

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO  
Curso de Engenharia Elétrica

**FLÁVIA BEATRIZ FERREIRA**

**A EVOLUÇÃO AUTOMOBILÍSTICA E APLICAÇÃO DE  
SMART GRID PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA  
RENOVÁVEL**

Itatiba  
2012

**FLÁVIA BEATRIZ FERREIRA – R.A. 002200600618**

**A EVOLUÇÃO AUTOMOBILÍSTICA E APLICAÇÃO DE  
SMART GRID PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA  
RENOVÁVEL**

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

Orientador: Prof. André Renato Bakalereskis,

Itatiba  
2012

**FLÁVIA BEATRIZ FERREIRA – R.A. 002200600618**

**A EVOLUÇÃO AUTOMOBILÍSTICA E APLICAÇÃO DE  
SMART GRID PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA  
RENOVÁVEL**

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

**Data de aprovação:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Prof. André Renato Bakalereskis (Orientador)  
Universidade São Francisco

---

Prof. Renato Franco de Camargo (Examinador)  
Universidade São Francisco

---

Eng. Tiago de Moraes Barbosa (Examinador)  
Universidade São Francisco

*Este trabalho é dedicado a Deus, aos meus pais,  
ao meu irmão, aos meus familiares e amigos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, por ter me abençoado a conseguir ingressar neste curso de graduação, por me dar coragem e força de vontade para chegar ao final.

Especialmente agradeço aos meus pais, Luiz Carlos e Odete que sempre me incentivaram a estudar, me educaram, me instruíram e me ajudaram a chegar até aqui. Agradeço também ao meu irmão Júnior pela força. Agradeço carinhosamente a toda a minha família, avós, tios e primos pelo incentivo, pela motivação e pelo carinho. O apoio da família é fundamental.

A meus amigos com quem eu sempre pude contar: Alessandra, Célio Roberto, Marcos Silva, Samuel Passos, Flávio Regagnin, Alcindo Júnior, Felipe Nunes, Lucas Andrade, Sérgio Csik, Tiago Barbosa, e a todos aqueles que de alguma forma me motivaram, me incentivaram e contribuíram para o meu crescimento e conhecimento ao longo desses anos.

Ao meu noivo Luiz Ricardo, eu agradeço o amor, o apoio, a motivação, a dedicação e principalmente a compreensão durante este longo período universitário.

Finalmente, agradeço a todos os professores desta universidade, que contribuíram de maneira ativa com o meu aprendizado. Em especial, agradeço ao meu orientador André Renato Bakalereskis que me instruiu com este trabalho.

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| LISTA DE ABREVIATURAS .....  | 7  |
| LISTA DE FIGURAS .....   | 9  |
| LISTA DE TABELAS .....   | 10 |
| LISTA DE EQUAÇÕES .....  | 11 |
| RESUMO .....   | 12 |
| ABSTRACT .....   | 13 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 14 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 16 |
| 2.1. A Indústria Automotiva .....                                      | 16 |
| 2.2. A Indústria Automotiva no Brasil .....                            | 16 |
| 2.3. A Evolução Automobilística .....                                  | 19 |
| 2.3.1. Motor de Combustão Interna .....                                | 21 |
| 2.3.2. Veículo Elétrico .....  | 22 |
| 2.3.3. Veículo Híbrido .....   | 25 |
| 2.3.3.1. Os componentes de um carro híbrido .....                      | 26 |
| 2.3.3.2. Os tipos de veículos híbridos .....                           | 27 |
| 2.3.4. Exemplo de recuperação e utilização de energia do veículo ..... | 29 |
| 2.4. Rede de Distribuição de Energia .....                             | 31 |
| 2.4.1. O Sistema Elétrico de Potência Atual (SEP) .....                | 35 |
| 2.5. Redes Inteligentes - Smart Grid .....                             | 37 |
| 2.5.1. Arquitetura da rede Smart Grid .....                            | 41 |
| 3. METODOLOGIA .....   | 43 |
| 3.1. O Estado da Arte .....  | 45 |
| 3.1.1. Iniciativas pelo Mundo .....                                    | 45 |
| 3.1.2. Iniciativas no Brasil .....                                     | 47 |
| 3.1.2.1. Projeto: Cidades do Futuro .....                              | 49 |
| 3.2. Requisitos de Arquitetura da rede Smart Grid .....                | 50 |
| 3.2.1. Automação da Distribuição .....                                 | 51 |
| 3.2.1.1. Automação da Distribuição: Principais Funções .....           | 54 |
| 3.2.2. Sistema de Comunicação .....                                    | 55 |
| 3.2.3. Segurança .....   | 57 |
| 3.3. Sistemas de Medição .....   | 58 |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.1. Medidores Inteligentes .....              | 60 |
| 3.3.2. Sistema de Gerenciamento da Medição ..... | 61 |
| 3.4. Tarifação de Energia Elétrica .....         | 62 |
| 3.5. Engenharia do Veículo Elétrico .....        | 65 |
| 3.5.1. Cálculos .....                            | 66 |
| 4. RESULTADOS .....                              | 71 |
| 4.1. Armazenamento de Energia no Veículo .....   | 71 |
| 4.2. Ganhos para o Consumidor .....              | 73 |
| CONCLUSÃO .....                                  | 75 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....              | 77 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABRADEE – Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico

AD – Automação da Distribuição

ADA – Automação Avançada de Distribuição (Advanced Distribution Automation)

ADO – Operação Avançada de Distribuição (Advanced Distribution Operation)

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AMI – Infraestrutura de Medição Avançada (Advanced Metering Infrastructure)

BAN – Construção de Rede de Trabalho (Building Area Network)

BPL – Banda Larga sobre Linhas de Comunicação (Broadband over Power Lines)

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CIM – Modelo de Informação Comum (Common Information Model)

COD – Centro de Operação da Distribuição

CRM – Consumo Residencial Médio

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

CV – Cavalos (unidade de potência)

CVT –

DER – Recursos de Distribuição de Energia (Distributed Energy Resources)

DMS – Sistema de Gerenciamento da Distribuição (Distribution Management System)

DR – Resposta a Demanda (Demand Response)

DRMS – Recursos Distribuídos para Gerenciamento do Sistema (Distributed Resource Management System)

EE – Energia Elétrica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FA – Fonte de Alimentação

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas

GD – Geração Distribuída

GPRS – Pacote Geral de Serviços de Rádio (General Packet Radio Service)

GIS – Sistema de informações Georreferenciadas (Georeference Information System)

GWh – Giga Watts - hora

HAN – Rede de Trabalho Residencial (Home Area Network)

IAN – Rede de Trabalho Industrial (Industrial Area Network)



ICCP – Centro de Protocolo de Comunicação (Inter Center Communications Protocol)

IP – Protocolo de Internet (Internet Protocol)

IED – Dispositivo Eletrônico Inteligente (Intelligent Electronic Device)

IEC – Comunicação Eletrotécnica Internacional (Internacional Electrotechnical Commission)

kWh – quilo Watt hora

KERS – Sistema de Recuperação de Energia Cinética (K

MAC – Mensagem de Código de Autenticação (Message Authentication Code)

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação

MDM – Gerenciadores de Dados de Medição (Metering Data Management)

MME – Ministério de Minas e Energia

OMS – Sistema de Gestão de Faltas de Energia (Outage Management System)

ONS – Operador Nacional do Sistema

PLC – Linhas de Comunicação (Power Line Communication)

RDS – Redes de Distribuição Subterrâneas

RTU – Unidade de Terminal Remoto (Remote Terminal Units)

RF – Rádio Frequência

RPM – Rotação Por Minuto

SCADA – Controle Supervisório e Aquisição de Dados (Supervisory Control And Data Acquisition)

SEP – Sistema Elétrico de Potência

SIN – Sistema Interligado Nacional

SCL – Configuração de Linguagem da Subestação (Substation Configuration Language)

TLS – Camada Segura de Transporte (Transport Layer Security)

TI – Tecnologia da Informação

TIC – Tecnologias da Informação e Telecomunicação

UC – Unidades Consumidoras

UCA – Arquitetura de Comunicação de Serviços (Utility Communications Architecture)

USTDA – Agencia de Desenvolvimento e Serviços dos Estados Unidos (United States Trade and Development Agency)

