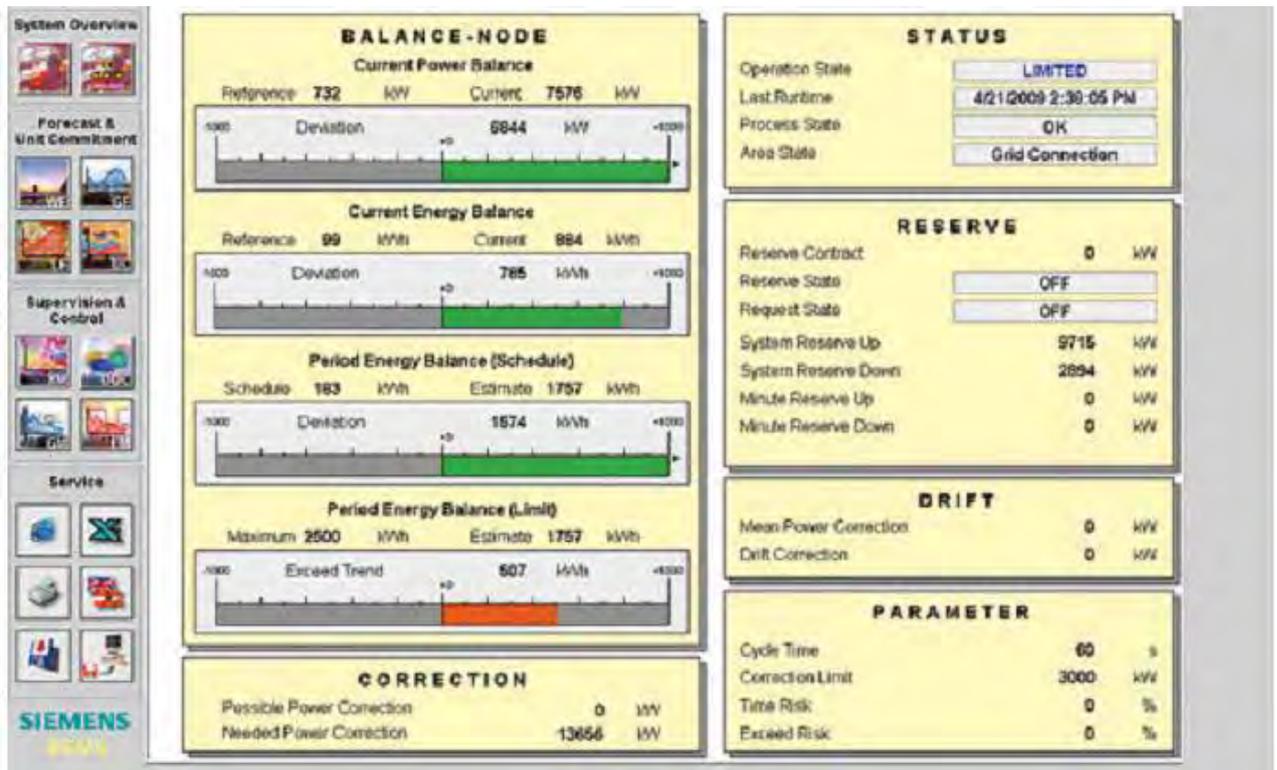


Figura 16 - Controle e Supervisão do Sistema (Siemens SAG)

Na Figura 16 verifica-se a tela de controle e supervisão do sistema. O programa exibe o status atual dos sistemas, gera prognósticos e cotações. Trabalhando como o programa foi pré determinado, o software controla a geração de energia elétrica. A visão geral do sistema é subdividido em produtores, cargas, contratos e armazenamento de energia. Informações adicionais são fornecidas em "previsão e planejamento de uso" e "monitoramento e controle".

Na cidade de Niederense, no estado da Vestfália, na Alemanha, um projeto *Smart Grid*, com a implementação de uma usina virtual e seu gerenciamento através do software DEMS, foi elaborado pela Siemens.

Nesta cidade já existia, desde 1913, uma pequena central hidrelétrica com potência de 215kW e em 2008 foi feita a interligação desta fonte geradora a outras oito fontes diferentes (Célula de Combustível, PCH, Solar, Eólico entre outros) espalhadas pela região totalizando então 8,6MW de potência, que são conectadas a rede de acordo com as leis para Energias Renováveis da Alemanha (EEG).

Esta Geração Distribuída, representada por uma usina virtual, é gerenciada pelo Software DEMS. O software exibe o status atual do sistema, gera prognóstico e cotações além de controlar a geração de energia das diversas fontes interligadas. Os resultados podem ser exibidos em gráficos de barras, onde cada cor representa uma unidade geradora o que permite a análise individual do comportamento de cada uma delas.

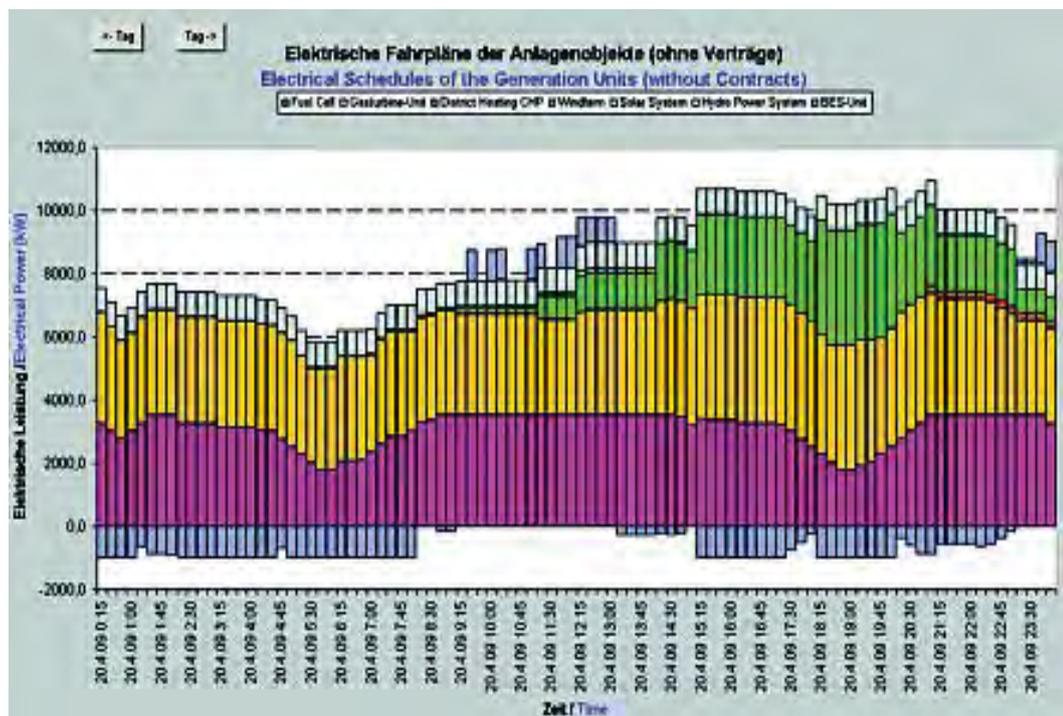


Figura 17 -Potência gerada por cada unidade geradora da usina virtual (Siemens, 2011)

Na Figura 17, verifica-se que o administrador tem como resultado da página de supervisão e controle um gráfico de barras em cores que mostram quais usinas estão atualmente rodando em carga de pico ou em carga de base e quanta energia eles estão produzindo.