VEH – Veículo Híbrido Puro

VE – Veículo Elétrico

VEP e VEB – veículos com baterias que podem ser carregadas externamente

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Poluição gerada pelos veículos de combustão interna. Fonte: <a href="http://www.noticiasautomotivas.com.br">www.noticiasautomotivas.com.br</a> ..... | 14 |
| Figura 2 – A Romi-Isetta. Fonte: <a href="http://wikipedia.com.br">http:// wikipedia.com.br</a> .....   | 17 |
| Figura 3 – A evolução da produção de veículos no Brasil. Fonte: CAPELLI, ALEXANDRE. ....  | 18 |
| Figura 4 – A Locomotiva de Cognot. Fonte: <a href="http:// wikipedia.com.br">http:// wikipedia.com.br</a> .....   | 19 |
| Figura 5 – O Automóvel de Lenoir. Fonte: CAPELLI, ALEXANDRE .....   | 19 |
| Figura 6 – A patente de Nicolaus Otto. Fonte: CAPELLI, ALEXANDRE. ....  | 20 |
| Figura 7 – Motor híbrido em série. Fonte: <a href="http://www.uol.com.br">www.uol.com.br</a> .....  | 27 |
| Figura 8 – Motor híbrido em paralelo. Fonte: <a href="http://www.uol.com.br">www. uol.com.br</a> .....  | 28 |
| Figura 9 – Motor híbrido combinado. Fonte: <a href="http://www.uol.com.br">www.uol.com.br</a> .....   | 28 |
| Figura 10 – Ilustração do esquema de energia atual. Fonte: <a href="http://www.redeinteligente.com">www.redeinteligente.com</a> .....                           | 32 |
| Figura 11 – Sistema Elétrico de Potência (SEP). Fonte: <a href="http://smartgridnews.com.br">http://smartgridnews.com.br</a> .....                              | 36 |
| Figura 12 – Topologia da rede conceitual de Smart Grid do Sistema Elétrico de Potência. Fonte: <a href="http://www.mme.com.br">http://www.mme.com.br</a> .....  | 42 |
| Figura 13 – Ilustração de uma casa e alguns de seus equipamentos que utilizam eletricidade Fonte: UCLA Smart Grid Energy Research Center .....                  | 43 |
| Figura 14 – Ilustração do Projeto Smart City Évora. Fonte: <a href="http://www.redeinteligente.com">www.redeinteligente.com</a> .....                           | 47 |
| Figura 15 – Ilustração da rede inteligente. Fonte: <a href="http://www.siemens.com.br">www.siemens.com.br</a> .....   | 53 |
| Figura 16 – Ilustração de uma casa com a rede inteligente. Fonte: Apresentação da Center Point ao GT – Adaptada .....   | 54 |
| Figura 17 – Ilustração de sistema de medição típico para redes elétricas inteligentes. Fonte: Ministério de Minas e Energia .....                               | 59 |
| Figura 18 – Medidor Polifásico x Medidor Eletrônico. Fonte: ABB .....   | 61 |
| Figura 19 – Demanda de energia: com Sistema Inteligente x sem Sistema Inteligente. Fonte: ABVE .....  | 65 |
| Figura 20 – Veículo acelerando em uma estrada. Fonte: Estatuto da ABVE (2006) .....   | 66 |
| Figura 21 – Potência tracionária, torque e consumo de combustível de um MCI. Fonte: Estatuto da ABVE (2011) .....   | 68 |
| Figura 22 – Tração característica de um veículo utilizando um MCI com transmissão de quatro marchas. Fonte: Estatuto da ABVE (2011) .....                       | 69 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Comparação dos custos – Carro Tradicional x Carro Elétrico. Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Veículos Elétricos ..... | 23 |
| Tabela 2 – Estimativa de vendas de Carros Elétricos. Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Veículos Elétricos .....                   | 24 |
| Tabela 3 – Ilustração do consumo de energia no Brasil. Fonte: <a href="http://www.epe.gov.br">http:// www.epe.gov.br</a> .....              | 33 |
| Tabela 4 – Consumo mensal de energia por regiões do Brasil. Fonte: Adaptado do estudo da Empresa de Pesquisa Energética .....               | 34 |
| Tabela 5 – Consumo médio residencial mensal de energia. Fonte: Adaptado do estudo da Empresa de Pesquisa Energética .....                   | 35 |
| Tabela 6 – Tarifa cobrada na estrutura Horo-Sazonal – Tarifa AZUL. Fonte: CPFL .....  | 63 |
| Tabela 7 – Tarifa cobrada na estrutura Horo-Sazonal – Tarifa VERDE. Fonte: CPFL .....   | 63 |
| Tabela 8 – Consumo médio residencial diário de energia. Fonte: CPFL Itatiba .....   | 73 |
| Tabela 9 – Gasto médio residencial diário de energia – Distribuidora CPFL. Fonte: CPFL Itatiba .....  | 73 |
| Tabela 10 – Tarifas diferenciadas por horário. Fonte: Adaptado CPFL .....   | 74 |
| Tabela 11 – Gastos de acordo com as tarifas diferenciadas. Fonte: Adaptado CPFL .....   | 74 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Equação 1 – Cálculo da Altura .....                   | 66 |
| Equação 2 – Cálculo da Energia Cinética .....         | 66 |
| Equação 3 – Cálculo da gravidade .....                | 67 |
| Equação 4 – Energia regenerativa .....                | 67 |
| Equação 5 – Cálculo do arrasto aerodinâmico .....     | 67 |
| Equação 6 – Cálculo da resistência do rolamento ..... | 67 |
| Equação 7 – Energia fornecida durante a subida .....  | 69 |
| Equação 8 – Energia fornecida durante a descida ..... | 69 |
| Equação 9 – Energia total suprida pela bateria .....  | 70 |
| Equação 10 – Energia total durante a descida .....    | 70 |
| Equação 11 – Energia total utilizada .....            | 70 |

## RESUMO

FERREIRA, Flávia B. **A evolução automobilística e a aplicação de Smart Grid para utilização de energia renovável.** Itatiba, 2012. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2012.

Neste trabalho é apresentado um estudo da evolução automobilística, enfatizando-se os tipos de motores, e as possibilidades de utilização de energia renovável armazenada no automóvel durante a sua utilização através das redes inteligentes, onde se evidenciam as vantagens dos motores elétricos aos motores de combustão, e a superioridade dos mesmos tendo como principais vantagens a menor poluição, o custo de rodagem menor, e a possibilidade de utilização de energia alternativa nos horários de ponta gerando economia real para o usuário.

**Palavras-chave:** Motor a Combustão. Motor Híbrido. Motor Elétrico. Rede Inteligente. Smart Grid. Medidor Inteligente.

## **ABSTRACT**

*This paper present a study of the automotive evolution with emphasis on the types of combustion, and the possibilities of using the renewable energy stored at the car battery while it is used, with help for the smart grids highlighting the advantages of the electric engines compared to the combustion engines, and their superiority with the main advantages of polluting less and having the possibility of using alternative energy at peak time generating real saving for the user.*

**Keywords:** *Combustion Engine. Hybrid Engine. Electric Engine. Smart Grid. Smart Measure*

# 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria automobilística tem se preocupado não só com a atratividade de seus veículos, mas também está comprometida com o meio ambiente, que se tornou uma questão mundial. Com o aumento da população mundial, a frota de automóveis também cresce proporcionalmente. Este crescimento traz um conjunto de problemas inimagináveis na época da criação do automóvel, como por exemplo a poluição, o barulho, os acidentes, os congestionamentos.

O automobilismo é a indústria que mais inova os seus produtos, tanto no aspecto físico como no aspecto tecnológico, de modo a reduzir os custos de produção e alcançar o maior número de usuários. A cada lançamento é possível observar que desde os menores detalhes até a mais alta tecnologia são empregados para garantir o conforto, a segurança e a satisfação de seus usuários.

Com a evolução dos materiais e com as novas tecnologias de fabricação, busca-se novas alternativas para reduzir a energia consumida pelo veículo, seja através do dimensionamento elétrico, do estudo e emprego de novos componentes elétricos bem como uso de sistemas de distribuição de energia e a utilização de tecnologias embarcadas para se chegar ao aumento da eficiência e autonomia dos veículos, objetivando não só a redução de custos de produção, mas também a redução do consumo de combustível e principalmente a redução de emissão de poluentes na atmosfera, ilustrado na figura 1.



**Figura 1** – Ilustração da poluição gerada pelos veículos de combustão interna  
Fonte: <http://noticiasautomotivas.com.br>

Englobando o tema de economia de energia e redução de emissão de poluentes na atmosfera, a poluição gerada pelo automóvel, bem como a possibilidade de se utilizar fontes

de energia renováveis é sempre questionada. Este tema ganha maiores proporções a cada dia, e devido a esta demanda busca-se opções para a redução desta emissão e oportunidades de armazenamento e utilização de energia renovável. Uma alternativa para reduzir a emissão de poluentes jogados na atmosfera pelos veículos de motores a combustão é o veículo elétrico, que é um veículo equipado com um motor elétrico e possui emissão zero de gases de efeito estufa.

Nesta concepção estuda-se armazenamento da energia da Frenagem Regenerativa, que pode ser armazenada no veículo, porém atualmente é dispersa, empregando as Redes Inteligentes - *Smart Grid* - que tornará possível através de um sistema de comunicação transmitir a energia armazenada no veículo para onde se desejar, como por exemplo, para a casa do usuário nos horários de ponta, o que pode gerar grande economia para o usuário e para o planeta.

O objetivo deste trabalho é apresentar a evolução dos motores veiculares, desde os motores a combustão interna até os motores elétricos, enfatizando a nova proposta de automóvel denominada veículo híbrido plugin, que além de contar com a emissão zero de poluentes do motor elétrico também conta com a autonomia de um motor a combustão de maior eficiência. A concepção do veículo híbrido está se difundindo com a importância da conscientização ecológica e da evolução das redes de energia que buscam soluções em energia renovável, o que resultará diretamente em possibilidades de utilização de fontes alternativas e renováveis de energia e ganhos para o consumidor.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A Indústria Automotiva**

A indústria automotiva é envolvida com o projeto, desenvolvimento, fabricação, publicidade e a venda de veículos automóveis. É responsável pela produção de automóveis para auxiliar no deslocamento e/ou transporte da população, bens ou serviços. De acordo com Capelli (2010), pode-se afirmar que a indústria automotiva é responsável pela movimentação da economia e geração de empregos em outras áreas, já que para a manufatura de um automóvel são utilizadas peças de aço, plástico, madeira, vidro, metais, tecidos, compostos químicos, etc., e para cada um destes componentes também existe uma indústria de manufatura, como por exemplo, metalurgia, usinagem, injeção de termoplásticos, borracha, eletroeletrônica, etc.

Em 2006 foram produzidos mais de 69 milhões de veículos no mundo, incluindo automóveis e veículos comerciais. Em teoria as pessoas optam por veículos por necessidade, e atualmente os automóveis estão entre os bens de maior necessidade, expandindo sua relevância a diversos campos da natureza humana. Porém, a indústria automotiva já percebeu que os veículos poderiam ter maior ou menor procura em função de sua aparência. Portanto, não só a utilidade do automóvel, mas também a sua atratividade passaram a ser o carro chefe para as inovações desta indústria. [3]

### **2.2. A Indústria Automotiva no Brasil**

De acordo com o Governo do Estado de São Paulo, em novembro de 1891 chegou em solo brasileiro o primeiro carro motorizado. Era o exemplar de um Peugeot comprado por 1.200 francos por Alberto Santos Dumont, - o futuro Pai da Aviação -, que na época tinha 18 anos e acabava de retornar da França com a família, trazendo o veículo através do navio Portugal que aportava no porto de Santos. Se em 1891 existia somente um automóvel no Brasil, em 1904, 84 carros já eram registrados na Inspetoria de Veículos.