Estes resultados, combinados com as previsões de mercado, possibilitam ao Software aperfeiçoar o sistema de modo a gerar energia da forma mais eficiente possível, combinando as fontes geradoras de acordo com a necessidade e disponibilidade dos recursos. O software ainda é capaz de projetar o preço final que esta oferta de energia deve ser oferecida aos consumidores.

Outra possibilidade que este projeto prevê é a armazenagem da energia excedente das fontes geradoras, e vendê-la posteriormente sob a forma de pacotes emergenciais a preços pré-acordados com os consumidores. Ou seja, toda energia excedente que não seria utilizada, neste caso poderá ser usada pelos consumidores específicos que contratarem este serviço a um preço mais interessante. Isto é muito bom tanto para os clientes quando para a concessionária.

A planta virtual é extremamente distribuída: a central com o DEMS está na cidade de Plaidt perto de Koblenz, as estações de operação estão na cidade de Colônia, e as usinas estão na região de Niederense, sendo que toda comunicação necessária é feita via rede sem fio.

3.8 Medidores Inteligentes de Energia

Ainda com relação ao sistema de distribuição, os medidores inteligentes de energia representam grandes aliados junto às soluções apresentadas para *Smart Grid*, atuando como integradores entre as diversas aplicações. Todo o gerenciamento da demanda e o planejamento da oferta podem ser avaliados com dados seguros e atualizados que são fornecidos por estes medidores. Além disso, a comunicação entre os medidores de consumidores vizinhos possibilita a troca de dados necessária para um gerenciamento inteligente do sistema de distribuição de energia.

Os medidores inteligentes conectam consumidores à rede elétrica através de uma comunicação bidirecional, que interliga o consumidor ao produtor de energia, garantindo benefícios mútuos a ambos. Estes benefícios são comentados a seguir:

- Os consumidores poderão monitorar e aperfeiçoar o consumo de energia em tempo real, agendando por exemplo, ligar automaticamente aparelhos durante períodos em que o custo da energia é menor, fora do horário de pico.
- As perdas por furto de energia serão reduzidas drasticamente, o que reduz os gastos para os produtores e estes deixarão de repassar estes custos para os consumidores.

- Os produtores de energia terão ao seu alcance informações precisas e atualizadas, podendo então equilibrar as fontes geradoras com a demanda atual.
- Novos modelos para comercialização da energia estão sendo desenvolvidos com base no fluxo bidirecional de energia, ou seja, consumidores poderão tornar-se também fornecedores ao venderem a energia excedente de seus sistemas de geração particulares, à rede elétrica.

Para cumprir seu objetivo o Medidor Inteligente requer uma atualização da padronização dos protocolos de comunicação dos diversos equipamentos envolvidos. No Brasil, por exemplo, existe uma forte tendência de padronização do sistema de distribuição por um protocolo aberto, buscando garantir maior interoperabilidade e facilidade de auditoria pela ANEEL.

Aliado ao desenvolvimento desta infraestrutura, as normas legislativas para regulação deste processo também estão sendo elaboradas e aprovadas, o que tornará a venda de energia excedente e a abertura do mercado de energia uma realidade. Principalmente a venda de energia pelos consumidores residenciais através de fontes renováveis e/ou carros elétricos instalados em suas próprias residências.

Atualmente no Brasil, a ANEEL está elaborando a Regulamentação da Medição Inteligente, visando estabelecer um plano de migração para substituição dos medidores, considerando:

- Os requisitos mínimos para medidores inteligentes e sistema de telecomunicação;
- Diretrizes para substituição;
- Prazo de substituição de 10 anos (estimativa);
- Análise da capacidade de fornecimento e instalação dos medidores pela indústria e concessionárias.
- Para atingir o êxito desta solução será importante também o empenho do governo para garantir o subsídio para a troca destes equipamentos, impedindo

que os gastos integrais sejam repassados ao consumidor, o que tornaria a solução inviável. Por outro lado é preciso conscientizar o consumidor de que esta mudança irá lhe garantir um menor custo para a utilização da energia elétrica além dos benefícios da disponibilidade desta tecnologia em suas residências.

Uma abordagem bastante importante destes medidores pode ser vista no capítulo seguinte, quando se alia o seu uso com o desenvolvimento dos veículos elétricos.

3.9 Iniciativas Internacionais

A seguir serão apresentados alguns exemplos, no exterior, que tem progressos significativos na implementação de tecnologias do *Smart Grid*.

Austrália

Em 2009, o governo australiano prometeu reservar cem milhões de dólares para o desenvolvimento de tecnologias de *Smart Grid* através da iniciativa da Nação de eficiência energética. O objetivo do *Smart Grid* da Austrália é a entrega de energia de uma forma mais eficiente, confiável e amigável ao consumidor elétrico. Chamado como o "Smart Grid, a Smart City", a Austrália pretende implementar uma rede inteligente que utiliza comunicações modernas, sensores, medidores de transmissão atuais e redes de distribuição em uma tentativa de automatizar, monitorar e regular o fluxo bidirecional de potência. O "Smart Grid, Smart City" irá selecionar e implementar uma proposta do seu projeto em uma comunidade que é atendida por uma única empresa de distribuição. A Austrália pretende demonstrar não apenas a transmissão e distribuição de redes modernizadas na comunidade, mas também as aplicações de consumo modernizado e seus dispositivos. (FLICK, MOREHOUSE, 2010)

Canadá

Em 2006, como parte da Lei de Responsabilidade de Conservação de Energia, o governo da província de Ontário determinou que todos os consumidores estavam providos de os medidores inteligentes até 2010. A Hydro One, que é uma empresa de energia elétrica de propriedade do governo de Ontário, está atualmente implantando os medidores inteligentes, o *Smart Meter*, para 1,3 milhões de consumidores no interior da sua província. Esta empresa pretende até o ano de 2025 construir um sistema elétrico inteiramente novo. Isto inclui trocar cerca de 80% das unidades geradoras de energia ao longo do tempo e expandir o sistema para atender o crescimento da província. O governo lançou um programa que pretende conscientizar a população de quando se deve utilizar a energia elétrica. Este programa se chama Time-of-Use e funciona da seguinte forma: o cliente visualiza no *Smart Meter* o quanto está utilizando de eletricidade e quanto está pagando naquele momento e tem acesso a quanto custa a energia em cada horário do dia. Portanto o cliente tem mais controle dos gastos/custos que pagará ao final do mês. Para as autoridades da província, isto deve diminuir a necessidade de geração extra por algum tempo, pois os próprios clientes distribuem o seu uso de energia ao longo do dia.

(HYDROONE, 2011)

China

Em 21 de maio de 2009, a China divulgou seu desejo de implementar tecnologias de *Smart Grid* através da iniciativa "Reforço *Smart Grid*". Esta iniciativa é dividida em três fases distintas: Planejamento e Testes; Construção e Desenvolvimento; Atualização. De 2009 a 2010, ocorreu a fase de Planejamento e Testes do reforço *Smart Grid* sobre os planos de desenvolvimento, tecnologias, padrões e também de ensaios. A segunda fase irá ocorrer a partir de 2011 até 2015 e irá incluir a construção de infraestrutura operacional, a fabricação de dispositivos e implantação. A fase final ocorrerá entre 2016-2020 e finalizará esta iniciativa. (FLICK, MOREHOUSE, 2010)

3.10 Iniciativas Nacionais

Nos países desenvolvidos, cujo consumo de energia per capita chega a ser mais de 7 vezes maior, como no caso dos norte-americanos, os estudos e projetos pilotos obtêm incentivos estatais. Por exemplo, nos Estados Unidos da América – EUA - US\$4,5 bilhões de dólares foram destinados como parte de um pacote econômico para projetos pilotos de *Smart Grid*. No Brasil, onde a oferta de energia ainda é pouca, há um esforço por parte do governo e empresas em aumentar a geração de energia e diminuir o desperdício. O investimento em projetos piloto ou mesmo de estudos relacionados ao *Smart Grid* ainda não possui muitos representantes.