A data do advento da indústria automotiva brasileira é incerta. Começou de forma anônima em pequenas oficinas, importando-se apenas os motores. De acordo com o autor, as

vésperas da Segunda Guerra Mundial o Brasil possuía uma pequena indústria de autopeças, onde eram produzidas mangueiras, pneus, molas, baterias e carrocerias.

A demanda de veículos no país aumentou consideravelmente após 1945. Em 1952 o Brasil chegou a importar 200.000 veículos, o equivalente na época a 540,9 milhões de dólares. Devido a esta demanda foi elaborada uma estratégia para a criação de um parque automotivo brasileiro, e foi necessário tomar medidas para alavancar a economia, que até 1950 era baseada na exploração do café. A união da indústria automobilística com a indústria de construção siderúrgica e de estradas ajuda a consolidar a base para impulsionar a nova economia.

Em 1956 as Indústrias Romi S/A criam o primeiro veículo brasileiro, a Romi-Isetta, ver figura 2. Era um carro compacto inspirado em um modelo da indústria alemã BMW. [1]



**Figura 2** – A Romi Isetta  
Fonte: <http://www.wikipedia.com.br>

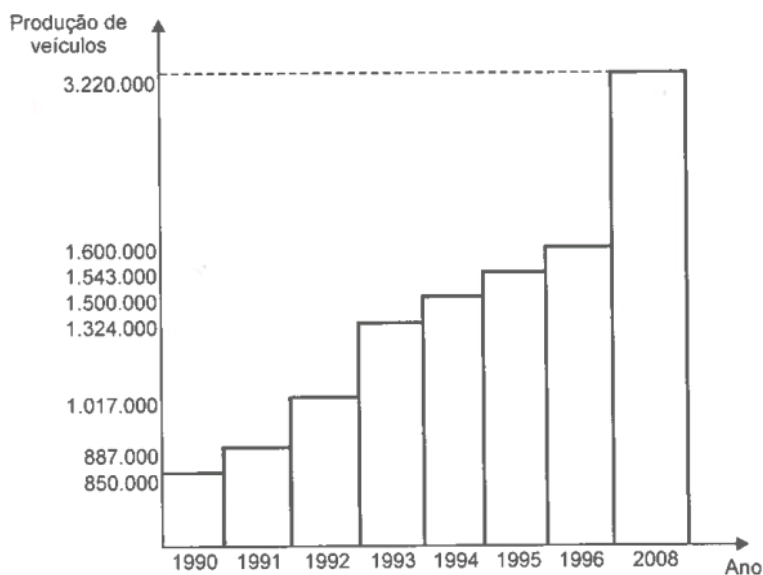
Em 1959 foi inaugurada a primeira fábrica da Volkswagen no Brasil, sediada no município de São Bernardo do Campo, com a presença do então presidente Juscelino Kubitschek. A empresa Volkswagen já produzia no Brasil os veículos Kombi e o Volkswagen Sedan 1200, importando todos os componentes da Alemanha, em um armazém alugado no bairro do Ipiranga. Ainda em 1959 a Volkswagen lançou o primeiro fusca brasileiro, modelo que ultrapassou a marca de 3,3 milhões de unidades vendidas.

Gradativamente foram instalando-se no Brasil outras montadoras. Em 1968 instalou-se no Brasil a fábrica da marca Ford. Segundo o Governo do Estado de São Paulo, na época da inauguração da Ford, o próprio Henry Ford sentenciou: "O automóvel está destinado a

fazer do Brasil uma grande nação". A primeira linha de montagem e o escritório da empresa foram montados na Rua Florêncio de Abreu, centro da cidade de São Paulo. Ainda em 1968 instalou-se no Brasil também a marca Chevrolet. Em 1976 foi a vez da marca Fiat.

Até 1990 o Brasil impôs restrições a importações, e com isso incentivou às indústrias automotivas brasileiras como Puma, Gurgel, Miura a investirem e prosperarem lucro. No final das proibições de importação no país, no ano de 1990, vieram para o Brasil outras indústrias montadoras: Peugeot, Renault e Citroen. Enquanto isso outras marcas eram incorporadas, como a Dodge pela Chrysler do Brasil, e a Mercedes Benz pela Daimler Benz do Brasil. Algumas indústrias brasileiras não conseguiram resistir à reabertura das importações e à concorrência com os modelos importados. Pode-se citar como exemplo a Gurgel que, apesar de ter o projeto Delta que tratava-se de um veículo 100% nacional, não conseguiu a aprovação do governo para o empréstimo destinado a este projeto, tendo como consequência a queda do preço das suas ações, e consequentemente decretou a falência.

A indústria automotiva brasileira evoluiu muito, e passou de 850.000 unidades produzidas em 1990 para 3.220.000 em 2008, conforme ilustrado na figura 3. [1]



**Figura 3** – A evolução da produção de veículos no Brasil

Fonte: CAPELLI, ALEXANDRE. Eletroeletrônica Automotiva: Injeção Eletrônica, arquitetura do motor e sistemas embarcados. São Paulo, SP, Editora: Erica, 2010

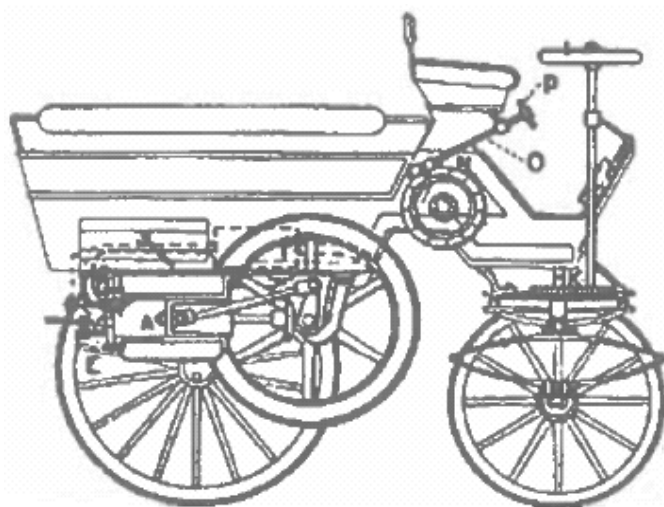
### 2.3. A Evolução Automobilística

Não há uma data exata para a criação do automóvel, já que ele surgiu por meio de sucessivas adaptações tecnológicas em busca de um único objetivo: viajar rapidamente e com o menor esforço possível de seus ocupantes. Um dos primeiros registros de automóvel foi pelo francês Nicolas Cugnot, em 1769, que criou um veículo com motor a vapor, conforme mostrado na figura 4.



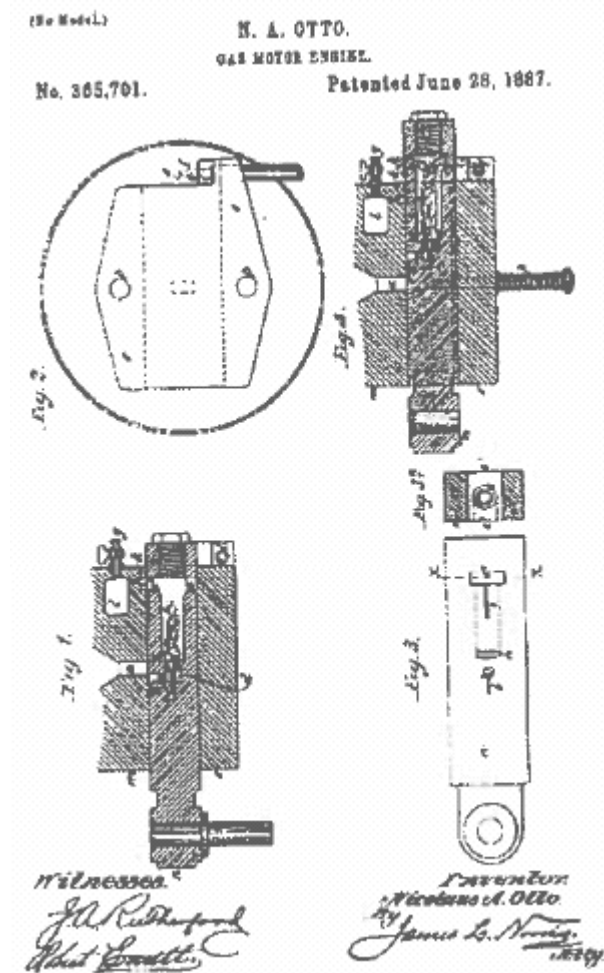
**Figura 4** – A Locomotiva de Cugnot  
Fonte: <http://www.carroantigo.com.br>

Em 1860 foi construído o primeiro automóvel com motor a combustão interna, pelo belga Etienne Lenoir, mostrado na figura 5. Este veículo era propulsionado por gás de carvão e percorreu 11,2km em três horas. [1]



**Figura 5** – O Automóvel de Lenoir  
Fonte: CAPELLI, ALEXANDRE. Eletroeletrônica Automotiva: Injeção Eletrônica, arquitetura do motor e sistemas embarcados. São Paulo, SP, Editora: Erica, 2010

Em 1876 o engenheiro alemão Nicolaus Otto construiu um motor de combustão interna melhor do que o modelo criado por Lenoir, que operava em quatro tempos. O primeiro tempo é para a admissão do combustível, que na época era uma mistura de ar e gás de iluminação, o segundo tempo comprime a mistura, no terceiro tempo esta mistura é queimada e no quarto tempo ocorre a expulsão dos gases. Otto foi o propulsor do motor a combustão, patenteando a sua obra em 28 de junho de 1887, patente ilustrada na figura 6, e foi da sua patente surgiu o nome “ciclo Otto” para o motor de quatro tempos. Em 1886 foi construído o primeiro motor de combustão interna a gasolina, por Karl Benz, com patente datada de 29 de janeiro de 1886. Mesmo a patente de Karl tendo sido feita antes da patente de Otto, Otto foi considerado o “pai” do motor de combustão, já que sua invenção surgiu primeiro. [1/6]



**Figura 6** – A patente de Nicolaus Otto

Fonte: CAPELLI, ALEXANDRE. Eletroeletrônica Automotiva: Injeção Eletrônica, arquitetura do motor e sistemas embarcados. São Paulo, SP, Editora: Erica, 2010

A busca incessante pela perfeição, bem como a necessidade mundial de tornar o planeta autossustentável, utilizando-se energia limpa e gerando menor poluição para o sistema incentiva a evolução dos motores automobilísticos. Além disso, com o aumento da demanda

veicular no mundo a matriz energética sustentada pelos combustíveis fósseis se vê ameaçada, pois se os padrões de crescimento forem mantidos, estima-se que somente a China terá cerca de 1,1 bilhão de carros em 2031, e para manter estes carros em funcionamento serão necessários 99 milhões de barris de petróleo por dia, volume maior que a atual produção mundial.