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – propiciou um bom início à mudanças no setor em 2009: estabeleceu uma consulta pública sobre medição eletrônica, o uso de PLC na rede de transmissão e um estudo sobre o aprimoramento de metodologia de tarifas de eletricidade no país. Com isto as concessionárias e empresas passaram a empreender projetos. Dentre os principais pode-se citar:

A Cemig, concessionária do Estado de Minas Gerais, anunciou, no mês de dezembro de 2009, o projeto “Cidade do Futuro”. O programa será implantado na cidade de Sete Lagoas, cidade esta localizada a 70 quilômetros da capital mineira, com mais de 80 mil consumidores e população superior a 200 mil habitantes.

Já a Light, que atua na cidade do Rio de Janeiro, avança no uso de medidores digitais. Com uma perda total de 21%, dos quais 15 pontos percentuais se referem a perdas comerciais, a companhia, em locais de alto poder aquisitivo, optou por instalar medidores digitais individuais nas unidades consumidoras, alcançando 40 mil clientes. Com isso, foi possível reduzir as perdas totais desses consumidores de 25% para 9%. Até o momento, a companhia instalou 40 mil medidores digitais nessas localidades e pretende instalar mais 120 mil em 2011. Nos próximos anos serão outros 100 mil por ano. O objetivo é reduzir as perdas totais de 40% para 5% nessas regiões.

A Eletrobrás, por sua vez, anunciou investimentos da ordem de US\$ 700 milhões em automação de processos operacionais e comerciais nas seis distribuidoras do grupo. Nesses casos, o foco também será na recuperação de perdas de energia, com a implantação de centro de controle de medição. Além disso, serão instalados 420 mil medidores de nova geração. A nova tecnologia alcançará todos os 9 mil clientes de média tensão, 115 mil clientes da baixa tensão e 29 mil clientes de condomínios. O projeto prevê também a substituição de medidores obsoletos de 300 mil clientes e a regularização de 265 mil ligações. Além disso, o programa terá a blindagem da rede e a automação de 780 alimentadores em média tensão.

A Ampla, que atua no interior do estado do Rio de Janeiro, foi à empresa pioneira no uso de medidores digitais no Brasil em larga escala. Entre 2003 e 2009, estes equipamentos foram empregado em 300 mil unidades consumidoras (12% dos clientes), com redução de perdas de 25% para 20%. Apesar dos benefícios, o impacto da

regularização não foi bem digerido por alguns consumidores, que alegaram cobrança indevida, o que acabou por mobilizar a Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro contra a medição eletrônica centralizada, pois os equipamentos na ocasião ainda tinham a homologação pendente. Com a homologação definitiva do Inmetro, em julho de 2009, a Ampla retomou os planos de instalar os medidores digitais em sua área de concessão. Para 2010, a meta é de instalar 50 mil unidades. (Boccuzzi, C. V. E Rodrigues, J. M.)

Empresas, como a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), Companhia Paranaense de Eletricidade (COPEL), Bandeirantes Energia e AES Eletropaulo demonstraram interesse em estudarem projetos pilotos como os descritos acima.

Com essas iniciativas em pauta em todas empresas de energia nacional, conviver com produtos *Smart Meter* associados a as redes inteligentes é apenas uma questão de tempo.

Outro tema que pode ser associado ao *Smart Grid* é o carro elétrico, que está entrando nas ruas com baterias mais eficientes. Essas necessitarão de um sistema elétrico robusto e eficiente para fornecer a demanda necessária para seu funcionamento.

Uma frota de veículos elétricos significa um sistema de transporte praticamente livre de poluentes atmosféricos, o que, além de contribuir com a redução da concentração de CO₂, garantirá um bônus no mercado internacional de carbono. Países e empresas já se mobilizam rumo à implantação do veículo elétrico, o Brasil possui a chance de acompanhar tais mudanças como um ator ativo nesta empreitada, já que possui vantagens estratégicas e oportunidades. É por este motivo que iremos analisar mais profundamente o tema de carros elétricos.

4 VEÍCULOS ELÉTRICOS

As emissões de gases de efeito estufa registram 20,9 Gt em 1990, 28,8 Gt em 2007 e visualizando projeções em um cenário cuja matriz energética sem tendências de utilização de energias limpas e renováveis, é possível prever um acúmulo de 34,5 Gt de CO₂ em 2020 e 40,2 Gt em 2030, o que equivaleria a uma concentração de 1000 partes por milhão (ppm) de CO₂ equivalente na atmosfera – tal concentração poderia aumentar em 6° C a temperatura na Terra, o que certamente provocaria grandes catástrofes climáticas. Para conter o aumento de temperatura é necessário manter o nível em 450 ppm de CO₂ equivalente, o que ocasionaria um aumento máximo de 2° C no planeta (International Energy Agency –IEA, 2009). Segundo esta agência, a utilização de carvão, gás e petróleo aumentará nos próximos anos. Isto, obvio, contribuirá significativamente para o agravamento do efeito estufa, logo se faz necessário à utilização de fontes de energia não poluentes. Isto abre uma oportunidade imensa na utilização de veículos elétricos pois, se efetuada tal substituição dos veículos a motor a combustão, a queima de combustíveis fosseis sofrerá um déficit considerável ao longo dos anos.

Acredita-se que haverá circulação simultânea tanto de veículos elétricos, como veículos híbridos e a combustão pelas próximas décadas; em 2020 os veículos elétricos e híbridos devem corresponder a aproximadamente 6,6% da frota de veículos globais e em 2030 por 35,6%, ou seja, a substituição da frota de veículos a combustão por veículos elétricos levará algumas décadas, logo para se diminuir a emissão de gases do efeito estufa deve-se tomar medidas o menos tardar possível.

Para assegurar-se do consumo de energia isento de poluentes que é proposto pelo veículo elétrico, deve-se assegurar que a fonte de energia provenha de fontes não poluentes; isto não se refere ao tipo de bateria e sim ao tipo de fonte de geração que alimenta a bateria – hidrelétricas, termelétricas, atômicas etc. Em países do leste europeu e o Japão por exemplo, que possuem uma porcentagem alta de termelétricas e usinas atômicas, a utilização de veículos elétricos não eliminaria por completo a emissão de

gases poluentes no setor de transporte – devido à emissão dos mesmos em sua geração. Já para o Brasil e os poucos países que possuem sua matriz energética fortemente baseada em hidroelétricas, ou seja, uma matriz limpa e renovável, uma frota de carros elétricos significa um sistema de transporte livre de poluentes atmosféricos.

4.1 Tipos de Veículos Elétricos

A definição de veículo elétrico, embora não seja padronizada, é a de que “veículo elétrico é aquele no qual pelo menos uma das rodas é acionada por um motor elétrico”. (Society of Automotive Engineering, SAE). Tanto a Associação Brasileira de Veículo Elétrico (ABVE) quanto a Society of Automotive Engineering (SAE) dos EUA aprovam esta definição. A seguir se define três grandes tipos de VEs. Estes veículos utilizam frenagem regenerativa que é um fenômeno comum em Motores de Indução Trifásicos (MIT) que consiste na inversão do sentido da corrente elétrica, o que por sua vez inverte o sentido de rotação do eixo, proporcionando uma força contrária ao movimento, ou seja, funciona como um freio. Esta frenagem regenerativa reduz o consumo entre 10% a 50%, dependendo da frequência de uso; em termos práticos, um carro que trafega em trânsito congestionado gastaria menos energia do que outro trafegando em uma rodovia de alta velocidade. Esta frenagem regenerativa porém não substitui o freio mecânico, que é acionado em situações emergenciais.