No ímpeto de aprimorar a indústria automobilística de acordo com a realidade mundial, surgiu em 1879 a primeira locomotiva elétrica, pela firma Siemens & Halske com uma potência de 2 kW, que foi apresentada na feira industrial de Berlim. O motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica, combinando as vantagens da energia elétrica que são baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando, com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. A tarefa reversa, aquela de converter o movimento mecânico na energia elétrica, é realizada por um gerador ou por um dínamo. Em muitos casos os dois dispositivos diferem somente em sua aplicação e detalhes menores de construção. Os motores de tração usados em locomotivas executam frequentemente ambas as tarefas se a locomotiva for equipada com os freios dinâmicos. Normalmente também esta aplicação se dá a caminhões fora de estrada, chamados eletrodiesel. [4]

### **2.3.1 Motor de Combustão Interna**

Motores de combustão interna são máquinas que através do movimento de seus pistões fazem com que a mistura ar/combustível sofra combustão, gerando força para fornecer potência e torque através do movimento rotativo do seu eixo principal (árvore de manivelas).

A combustão, que também pode ser chamada de queima, é um processo em que a energia química é convertida em calorífica, exigindo três componentes: o agente de detonação (a calor, neste caso a faísca), o comburente (ar atmosférico), e o combustível (álcool, diesel, gasolina, etc.).

Os motores de combustão interna utilizam os próprios gases para realizar os processos de compressão, queima (aumento de temperatura), expansão e exaustão. Este tipo de motor distingui-se dos motores com ciclo de combustão externa, porque neste caso, os gases de combustão transferem calor a um segundo fluido que opera como fluido de trabalho, como ocorre nos ciclos Rankine. Motores de combustão interna também são popularmente chamados de motores a explosão. Porém, esta denominação apesar de

frequente, não é tecnicamente correta, pois o que ocorre no interior das câmaras de combustão não é uma explosão de gases. O que impulsiona os pistões é o aumento da pressão interna da câmara, decorrente da combustão. [1]

### **2.3.2. Veículo Elétrico**

O veículo elétrico é um tipo de veículo que utiliza propulsão por meio de motores elétricos para transportar ou conduzir pessoas, objetos ou uma carga específica. É composto por um sistema primário de energia, uma ou mais máquinas elétricas e um sistema de acionamento e controle de velocidade ou binário. Os veículos elétricos fazem parte do grupo dos veículos denominados Zero-Emissões, que por terem um meio de locomoção não poluente não emitem quaisquer gases nocivos para o ambiente, nem emitem ruído considerável pois são bastante silenciosos.

A fabricação desses veículos em países como Estados Unidos e Japão partiu da indústria automobilística, que estava preocupada com o avanço do preço do petróleo. Já no caso do Brasil, a iniciativa está sendo dada pelas próprias usinas hidrelétricas, lideradas pela Itaipu, que apresentou o protótipo do Palio elétrico em junho de 2006. Desde então, mantém parcerias para o desenvolvimento de veículos e equipamentos de energia limpa.

O Projeto Veículo Elétrico consiste no desenvolvimento e pesquisa de veículos movidos a energia elétrica. Sediado em Itaipu, é composto por três grupos de trabalho para o desenvolvimento do Fiat Palio Weekend Elétrico, que é um carro para uso urbano, o Daily Elétrico, que é um caminhão elétrico para transporte de pequenas cargas e o Granmini Elétrico, que é um mini-ônibus elétrico. A iniciativa teve início com a assinatura de um acordo internacional de cooperação técnica firmado pela Itaipu e pela Kraftwerke Oberhasli (KWO), controladora de hidrelétricas suíças em 15 maio de 2006. Desde então, reúne parcerias com a montadora Fiat, além de empresas de tecnologia, concessionárias de energia elétrica e instituições de pesquisa do Brasil, Paraguai e Suíça. Utilizando a energia limpa e renovável de usinas hidrelétricas, o VE não emite poluentes. Por isso, pode ser considerado 100% ecológico, com forte compromisso ambiental. [5]

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

reduzidos quando comparados com os gastos de um veículo comum. Na tabela 1 é demonstrado o comparativo de alguns dados do carro elétrico com o carro tradicional. [14]

**Tabela 1** – Comparação dos custos – Carro Tradicional x Carro Elétrico

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Veículos Elétricos

| Carro Elétrico     |       | Carro Tradicional       |        |
|--------------------|-------|-------------------------|--------|
| km/dia             | 50    | km/dia                  | 50     |
| km/mês             | 1550  | km/mês                  | 1550   |
| kWh/km             | 0,18  | km/l                    | 11     |
| Energia (kWh)      | 279   | Litros                  | 136,36 |
| Custo do kWh (R\$) | 0,35  | Preço Combustível (R\$) | 2,5    |
| Custo Mensal (R\$) | 97,65 | Custo Mensal (R\$)      | 340,91 |
| Custo por km (R\$) | 0,063 | Custo por km (R\$)      | 0,23   |

Conforme citado anteriormente, a Usina Binacional Itaipu já incluiu em sua frota modelos do Pálio weekend elétrico 1.0 para testes, e com isso é possível fazer um comparativo prático de utilização do veículo elétrico *versus* a utilização do veículo de combustão interna. O motor do Pálio elétrico é alimentado por uma bateria Zebra com capacidade de 19,2 kWh. Dada a autonomia de 120 km até a descarga total da bateria, pode-se estimar um rendimento de aproximadamente 6km/kWh ( $\cong 120/19,2$ ). Para carregar totalmente esta bateria em um posto específico para abastecimento de carros elétricos, o usuário gastaria em torno de R\$10,00.

A versão do Pálio weekend com motor à combustão interna tem um rendimento de cerca de 9 km/l em trajetos urbanos. Considerando a média atual do preço da gasolina comum em São Paulo de R\$2,678 por litro, para rodar 120Km o usuário gastaria R\$35,71 para abastecer o seu veículo. [5]

Além de tudo isso, as emissões de poluentes e gases do efeito estufa de veículos elétricos são desprezíveis, pelo menos considerando diretamente, apenas a utilização do veículo elétrico contra a utilização do veículo convencional, desconsiderando as emissões decorrentes dos processos da geração da energia que será utilizada para carregar a bateria, o que já seria muito benéfico para o Brasil, visto que em nosso país os carros e as motos são os maiores responsáveis pela poluição ambiental, e em nossa matriz energética grande parte da geração de energia é de fontes renováveis, consideradas limpas.

Ainda há grande resistência sobre a compra de veículos elétricos, já que eles tendem a ser mais caros que os veículos convencionais e possuem menor autonomia. Por esse



motivo, o governo brasileiro vem criando alguns programas de incentivos voltados aos veículos elétricos.

Por exemplo, em sete estados brasileiros (Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe), os veículos movidos a motor elétrico são isentos de IPVA, em outros três (Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, São Paulo) possuem a alíquota do IPVA diferenciada.

Um dos maiores problemas e também um grande desafio tecnológico a superar relacionados ao veículo elétrico é a sua bateria, pois é ela que determina a autonomia do veículo, além de ter grande influência sob seu preço e seu tempo de recarga.

Ainda não se pode considerar que o Brasil está pronto para receber o veículo elétrico. Já se possui alguns postos elétricos, mas mesmo assim sua infraestrutura ainda não está preparada, é preciso começar a desenvolver produtos e tecnologias para esse novo mercado e também realizar estudos para regulamentações e para a rede de distribuição, que provavelmente sofrerá algumas alterações.

Não somente o governo, mas empresas e grandes centros comerciais também já devem ficar atentos para isso, pois devem adequar suas instalações para que se torne possível qualquer pessoa, no caso das empresas, os funcionários, recarregarem seus veículos enquanto trabalham. Talvez até mesmo os consumidores residenciais podem começar a pensar em colocar tomadas nas garagens de suas casas.

Pode ser observado na tabela 2, as estimativas de vendas de carros elétricos no Brasil, de acordo com os dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE).

Essa tabela apresenta dados tanto para veículos elétricos (VE), como também para veículos híbridos puros (VEH) ou com baterias que possam ser carregadas da rede externa (VEP e VEB).

**Tabela 2** – Estimativa de vendas de Carros Elétricos  
Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Veículos Elétricos

| ANO  | TOTAL | VE   | VEH  | VEP/B |
|------|-------|------|------|-------|
| 2010 | 2,80  | -    | -    | -     |
| 2015 | 3,60  | 0,14 | 0,10 | 0,04  |
| 2020 | 4,20  | 1,03 | 0,73 | 0,30  |
| 2025 | 4,90  | 2,70 | 1,39 | 1,31  |
| 2030 | 5,60  | 4,12 | 1,65 | 2,47  |

Mesmo considerando a enorme quantidade de investimentos voltados para o mercado de veículos elétricos, devemos considerar o fato de que para uma frota grande de carros elétricos, seria necessário gerar uma considerável quantidade de energia a mais, para suprir essa enorme demanda. Diante dessa situação, uma rede de distribuição de energia mais inteligente seria uma possível solução, ou pelo menos reduziria muitos problemas relacionados aos veículos elétricos, pois dessa maneira, se tornaria possível que suas baterias não fossem apenas simples consumidores, mas também poderia fazer com que elas se tornassem fornecedores de energia para a rede elétrica, que é o objetivo deste trabalho demonstrar. Como um carro fica em média mais de 20 horas do dia estacionado, ele poderia funcionar como armazenador de energia e nos momentos de pico, poderia se tornar fonte de energia, conectado a um ponto da rede fornecendo energia para o sistema. Isso ainda poderia contribuir mais do que outras fontes de energia alternativa, como eólica e solar, que dependem de condições do meio ambiente para gerar energia.

### 2.3.3. Veículo Híbrido

Provavelmente muitas pessoas já tiveram um **carro híbrido** algum dia. Por exemplo, uma **bicicleta motorizada** é um tipo de híbrido, porque combina a potência de um **motor** a gasolina com a força das pedaladas de seu condutor. Na verdade, veículos híbridos estão por todos os lados. A maior parte das locomotivas que vemos puxando trens são **híbridos a diesel e a eletricidade**. Cidades como Seattle têm **ônibus** a diesel e elétricos - esses veículos podem extrair a energia elétrica de cabos suspensos ou operar com óleo diesel quando estão longe dos cabos. Aqueles **caminhões de mineração** enormes geralmente são híbridos a diesel e eletricidade. **Submarinos** também são veículos híbridos - alguns são **nuclear-elétricos** e outros são movidos **a diesel e eletricidade**. Qualquer veículo que combine duas ou mais fontes de energia que possa proporcionar potência de propulsão, direta ou indiretamente, é um híbrido.

Com a constante preocupação com o meio ambiente e a busca incessante por novas tecnologias visando a geração de energia sustentável, foram criados os carros híbridos. O automóvel híbrido é um veículo que pode funcionar tanto a combustão, seja álcool, gasolina ou diesel como através de energia elétrica alimentado por baterias adicionais, sendo equipado com dois motores interligados entre si. Atualmente a maioria dos veículos híbridos utiliza gasolina no motor a combustão.

O funcionamento desse carro é através de um motor elétrico acoplado a um propulsor movido à gasolina. Em um veículo desses a aceleração é interpretada por um computador. Ao receber essa informação ele define se vai ser necessária mais força, que será solicitada ao motor a gasolina ou então menos força, que será solicitada ao motor elétrico. A eficiência do carro híbrido está em fazer uma combinação entre os dois motores e obter uma grande economia de combustível, paralelamente a esta economia tem-se como resultado a redução de forma significativa da emissão de poluentes.

Com o aprimoramento das novas tecnologias oriundo da corrida dos fabricantes de automóveis para soluções ambientas, os novos modelos conseguem aproveitar o próprio movimento para gerar energia e carregar uma bateria. Outra combinação de híbridos utiliza o motor a gasolina apenas para colocar o veículo em movimento, e após ganhar certa velocidade o motor elétrico assume e mantém a velocidade.

### **2.3.3.1. Os Componentes de um Carro Híbrido**

Automóveis híbridos tracionados por motor a gasolina e também a eletricidade são equipados com os seguintes componentes:

Motor a gasolina - O carro híbrido tem um motor à combustão muito parecido com aqueles que equipam os automóveis tradicionais. Porém, o motor de um híbrido é menor e utiliza novas tecnologias para aumentar sua eficiência, principalmente em relação à autonomia. Em consequência, esses veículos também reduzem a emissão de poluentes na atmosfera.

Motor elétrico: Esse dispositivo em um carro híbrido é extremamente sofisticado. A tecnologia eletrônica é avançada e permite inúmeras funções para aproveitar o movimento do carro, seja nas arrancadas, como nas freadas. Além disso a atuação do motor elétrico pode ser como o propulsor principal, ou então como um carregador das baterias.

Transmissão: A função da transmissão é a mesma de um carro normal, ou seja, serve para transmitir o movimento gerado pelo motor as rodas e assim colocar o automóvel em movimento.

Gerador: Usado principalmente em híbridos em série, seu funcionamento é similar a um motor elétrico, mas sua finalidade é exclusiva para a produção de energia elétrica.

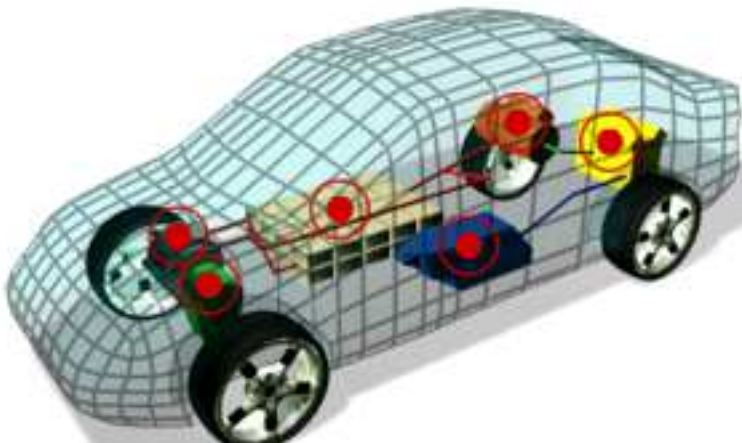
Baterias: São os dispositivos de armazenamento de energia para movimentar o motor elétrico. Conforme a composição, a bateria pode reservar energia gerada pelo próprio propulsor elétrico em um momento e em outro alimentá-lo.

Tanque de combustível: é o reservatório do combustível normal, na maioria dos carros, gasolina.

### 2.3.3.2. Os Tipos de Veículos Híbridos

De acordo com o princípio de funcionamento, os carros híbridos podem ser classificados em três tipos:

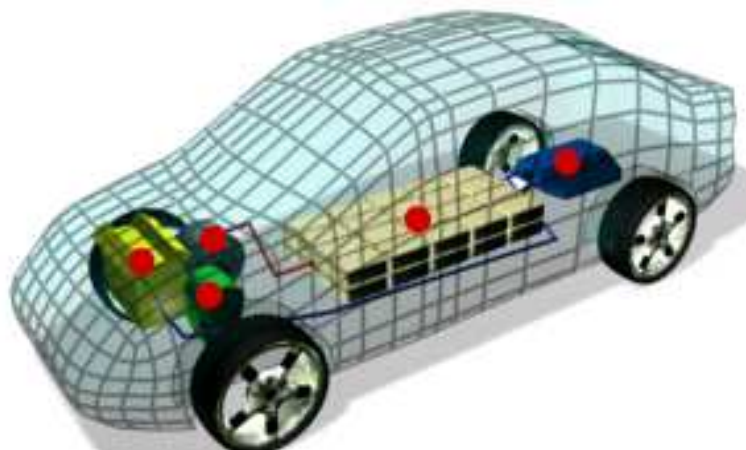
Híbrido em série: O motor a combustão interna não tem nenhuma conexão mecânica com as rodas, sua finalidade é apenas para gerar eletricidade. Seu funcionamento é otimizado e só é acionado para recarregar a bateria. Toda a tração do automóvel é sempre originada pelo motor elétrico.



**Figura 7** – Motor híbrido em série  
Fonte: [www.uol.com.br](http://www.uol.com.br)

Híbrido em paralelo: Os dois motores, tanto o elétrico quanto a combustão são utilizados para gerar força. Em uma configuração comum, o motor de combustão interna fornece a tração como em um veículo de combustão interna, mas tem disponível a potência

suplementar suprida por um banco de baterias e um gerador elétrico além da frenagem regenerativa. Na configuração paralela, o veículo não precisa de um gerador dedicado, pois o próprio motor elétrico é usado como gerador para recarregar as baterias.



**Figura 8** – Motor híbrido em paralelo  
Fonte: [www.uol.com.br](http://www.uol.com.br)

Híbrido combinado: Os dois motores podem tracionar o veículo, seja a combinação que for. Sua composição é semelhante a um híbrido de série, porém a conexão mecânica das rodas está ligada aos dois propulsores.



**Figura 9** – Motor híbrido combinado  
Fonte: [www.uol.com.br](http://www.uol.com.br)

Também existe outra forma de classificar os híbridos que varia de acordo com as funcionalidades de cada propulsor na otimização de funcionamento:

Micro-híbrido: ao parar no trânsito, como por exemplo, em um farol, o motor a combustão se desliga. Quando o motorista acelera para retomar velocidade, um alternador reversível, que utiliza energia armazenada, aciona novamente o motor a gasolina que vai tracionar o veículo o tempo todo.

Semi-híbrido: o motor elétrico é utilizado como um assistente para o motor principal, a combustão. Ele gera energia nas freadas, mas não funciona sozinho, ou seja, toda a tração é feita pelo propulsor a combustão, o elétrico apenas complementa.

Híbrido puro: este carro pode trafegar movido apenas pelo motor elétrico e manter o motor a combustão totalmente desligado. A mudança para o motor à combustão pode ocorrer de forma automática ou mesmo voluntária. A bateria deste tipo de motor é unicamente carregada pelo motor à combustão, ou em alguns casos, pela energia regenerativa da frenagem.