O primeiro tipo é o Veículo Elétrico a Bateria (VEB) no qual toda a energia elétrica armazenada na bateria provém de uma fonte externa ao veículo. Este é o tipo de carro ideal considerado nos estudos e previsões para o futuro, pois não há queima de combustíveis fósseis. O motor a combustão é então trocado por um MIT, cujo rendimento é de aproximadamente 90% (o motor a combustão varia seu desempenho de 14% a 20%). Logo, o MIT de um veículo elétrico tem seu tamanho reduzido, é mais leve e necessita de menos potência, o que deixaria um carro no geral bem mais leve. Por outro lado a bateria, ou o conjunto delas pesam em torno de 170kg e podem ocupar uma parcela

considerável de um porta malas ou a região abaixo do banco dos passageiros o que é um inconveniente muito grande.

O segundo tipo de veículo elétrico é o Veículo Elétrico Híbrido (VEH) que possui 2 motores, um à combustão interna e outro elétrico, além de uma bateria. Porém neste caso a bateria não é recarregada por fontes externas e sim a bordo do veículo através do motor de combustão que atua também como gerador (o combustível poderia ser gasolina, álcool, diesel, biodiesel, Gás Natural Veicular, etc). O motor de combustão possui neste caso, em geral, potência menor do que a sua versão convencional e a bateria também é menor que a versão VEB. Neste caso, o MIT é utilizado para retirar o carro da inércia, ou seja, para situações que exigem alta potência e o motor a combustão é acionado em situações de alto rendimento de queima de combustível – em geral em altas velocidades. Devido a esta automação, o VEH possui uma autonomia maior do que carros à combustão comuns. Veículos movidos a H₂ estão inclusos nesta categoria.

Como o VEH possui dois motores – um à combustão interna e outro elétrico – há três possíveis configurações: Sistema Híbrido Paralelo (SHP), Sistema Híbrido Série (SHS) e Sistema Híbrido Série-Paralelo (SHSP).

O SHP funciona exatamente como descrito anteriormente, alternando o motor a combustão e o elétrico. Vide Figura 18: Sistema Híbrido Paralelo, onde o “Motor a” é o motor a combustão e o “Motor” é o MIT.

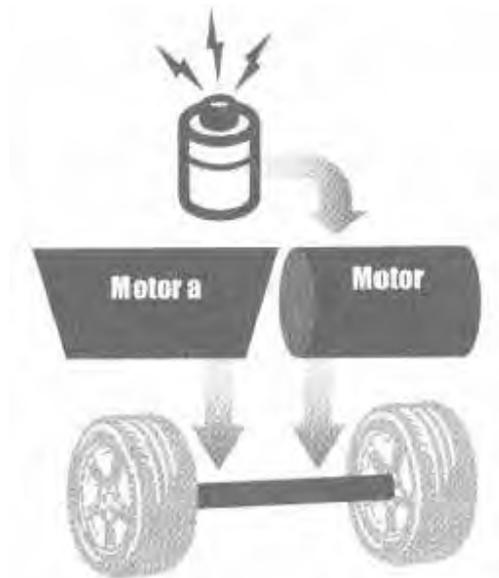


Figura 18-Sistema Híbrido Paralelo (Coutinho, 2010)

O SHS funciona apenas com o motor elétrico transferindo a tração às rodas, e o motor a combustão gerando energia para a bateria.

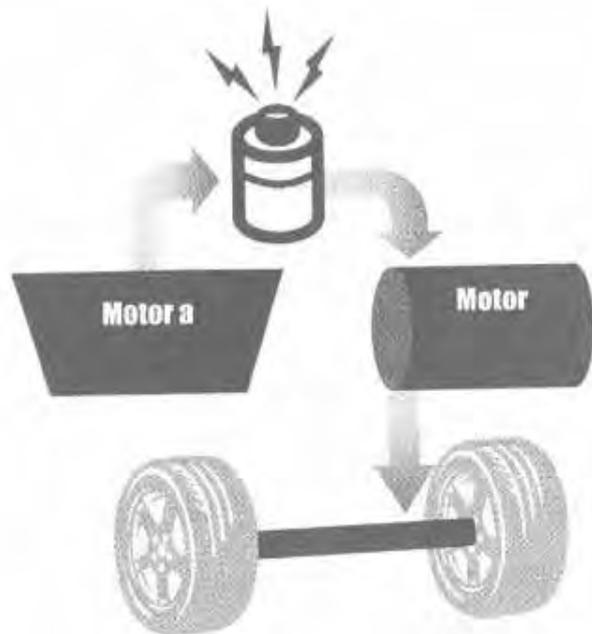


Figura 19 - Sistema Híbrido Série (Coutinho, 2010)

O SHPS é a combinação dos dois sistemas, podendo ser operado ora somente pelo motor elétrico – em um sistema SHS - ora pelos dois motores – como um SHP.

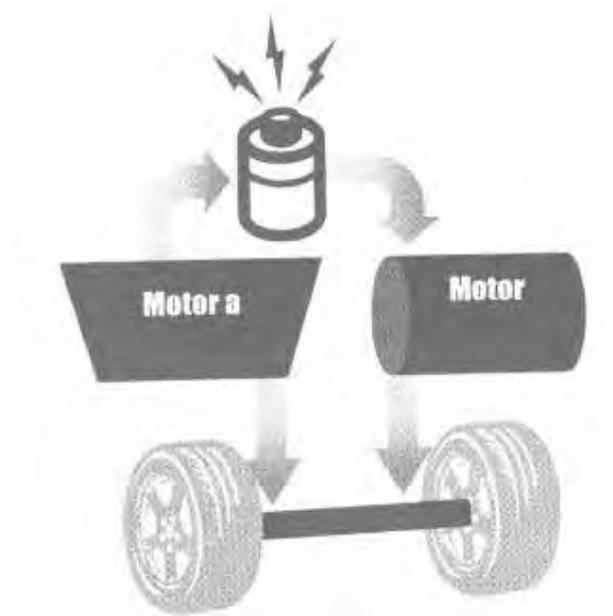


Figura 20 - Sistema Híbrido Série-Paralelo (Coutinho, 2010)

O terceiro tipo de VE é uma combinação dos dois primeiros, o Veículo Elétrico Plug-In (VEP) que possui a característica do sistema híbrido série do VEH e pode ser recarregado por uma fonte externa, como o VEB.

4.2 Características dos Veículos Elétricos

O motor elétrico possui a vantagem de obter seu torque máximo a uma velocidade bem menor do que motores de combustão interna além do alto rendimento do MIT. Os veículos elétricos utilizarão na maioria dos casos motores CA, por isto existe a necessidade de se utilizar inversores de frequência. Estes transformam a tensão CC vinda da bateria em CA para o motor. Durante a frenagem regenerativa acontece o inverso, a tensão CA do motor é convertida em CC e recarrega a bateria.

Para se recarregar um veículo elétrico através de uma fonte externa é necessário à instalação do recarregador de baterias, um dispositivo que capta a tensão monofásica ou trifásica e a transforma em corrente CC para a bateria.

Para alimentar os dispositivos eletrônicos do veículo utiliza-se um conversor CC/CA, de função similar ao inversor de frequência, o conversor CC/CA transforma a

tensão CC da bateria em CA, diminui seu valor adequadamente para operar nos circuitos eletrônicos, retifica-o e alimenta os dispositivos requeridos.