Híbrido recarregável: também conhecidos como híbrido plugin, são os veículos equipados com baterias que podem ser carregadas na tomada de energia elétrica comum. A autonomia varia entre 60 e 100km, mas nesse percurso o sistema elétrico opera sozinho, sem necessidade de acionar o propulsor a combustão. No momento em que opera exclusivamente no modo elétrico as emissões de poluentes são nulas. Quando o limite de carga mínimo é atingido o motor de combustão interna é ligado e o veículo passa a funcionar como um híbrido normal.

Híbrido estendido: seu funcionamento é similar ao recarregável, porém é um híbrido de série, que ativa o motor a combustão para carregar a bateria adicional. O funcionamento do motor a combustão ocorre em regime constante para aumentar a autonomia.

#### **2.3.4. Exemplo de recuperação de energia e utilização no veículo**

Atualmente uma das aplicações do sistema de recuperação de energia é o sistema KERS da Fórmula 1. A sigla significa, traduzida, Sistema de Recuperação de Energia Cinética, ou seja, trata-se de uma tecnologia que capta a energia que seria desperdiçada no

momento da desaceleração do carro e, em seguida, a reutiliza para aumentar a potência do veículo.

Um dos fabricantes de KERS é a Flybrid, que desenvolveu um sistema baseado num volante acoplado por embreagem a um câmbio CVT, ligado ao câmbio do carro. O volante, feito de aço e fibra de carbono, gira a mais de 60.000 rpm no vácuo, graças a uma câmara selada, para diminuir o atrito. O equipamento completo pesa 24 kg e é capaz de gerar até 60 kW (pouco mais de 81,5 cv). É o controle da relação das polias do câmbio CVT que define quando o sistema armazena ou libera energia. Na desaceleração, o movimento é dirigido ao volante, que acumula energia. A tecnologia da Flybrid não é exatamente nova. A própria empresa explica que alguns veículos híbridos, como ônibus, e até protótipos de carros, já empregaram algo semelhante. A Flybrid conseguiu melhorar o sistema, pois utiliza um volante muito leve, que compensa a falta de massa com a altíssima rotação. Segundo a Flybrid, foi possível também uma redução significativa do efeito giroscópico.

O sistema desenvolvido pela Williams também usa um volante, mas ele é acionado eletricamente, e não há um câmbio CVT. No KERS da Williams o volante, também mantido em compartimento com vácuo, é produzido em fibra de carbono, com rolamentos de cerâmica e eixo de aço, e ultrapassa 100.000 rpm. No volante do sistema da Williams partículas magnéticas são incorporadas ao material do volante, e um inversor permite o fluxo no sentido contrário - quando o piloto aperta o botão de acionamento do KERS, o volante funciona como um gerador, enviando corrente ao motor elétrico auxiliar.

As vantagens deste sistema na Fórmula 1 é que ele possibilita o aumento da potência do veículo durante a aceleração, porém a sua utilização é controlada já que o KERS pode ser acionado durante 6 segundos a cada volta. E essa potência é realmente extra, porque não há peso adicional no carro nem consumo de combustível. Os 81,5 cv despejados pelo KERS representam 10% a mais de potência.

Porém, como todo sistema há desvantagens na sua utilização. Apesar de pequeno, o KERS ocupa espaço e também é pesado, embora o seu peso não seja o real problema, a sua localização no veículo pode afetar o desempenho dos carros. O regulamento da F-1 estabelece um peso mínimo para o carro, medido com o piloto a bordo. O conjunto é mais leve que o peso mínimo aceito, e as equipes recorrem a lastros, pequenos pesos, para chegar ao número permitido. Esses lastros podem ser distribuídos livremente - e são posicionados de forma a melhorar a estabilidade do carro. O KERS elimina ou diminui a possibilidade de uso de lastros. O equipamento da Flybrid, por exemplo, tem 24 kg. A Williams não declara o peso,

mas diz que seu KERS produz 5 kW por kg. Sabe-se que o equipamento gera 60kW, portanto fazendo a regra de três, o equipamento deve ter 12 kg.

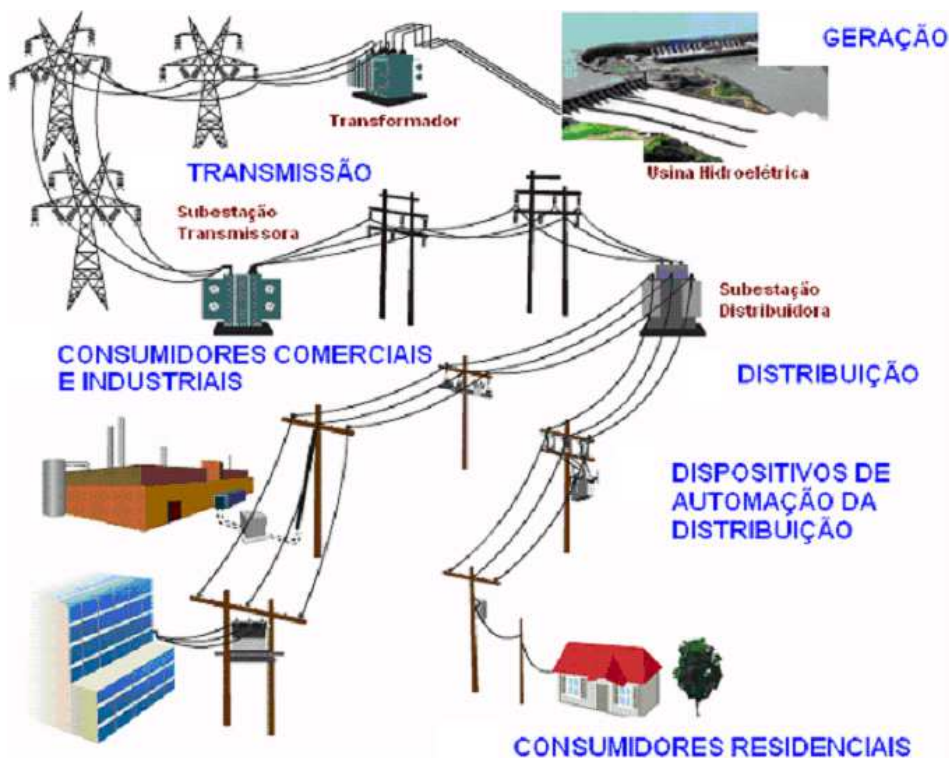
## **2.4. Rede de Distribuição de Energia**

As usinas de energia elétrica são, geralmente, construídas longe dos centros consumidores (cidades e indústrias) e é por isso que a eletricidade produzida pelos geradores tem de viajar por longas distâncias, em um complexo sistema de transmissão. Ao sair dos geradores, a eletricidade começa a ser transportada através de cabos aéreos, revestidos por camadas isolantes e fixados em grandes torres de metal. Chamamos esse conjunto de cabos e torres de rede de transmissão. Outros elementos importantes das redes de transmissão são os isolantes de vidro ou porcelana, que sustentam os cabos e impedem descargas elétricas durante o trajeto. No caminho, a eletricidade passa por diversas subestações, onde aparelhos transformadores aumentam ou diminuem seu nível de tensão, alterando o que chamamos de tensão elétrica. No início do percurso, os transformadores elevam a tensão, evitando a perda excessiva de energia. Quando a eletricidade chega perto dos centros de consumo, as subestações diminuem a tensão elétrica, para que ela possa chegar às residências, empresas e indústrias. A partir daí, os cabos prosseguem por via aérea ou subterrânea, formando as redes de distribuição. Depois de percorrer o longo caminho entre as usinas e os centros consumidores nas redes de transmissão, a energia elétrica chega a subestações que abaixam a sua tensão, para que possa ser iniciado o processo de distribuição. Entretanto, apesar de mais baixa, a tensão ainda não é adequada para o consumo imediato e, por isso, transformadores menores são instalados nos postes de rua. Eles reduzem ainda mais a tensão da energia que vai diretamente para as residências, o comércio, as empresas e indústrias. É possível observar de maneira clara a ilustração desta rede na figura 11.

As empresas responsáveis pela distribuição também instalam em cada local de consumo um pequeno aparelho que consegue medir a quantidade de energia por eles utilizada. A medição é feita por hora e chamamos de horário de pico o momento em que uma localidade utiliza maior quantidade de energia elétrica. Nos centros urbanos, o horário de pico se dá por volta das 18 horas, quando escurece e, normalmente, as pessoas chegam do trabalho acendendo as luzes, ligando os condicionadores de ar e a televisão e tomando banho com a água aquecida por chuveiros elétricos. Podemos observar que o consumo de eletricidade varia



de acordo com a estação do ano e com a região do país, dependendo do nível de luminosidade e do clima, entre outros fatores. [13]



**Figura 10** – Ilustração do esquema de energia atual  
Fonte: <http://www.redeinteligente.com>

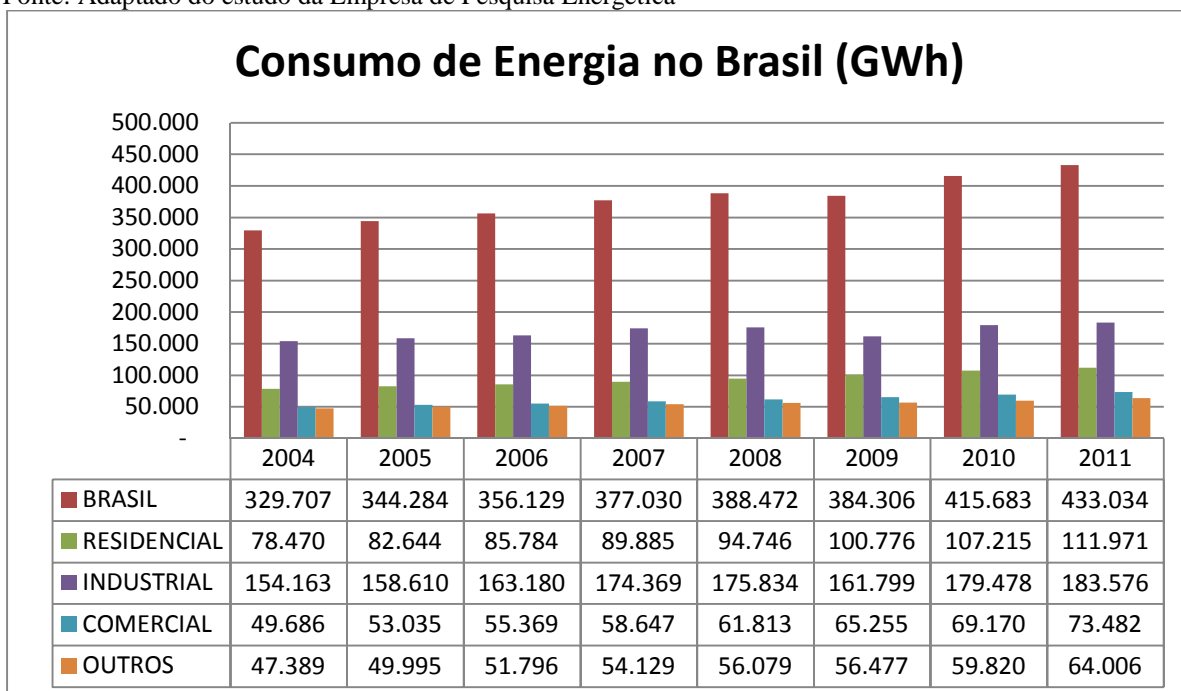
O sistema de transmissão brasileiro, considerado o maior do mundo, é controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que conta com a participação de empresas de todo o país, trabalhando de forma interligada. A Eletrobrás possui mais da metade das linhas de transmissão do Brasil e tem participado ativamente da expansão do **Sistema Interligado Nacional (SIN)**. O SIN, formado basicamente por empresas de geração e transmissão do país, permite o intercâmbio de energia elétrica entre as diversas regiões brasileiras. Isso significa que a eletricidade que chega até a sua casa pode ter viajado centenas ou milhares de quilômetros em linhas de transmissão. Além disso, pode ter sido gerada por diferentes usinas ao longo do ano. Apesar de o SIN abastecer a maior parte do país, alguns sistemas menores e isolados também são utilizados, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Os **sistemas isolados** geram a energia que vai ser consumida apenas em uma determinada localidade ou até mesmo por uma só indústria.

O modelo do sistema de potência atual é um modelo unidirecional, que se inicia na geração, passa pela transmissão e pela distribuição, até chegar ao consumidor de energia

elétrica. Esse modelo pode ser considerado antigo, já que desde que Thomas Edson fundou a Electric Light Company em Nova York, em 1879, não houve uma evolução considerável. Caso ocorra uma interrupção na transmissão, a distribuição perde o fluxo de energia, fazendo com que toda a carga conectada a essa rede se desligue, e por mais que usinas novas sejam construídas, esta interrupção é inevitável à ocorrência de um blecaute.

É possível observar na tabela 3 o consumo de energia elétrica total no Brasil, subdividido entre o consumo residencial, o consumo industrial e o consumo comercial. [18]

**Tabela 3** – Ilustração do consumo anual de energia no Brasil  
 Fonte: Adaptado do estudo da Empresa de Pesquisa Energética

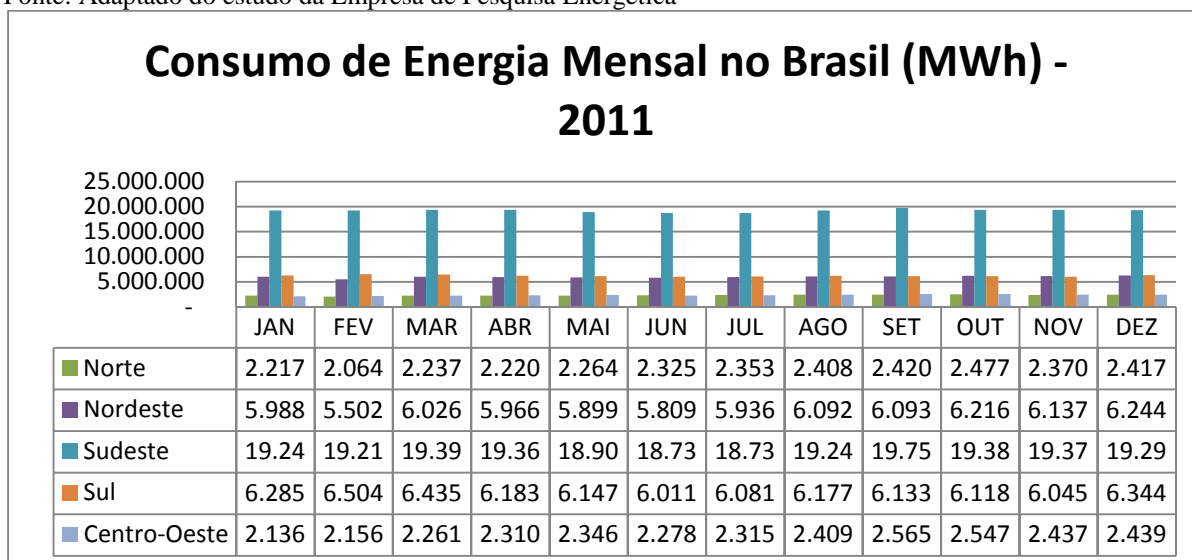


A demanda de energia elétrica no Brasil deverá crescer a uma taxa média de 4,8% ao ano, segundo um estudo do centro de pesquisas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), saindo do consumo atual de 456,5 mil GWh em 2010 para 730,1 mil GWh em 2020. Este levantamento considera um crescimento de 5% da economia anual até o fim da década. Além disso, a EPE afirma que os ganhos com eficiência energética serão equivalentes à geração de uma usina de Belo Monte. As projeções indicam que uma parcela importante da demanda de energia elétrica do país será atendida por autoprodução que crescerá a uma média de 6,6% ao ano, o que significa que atingirá 71 mil GWh em 2020 – o equivalente a 10% do consumo total de energia elétrica deste ano. O acréscimo da autoprodução, no período dos próximos 10 anos, será de aproximadamente 34 mil GWh. Já o consumo industrial aumentará a taxa de 4,8% ao ano, chegando a 354,7 mil GWh em 2020.

O consumo médio por consumidor residencial passará de 154kWh/mês, em 2010 para 191kWh/mês em 2020. O máximo histórico de 180 kWh/mês alcançado antes do racionamento em 2001 será ultrapassado por volta de 2017. A previsão de demanda para os próximos anos incorpora os ganhos de energia elétrica resultantes da redução de consumo de eletricidade, em 2020, de 33,9 mil GWh. Esses ganhos são resultado do trabalho de reeducação e utilização consciente dos recursos naturais. [18]

**Tabela 4** – Consumo mensal de energia por regiões do Brasil

Fonte: Adaptado do estudo da Empresa de Pesquisa Energética

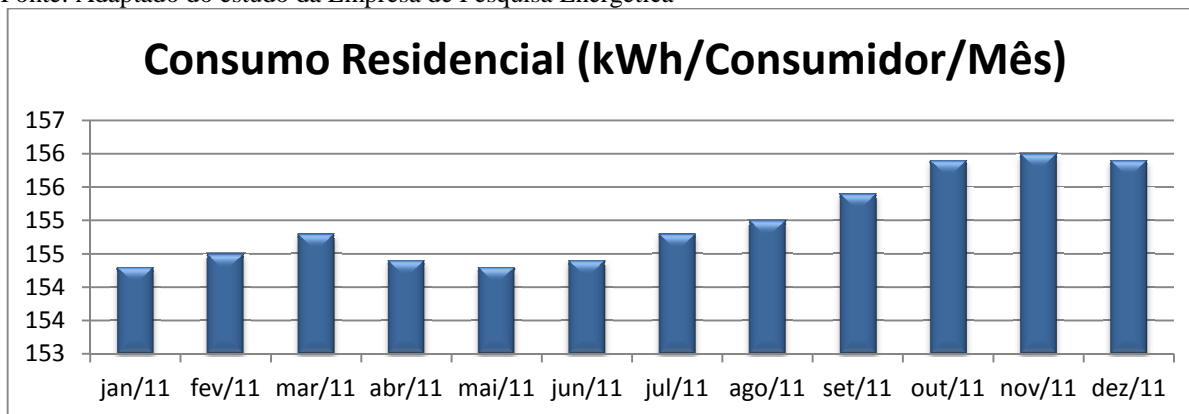


Podemos observar no gráfico que a região que possui o maior consumo de energia do país é a região Sudeste. Esse fato deve-se a grande concentração industrial e populacional nesta região, que é considerada o grande centro de desenvolvimento do país.