4.3 Influência dos Veículos Elétricos

Com o gradativo aumento do número de carros elétricos, o mercado terá um grande centro de armazenamento de energia móvel descentralizado que irá afetar o sistema de troca de energia.

As redes elétricas terão que se adaptar para redes inteligentes interativas. Estas irão oferecer maior eficiência e sustentabilidade, aproveitando os menores custos de energia para os clientes e ao mesmo tempo irão melhorar a estabilidade da rede elétrica. O *Smart Grid* irá maximizar o conforto enquanto otimiza o gerenciamento da energia.

Durante o período que tiver muita oferta de energia, as redes inteligentes irão carregar ao máximo as capacidades de armazenamento disponíveis, como por exemplo, as baterias dos carros elétricos estacionados e conectados. Esta carga armazenada poderá então ser utilizada como um gerador quando existir a necessidade de demanda, ou seja, no horário de pico.

4.4 Propostas de investimentos para o Veículo Elétrico

Não basta incentivar a venda de veículos elétricos apenas com um bônus ou uma gratificação na tentativa de igualar o preço em relação a um veículo à combustão - um veículo elétrico é em média de 7 mil a 18 mil dólares mais caro que sua versão à combustão. No Brasil, este valor provavelmente ultrapassaria os 20 mil reais -, suportar este tipo de prejuízo é impensável tanto para o Estado quanto para os fabricantes de automóveis que se propõem a substituir gradativamente toda uma frota de veículos.

Os impostos já existentes no Brasil, por exemplo, o IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores), o ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), PIS- COFINS, importação, IPI (Imposto sobre Produtos

Industrializados) e etc. Estes impostos devem ser revistos para este novo tipo de veículo, visando estimular sua comercialização pois, ao analisar-se o IPI por exemplo, nota-se que veículos a combustão em geral pagam 12% de taxa mas que, como veículos elétricos (incluindo nesta categoria os veículos híbridos e plug-in) não possuem uma categoria, logo, seriam taxados com o valor máximo de 25%. Somado a isto taxas de importação e todos os outros impostos tornam o veículo elétrico um produto não competitivo.

Logo, torna-se indiscutível a atuação Estatal não apenas no aspecto financeiro como também no aspecto fiscal. O Ministério das Cidades, por via do CONTRAN/DENATRAN (Departamento nacional de Trânsito) possui a responsabilidade de delimitar novos registros em relação ao veículo elétrico. Outros órgãos de incentivo que possuem potencial alavancador são o FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), SIBRATEC (Sistema Brasileiro de Tecnologia) e BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento). Este último talvez atue como principal financiador.

O BNDES apresenta uma estratégia para financiamento de veículos elétricos conforme abaixo:

Os esforços iniciais de desenvolvimento de tecnologia não existente no Brasil são elegíveis para a linha de Inovação Tecnológica do BNDES, que com o Programa de Sustentação (PSI), está, até dezembro de 2010, com o custo financeiro de taxa fixa de 3,5% aa. Os produtores de bateria são potenciais usuários dessa linha, que visa ampliar o conteúdo tecnológico da produção local. Novos componentes, como regeneradores de energia de frenagem, também merecem especial atenção. Uma alternativa é a Linha de Capital Inovador, que apoia empresas no desenvolvimento de capacidade para empreender atividades inovativas em caráter sistemático, por meio de investimentos tanto nos capitais intangíveis quanto nos tangíveis, incluindo a implementação de centros de pesquisa e desenvolvimento.

Depois, quando a tecnologia atingir certo estágio de maturidade, as pesquisas passam a envolver adaptações à realidade regional, melhorias marginais nos sistemas ou modernização da capacidade produtiva necessária à absorção dos resultados do processo de pesquisa e desenvolvimento ou inovação. Complementarmente, as montadoras iniciarão a concepção de modelos.

Nessa etapa, o apoio do Banco pode ocorrer através de linhas de programas, como o Programa BNDES Proengenharia e a Linha de Inovação Produção.

O auxílio à implantação ou modernização de unidades produtivas, a forma mais tradicional de atuação do BNDES, é realizado através do Produto BNDES Finem. Idealmente, a etapa de produção leva ao mercado produtos que incorporam tecnologias desenvolvidas localmente. O produto permite o apoio à entrada de novos *players*, o que, em alguns casos, pode assegurar a produção de certos componentes localmente.

Naturalmente, os veículos elétricos comerciais – comerciais leves, caminhões e ônibus – contarão com o apoio à comercialização através do BNDES Finame e do Cartão BNDES, desde que atingido o índice de nacionalização mínimo de 60%.

Adicionalmente, as linhas do BNDES podem ser utilizadas para financiar exportação de veículos e componentes.

Além dos pesados investimentos em desenvolvimento tecnológico e implantação de unidades produtivas, são esperadas operações de consolidação de empresas e entrada de novos *players*, que podem contar com a participação do Banco, através do BNDESPar, subsidiária do BNDES responsável pelas operações da instituição no mercado de capitais. (COUTINHO, CASTRO E FERREIRA, 2009)

5 ESTUDO DE CASO

Com a tendência da implementação de redes inteligentes e o gradativo aumento do número de carros elétricos a respeito deve ser estudado é o aumento da carga acarretado pelo carregamento das baterias e também a possibilidade do carro elétrico atuar como gerador de energia.

Tendo um sistema elétrico cada vez mais complexo e os carros sendo abastecidos pela rede elétrica, ao serem carregados não se pode deixar de analisar o impacto que uma carga deste porte causará no sistema. Como forma de ilustrar esta situação, apresentam-se 3 cenários para o carregamento da bateria dos carros elétricos e suas consequências:

- Cenário 1: Residência
- Cenário 2: Estacionamento
- Cenário 3: Posto de Carregamento

Adota-se como referência uma cidade contendo duzentos mil veículos elétricos, todos com uma bateria de 30 kWh, desenvolvendo um consumo médio de 15 kWh / 100 km.

Cenário 1

Neste estudo de caso, simula-se uma situação bastante provável quando todos os consumidores conectarem seus veículos para carregar justamente durante o horário de pico, no final da tarde, momento em que estão retornando para suas residências (5:00 às 8:00 hs\ PM). Para esta situação, considera-se uma tensão aplicada de 400V e 8,7A em um sistema trifásico carregando a bateria por 5 horas. Tem-se então o seguinte gráfico:

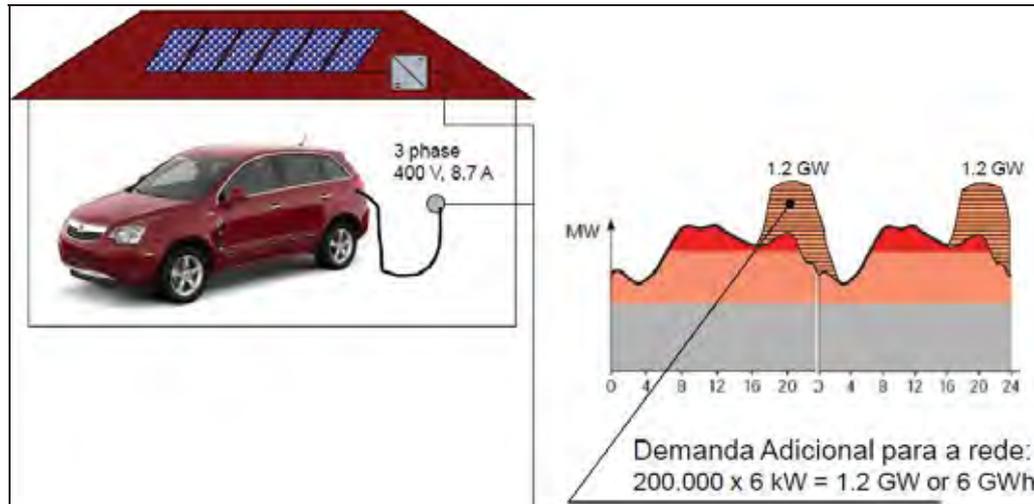


Figura 21 - Demanda adicional com carregamento em casa

Como foi descrito na figura 21 é possível calcular a demanda adicional que esta carga dos veículos elétricos irá causar ao sistema elétrico. A potência em um sistema trifásico é dada por:

$$P = \sqrt{3} * V * I$$

Assim:

$$P = \sqrt{3} * 400 * 8,7 = 6020,4W$$

Arredondando-se:

$$6kW$$

Ao multiplicarmos pela quantidade de carros obtém-se a demanda adicional:

$$200.000 * 6kW = 1,2GW$$

Para obtermos a energia total necessária durante as 5h de carregamento

$$1,2GW * 5 = 6GWh$$

Observa-se que o carregamento do veículo a partir do momento em que o consumidor chega do trabalho resulta em um pico adicional de 6 GWh, o que significa na exigência de uma grande quantidade de energia a ser fornecida adicionalmente ao sistema.

Para sistemas elétricos o limiar superior é definido pela carga máxima que o sistema deve oferecer a seus clientes em qualquer momento do dia. Ou seja, não importa

se a necessidade daquela carga seja de 5 horas ou 5 minutos, todo dimensionamento do sistema elétrico estará voltado para aqueles 5 minutos em que é exigido o pico de energia. Isto gera um custo adicional para as empresas fornecedoras de eletricidade que devem ter todo seu equipamento e sistemas aptos a suprir esta demanda de pico, mesmo que por um curto espaço de tempo. Caso não seja respeitada esta demanda, o sistema de proteção deverá atuar, interrompendo o fornecimento de energia para os cliente. Sendo assim, evitar estes picos, como o que existe na figura 21, é de grande importância para as concessionárias e conseqüentemente para os clientes.

Somente com uma solução inteligente pode-se solucionar este problema, de forma que seja distribuída esta demanda durante os horários em que o sistema não está sobrecarregado. A proposta seria então se comunicar com os consumidores vizinhos e planejar o carregamento alternado de um grupo de baterias, que armazenariam energia durante todo o dia e carregariam posteriormente os carros conectados a elas.

Para esta nova situação, tem-se:

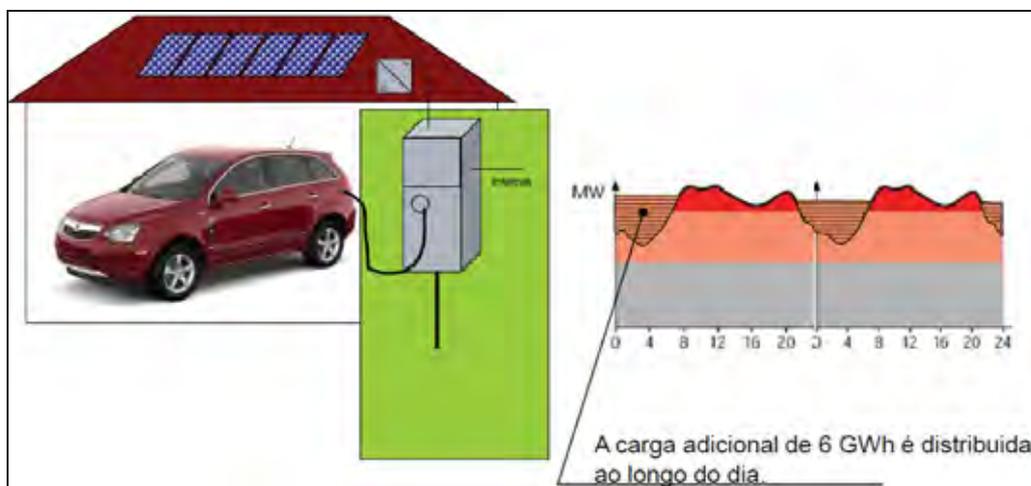


Figura 22 - Demanda adicional com carregamento em casa e distribuída ao longo do dia.

A figura 22 demonstra através de seu gráfico que a carga adicional de 6 GWh foi distribuída ao longo de todo o dia, portanto não tem-se mais um pico de demanda. Esta demanda se tornou mais uniforme e viável ao setor elétrico.

Cenário 2

Em outra simulação, da mesma forma como se carrega os carros em casa, opta-se por carregá-los durante o expediente de trabalho e neste caso, tem-se também os gráficos representando a demanda em um estacionamento onde 1.000 carros são carregados simultaneamente por um período de 5 horas:

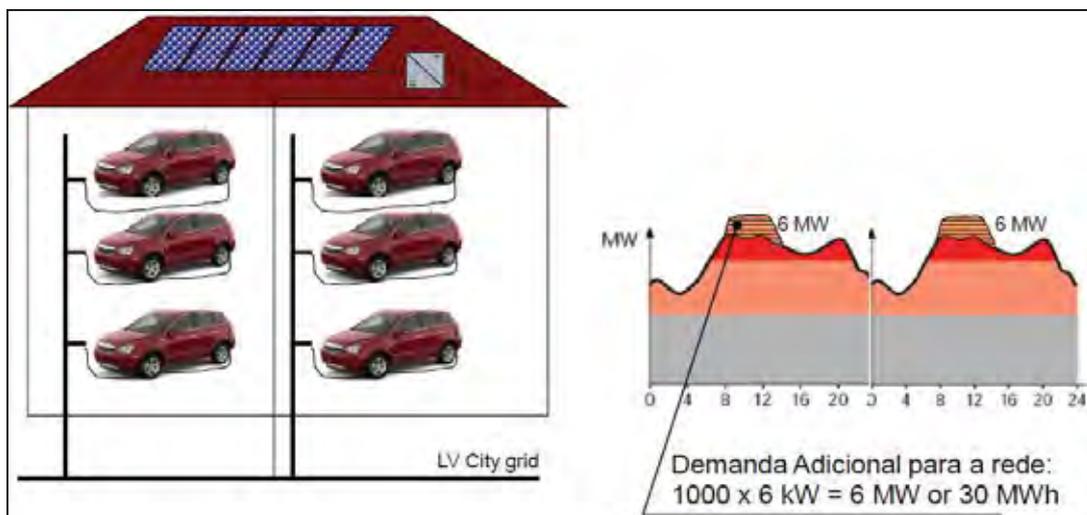


Figura 23 - Demanda adicional com carregamento no estacionamento.

Da mesma forma que no cenário anterior, calcula-se a potência em um sistema trifásico através da equação:

$$P = \sqrt{3} * V * I$$

Obtemos:

$$P = \sqrt{3} * 400 * 8,7 = 6020,4W$$

Arredonda-se:

$$6kW$$

Ao se multiplicar pela quantidade de carros obtém-se a demanda adicional:

$$1.000 * 6kW = 6MW$$

Para obtém-se a energia total necessária durante as 5h de carregamento:

$$6MW * 5 = 30MWh$$

Observa-se que igualmente ao caso anterior, quando não se utiliza uma solução inteligente resulta num pico de consumo adicional que é bastante significativo para a rede elétrica da região. Ao utilizar o mesmo procedimento demonstrado anteriormente, tem-se:

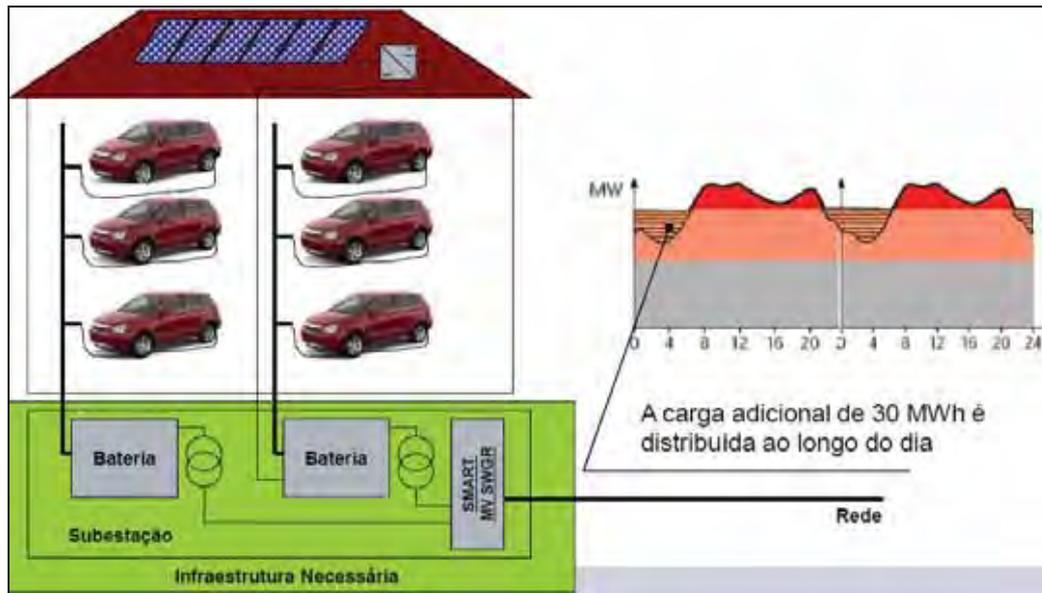


Figura 24 - Demanda adicional com carregamento no estacionamento e distribuída ao longo do dia.

Utilizando-se uma infraestrutura de 2 baterias, capazes de armazenar a energia e depois fornecer aos carros elétricos, um equipamento que controla a energização e desenergização das baterias pela eletricidade vinda da rede elétrica (Smart MV SWGR-Smart Medium Voltage SwitchGear, figura 2), é possível verificar a distribuição da demanda ao longo do dia sem gerar pico de energia muito grande, criando assim um impacto menor sobre toda rede elétrica.

Cenário 3

Nestas duas simulações anteriores, nota-se o grande tempo de carregamento da bateria, uma vez que se supõe que o carro ficará parado na residência ou no estacionamento por um longo período.

Contudo, caso o consumidor necessite fazer uma viagem de longa distância ou até mesmo precise carregar sua bateria quando tiver dirigindo pelas ruas, é necessária uma possibilidade de carregamento num tempo muito menor. Portanto, este terceiro cenário simula o carregamento da bateria, da mesma forma como postos de combustíveis atuais. Baterias seriam carregadas em torno de 20 minutos em postos equipados com um sistema robusto e que atenderiam a demanda e potência solicitada, tendo então tensões de 600V e 86.6A. Alguns fabricantes já produzem baterias deste porte.

Neste caso será considerado um abastecimento simultâneo de 50 carros, uma estimativa que é conservadora, mas bastante provável.

Neste caso tem-se:

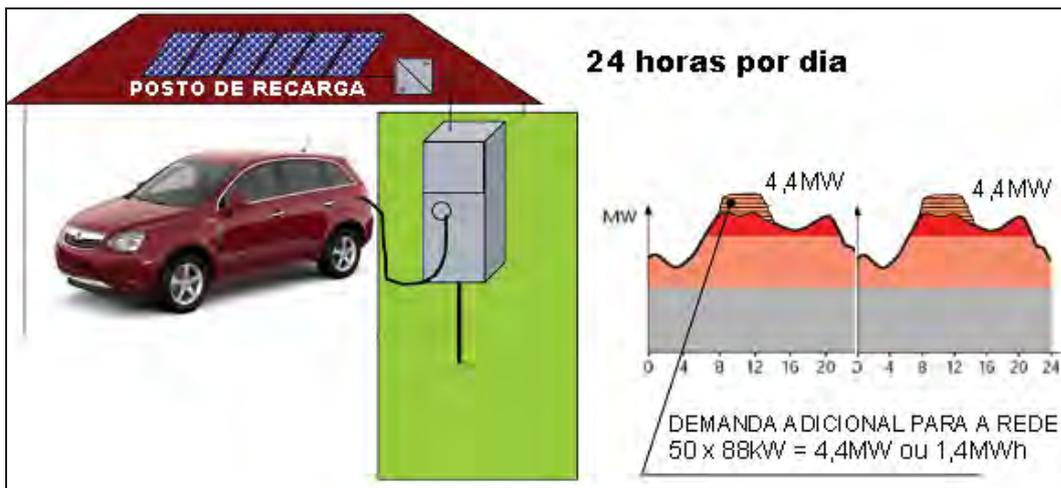


Figura 25 - Demanda adicional com carregamento em Postos de Recarga

Como nos dois cenários anteriores calcula:

$$P = \sqrt{3} * V * I$$

Obtém-se:

$$P = \sqrt{3} * 600 * 86,6 = 88.332W$$

Arredondando-se para:

$$88kW$$

Ao multiplicarmos pela quantidade de carros obtém-se a demanda adicional:

$$50 * 88kW = 4,4MW$$

Para obter-se a energia total necessária durante os 20 minutos de carregamento:

$$4,4MW * 1/3 = 1,4MWh$$

Obtem-se aqui uma demanda adicional de 4,4MW o que gera um impacto significativo em toda rede elétrica.

Mais uma vez, somente será possível solucionar os picos de energia instantâneos exigidos por este tipo de carregamento através da utilização de uma solução inteligente.

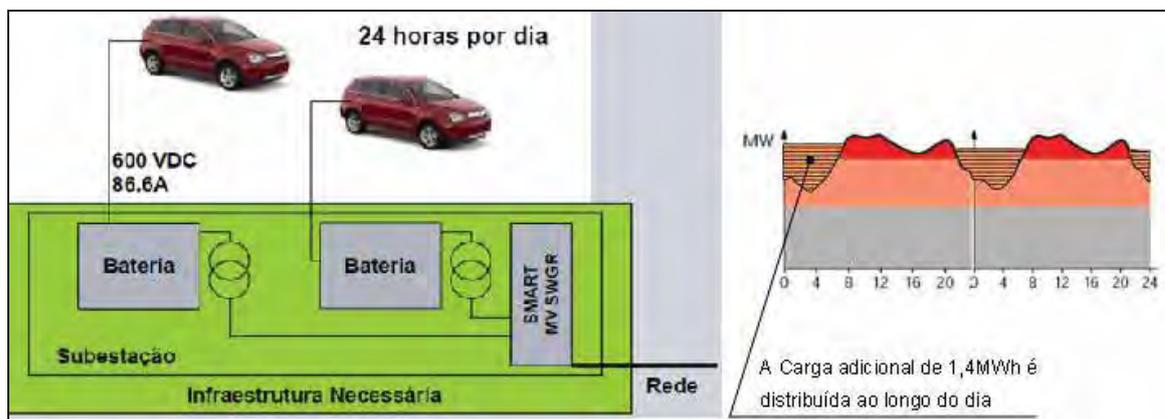


Figura 26 - Posto de Recarga com a demanda distribuída

A figura 26 demonstra a carga adicional do posto de carregamento distribuída ao longo do dia, evitando assim seu impacto em todo sistema elétrico. Neste caso utiliza-se o mesmo procedimento, ou seja, utiliza-se um banco de baterias que será carregado ao

longo do dia, principalmente em horários de menor consumo, e estes bancos de baterias que alimentam os carros eletrônicos.

Durante os três cenários analisados anteriormente foi verificada a influência que o carregamento dos carros elétricos gera no sistema elétrico, independente do local onde esta carga esteja sendo realizada, em casa, num estacionamento ou num posto de carregamento.

Observa-se que a opção de distribuir a demanda de carregamento gera um impacto bem menor sobre a rede elétrica e é uma opção simples, porém eficiente no gerenciamento desta situação. Apesar de simples, o gerenciamento deste sistema é bastante complexo, necessitando de equipamentos inteligentes (Smart Meter) e uma rede de comunicação robusta e confiável.

6 CONCLUSÃO

A configuração atual do sistema elétrico brasileiro não possibilita um crescimento sustentável e, portanto, culmina em perdas econômicas, pelo desperdício de energia em longas linhas de transmissão, perdas sociais, pois não possibilita a inclusão e fornecimento de energia a centros afastados das unidades geradoras e perdas ambientais, principalmente por não interligar ao sistema, as fontes renováveis de energia elétrica.

Smart Grid é a resposta para os diversos problemas deste sistema elétrico. A integração e a interação que esta rede proporciona, trará agilidade em soluções que hoje em dia necessitam de muito empenho e investimento para serem resolvidas, além de uma maior estabilidade, diminuindo assim a necessidade de intervenção humana.

Como mencionado durante este trabalho, a aprovação recente da ANEEL com relação a nova forma de cobrança da eletricidade em todo país mostra o quão próximo da realidade é este tema. Sabe-se que o investimento em pesquisa e desenvolvimento necessário é muito elevado, porém seu retorno a longo prazo é garantido. O quanto antes as autoridades reconhecerem isto, mais cedo será possível aproveitar desta inovação.

No setor automobilístico sabe-se que os carros elétricos e os híbridos são muito atraentes para os clientes por conterem basicamente três grandes vantagens: economia, por ser mais barato recarregar uma bateria do que reabastecer o tanque de gasolina, rendimento, o motor elétrico tem uma eficiência na faixa de 90% e sustentabilidade, pela sua baixa ou nula emissão de poluentes atmosféricos. Por outro lado estes veículos estão a um preço exorbitante e não atraem os consumidores.

Com a tendência da diminuição da oferta de petróleo, o aumento da poluição atmosférica e consecutivamente sua influência nas mudanças climáticas, espera-se que em breve seja possível verificar um incentivo governamental para a produção e venda deste tipo de transporte. Com isto tende-se a preservar ou reduzir a agressão da humanidade no seu meio ambiente, além de assegurar maiores ofertas de energia para os países, buscando assim seu desenvolvimento.

Com esta tendência no aumento da quantidade de veículos elétricos, em consequência será verificado um incremento na demanda elétrica. Conforme foi estudado, este fato pode gerar cargas de ponta em horários de pico o que influencia todo sistema elétrico. Isto gera a necessidade de uma atualização física de todo o sistema que possibilite atender a esta nova curva de carga em sua totalidade. Através da solução proposta, a associação de um banco de baterias a rede elétrica e ao automóvel possibilita uma distribuição desta nova demanda ao longo do dia, diminuindo assim a carga de ponta e evitando a possibilidade de interrupção do fornecimento sem a necessidade de grandes investimentos e controle.

REFERÊNCIAS

ACHÉR, Mossé, Electric Power Research Institute; Fórum *Smart Grid*, Vision of potential functionalities as energy management portals for consumers, use of distributed generation, electric car, renewable energy, system security; São Paulo, 2008.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, .RESOLUÇÃO ANEEL Nº 456, DE 29 DE NOVEMBRO DE 2000 .

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasília Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), Tarifas de fornecimento de energia elétrica, 2005.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica,
http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4922&id_area=90 , acessado em Nov. 2011.

COGEN, Associação de Indústria de Cogeração de Energia – COGEN; site
http://www.cogensp.com.br/cog_conceito_2.asp. Acessado em Jun/2011

BARBOSA, N.; Oliveira, D.; Souza, J. A. P.; Veículos elétricos e a rede elétrica: impactos sobre a rede de distribuição; Seminário e exposição de veículos elétricos; Campinas, SP, 2010.

BOCUZZI, C.V. e Rodrigues, J. M.; III Fórum Latino-Americano de *Smart Grid* 2010; site: http://www.rpmbrazil.com.br/sg10_perfil_portugues.htm;. Acessado em Set/2011.

COUTINHO, L. G.; Castro, B. H. R. de.; Ferreira T. T; Veículo elétrico, políticas públicas e o BNDES: oportunidades e desafios; Caderno Eletrobrás; 2010.

FARRET & SIMÕES, F. A., M. G.; *Integration of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons; 2006.

FLICK, TONY; MOREHOUSE, JUSTIN - Livro: *Securing the Smart Grid – Next Generation Power Grid Security*, 2010.)

GUERRERO, J.M; *Distributed Generation – Toward a New Energy Paradigm*. IEEE Industrial Electronics Magazine;. Dept. of Autom. Control Syst. & Comput. Eng., Tech. Univ. of Catalonia, Barcelona, Spain; Março de 2010. Disponível para acesso no site <http://www.ieee.org/index.html>; Acesso JUN/2011

HYDROONE, *Getting smart about smart meters answer*;
http://www.hydroone.com/MyHome/MyAccount/MyMeter/Documents/Smart_Meters_Answer_book_ENG.pdf acessado em Out/2011

IEA, International Energy Agency; *World Energy Outlook 2009 Executive summary*. Document; EUA, 2009.

IEEE, Institute of Electrical and Eletronics Engineers – *Smart Grid Conceptual Model*; site:<http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model> acessado em SET/2011.

J. H. Diniz, A.M. Carvalho, D. M. R. Barros, “Geração distribuída: conceitos, tecnologias e perspectivas”, *Eletricidade Moderna*, n. 231, pp. 66-79, Abril 2004.

JR, Antonio G. de Mello; *Analise comparativa do desempenho das turbinas de fluxo cruzado e Francis em sistema com regularização diária de vazão*,

<http://meusite.mackenzie.com.br/mellojr/A%20turbina%20de%20fluxo/A%20turbina%20de%20fluxo%20.htm>, acessado Nov. 2011.

KEMPTON, W.; Tomic J.; Letendre S.; Brooks A.; Lipman T.; Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California; University of California, Berkeley and Davis; EUA, Junho de 2001; site <http://www.udel.edu/V2G>.

PERES, Luiz Artur Pecorelli, “Veículos Elétricos: O limiar de uma era de transição”. Site <http://www.gruve.eng.uerj.br/historia.htm> acessado em Nov/2011

Plataforma Itaipu energia renováveis, Geração Distribuída;

Site: http://www.plataformaitaipu.org/plataforma/geracao_distribuida; Acessado em Jun/2011.

P.R.C., Colledge, F. Ferreira, F. Medeiros; “Geração distribuída e impacto na qualidade de energia” VI SBQEE Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica; Belém, Pará, 2005.

SIDDIQUI, O; The Green Grid: Energy Savings and Carbon Emissions Reductions Enabled by a *Smart Grid*; EPRI; Palo Alto, CA: 2008.

SIEMENS BRASIL. PowerCC Jundiaí. 2009.

SIEMENS AG. “Tomorrow’s Power Grids” Pictures of the Future – 2009.