Analisando o setor residencial, pode-se observar que o consumo residencial médio (CRM) reduziu o seu ritmo de crescimento ao longo de 2011, conforme tabela 5. Esta análise é feita com base na evolução do consumo residencial total e do número de consumidores residenciais. A redução do CRM é consequente do menor número de novas ligações e também do consumo residencial total. Em 2011 registrou-se 1,9 milhões de novas ligações e o consumo residencial expandiu 4.883 GWh em 2011. [18]

**Tabela 5** – Consumo médio residencial mensal de energia

Fonte: Adaptado do estudo da Empresa de Pesquisa Energética



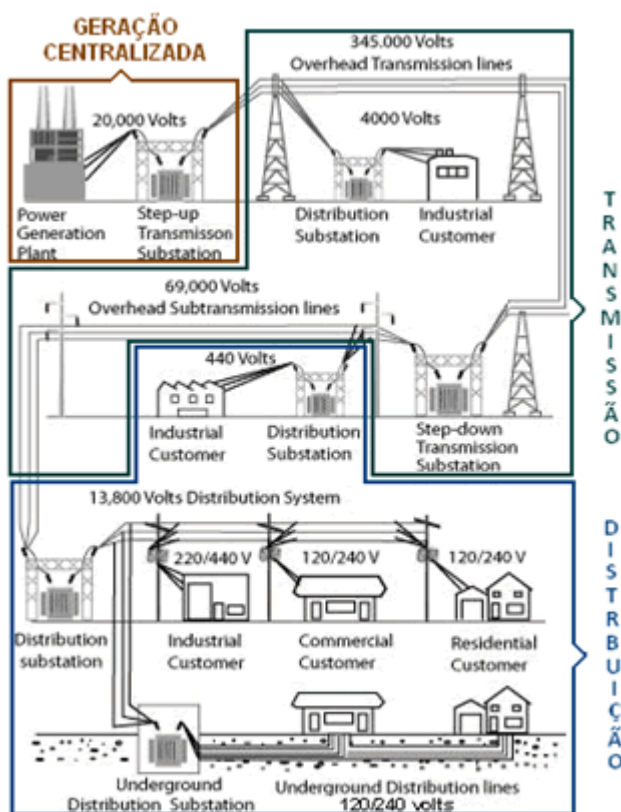
A quantidade de equipamentos elétricos e eletrônicos nas residências e sua utilização são fatores determinantes no que se refere ao consumo de eletricidade. Porém, nota-se que apesar do aumento da posse destes equipamentos houve uma diminuição na taxa de crescimento do consumo médio residencial. Portanto, fica claro que nem todos os equipamentos adquiridos significam o aumento de posse, mas parte destes é para substituição de modelos antigos, não funcionais, ou menos eficientes, e esta substituição dos modelos antigos por equipamentos mais eficientes diminuiu o crescimento do CRM ao longo de 2011. [18]

#### **2.4.1. O Sistema Elétrico de Potência Atual (SEP)**

Dentre as entidades lógicas que compõe o Sistema Elétrico de Potência (SEP), demonstrado na figura 10, tem-se a Geração Centralizada, onde se encontram as usinas hidroelétricas, termoelétricas e nucleares, com o maior grau de automação, temos também a Transmissão com sistemas de supervisão e de contingência avançados, como por exemplo o Sistema Interligado Nacional (SIN) gerido pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), e finalmente a distribuição, sem automação ou com automação incipiente. Esse cenário ocorre tanto em países em desenvolvimento, onde se encaixa o Brasil, quanto em países desenvolvidos, como os EUA. [8]

A geração centralizada localiza-se em regiões distantes e necessita de sistemas de transmissão para o transporte de energia elétrica (EE) aos centros consumidores. O sistema de transmissão é tipicamente composto de redes de transmissão (EAT: 230 a 750 kV), subestações de transmissão e de redes de subtransmissão (AT: 69/138 kV), estas últimas

implementadas em razão do nível de desagregação do mercado consumidor. O sistema de distribuição, por sua vez, é formado pelas subestações de distribuição e pelas redes de distribuição, compondo duas sub-redes: a rede de alimentação primária (MT: 11,9/13,8/23/34,5 kV), implementada com circuitos alimentadores e a rede de alimentação secundária (BT: 110/127/220/380/440 V), implementada a 4 condutores em áreas urbanas, com Unidades Consumidoras (UCs), que podem ser residenciais, comerciais ou industriais, conectadas tipicamente com um condutor fase e o condutor neutro (padrão monofásico) ou com três condutores fase e o condutor neutro (padrão trifásico).



**Figura 11** – Sistema Elétrico de Potência (SEP)  
 Fonte: <http://smartgridnews.com.br>

As subestações de distribuição constituem pontos de operação do SEP onde a energia é transformada (rebaixada, por exemplo a 13,8 kV), controlada (seu nível de tensão e fator de potência) e distribuída (encaminhada às UCs) através de redes de distribuição de EE aéreas ou subterrâneas, constituídas por cabos elétricos e acessórios, postes ou dutos subterrâneos, transformadores rebaixadores finais e outros equipamentos de linha. As redes aéreas, geralmente com cabos nus, são mais frequentes no Brasil, enquanto as subterrâneas (ou Redes de Distribuição de EE Subterrâneas: RDS), que são mais seguras e confiáveis (melhores DEC e FEC, em especial este último), encontram-se implantadas principalmente

em localidades com alta densidade de carga (kVA/km<sup>2</sup>), como as regiões centrais de grandes cidades. A tendência é a substituição de redes aéreas por subterrâneas, sendo o custo de investimento inicial sua principal restrição, bem como a dificuldade de manutenção.

Nas concessionárias de energia elétrica, o gerenciamento e a operação de distribuição de EE são conduzidos em instalações denominadas Centro de Operação da Distribuição (COD), concentrando a operação das subestações de Distribuição e da rede de cabos elétricos de distribuição de uma região, de modo a garantir o suprimento de EE às UCs com certo nível de confiabilidade. As subestações de Distribuição devem realizar ações e comandos (manobras em equipamentos a critério do operador/sistema) coordenados a partir de programas e filosofias de operação. [8]

## **2.5. Redes Inteligentes - Smart Grid**

O surgimento da eletricidade foi uma das maiores invenções do homem. A partir desta invenção foi possível produzir mais, viver melhor e inventar mais coisas. A internet, por exemplo, tem tudo a ver com eletricidade, pois assim como a energia recebida em casa a internet também chega por meio de redes de transmissão. A cada dia mais equipamentos elétricos chegam às residências de milhares de pessoas em todo o mundo, e não é preciso pensar muito para saber que caminha-se para um colapso energético. A maneira como a distribuição de energia é feita atualmente não atenderá em um futuro muito próximo a demanda, dependemos muito de uma única fonte geradora e, caso ela falhe, toda rede fica sem abastecimento, como aconteceu em 1999 quando 75 milhões de brasileiros ficaram sem energia elétrica durante quatro horas. Além disso, a necessidade de diminuir ou consumir com mais inteligência os recursos do planeta está causando movimentação em diversos países – inclusive nos EUA, um dos maiores consumidores de energia do mundo.

As redes inteligentes apresentam soluções para estes problemas. Há uma proposta mundial de criação de uma rede de energia inteligente, também conhecida como Smart Grid. Várias empresas conceituadas, do mundo todo, estão explorando este novo mercado. Estão sendo organizados diversos seminários pelo mundo a fim de difundir e disseminar a ideia da rede inteligente ao longo dos últimos anos, visando concretizar este projeto. A lógica da Smart Grid está em uma palavra: inteligência. Isto significa que as novas redes serão automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia em tempo

real, ou seja, a sua casa vai conversar com a empresa geradora de energia e, em um futuro próximo, até fornecer eletricidade para ela. A inteligência também será aplicada no combate à ineficiência energética, isto é, a perda de energia ao longo da transmissão.

Smart Grid significa informatizar a rede de energia elétrica. A Smart Grid adiciona duas vias de tecnologia de comunicação digital para dispositivos associados à grade, e cada dispositivo da rede pode trabalhar como sensor para coletar dados (medidores de energia, sensores de tensão, detectores de falhas, etc.). Além disso, a Smart Grid adiciona também duas vias de comunicação digital entre o dispositivo no campo e o utilitário da rede em centros de operações. Uma característica fundamental da rede inteligente é a tecnologia de automação que permite que o utilitário ajuste e controle cada dispositivo individual ou milhões de dispositivos a partir de uma localização central.

O número de aplicativos que podem ser utilizados na rede inteligente é grande, uma vez que a tecnologia de comunicação de dados está crescendo tão rapidamente quanto as empresas criativas podem criar e produzir. Os benefícios incluem maior segurança durante a transmissão, manipulação de fontes de eletricidade como energia eólica e solar e até mesmo integração de veículos elétricos ou híbridos na rede.

Com a aplicação das tecnologias digitais espera-se também, além das vantagens acima citadas, melhorar consideravelmente a confiabilidade no sistema, a segurança, a interoperabilidade e a eficiência energética da rede, bem como reduzir os impactos causados no meio ambiente e colaborar de maneira sustentável para o crescimento e fortalecimento da economia no país.

Algumas das principais características das Smarts Grids são:

Permite a participação do consumidor – os consumidores passam a integrar o sistema de distribuição de rede elétrica na medida em que possuem as informações necessárias para tomar decisões sobre como e quando utilizar certas fontes de energia.

Comporta todo o tipo de gerador e armazenador de energia – Smarts Grids permitem não só as tradicionais formas de distribuição de energia (centralizadas e de larga escala), mas também as novas formas de distribuição de energia que estão surgindo (distribuídos, de pequena escala, e em grande parte utilizando energias renováveis).

Permite novos produtos e serviços – com os gastos apresentados de forma explícita ao consumidor, permite e incentiva a competição de serviços.

Provê alta qualidade de serviço – cada casa, apartamento, prédio, ou qualquer outra construção utiliza certa quantidade de energia. Alguns usam muito mais do que outros. Assim como em alguns horários há um pico maior do uso da energia e em outros a energia utilizada

é muito menor. A Smart Grid permite tomar conhecimento dessas informações e, assim, prover a quantidade de energia necessária para cada local e horário. [8]

Otimiza e torna eficiente a utilização de energia – com a capacidade de prover a energia necessária para cada local e horário, evita o desperdício de energia e cede mais energia quando necessário, otimizando a distribuição de energia. No modelo padrão os geradores de energia trabalham com um faixa de segurança para momentos de pico, no entanto na maior parte do tempo apenas 5% da energia armazenada é de fato utilizada, o que causa um grande desperdício.

Detecção automática e recuperação de falhas – controla a distribuição de energia, podendo perceber em tempo real que uma falha está para ocorrer ou acabou de ocorrer. Reconhece a falha e sabe como solucionar alguns tipos de falha de forma automática. Atualmente, os técnicos devem ir para o local onde o problema ocorreu e analisar qual foi o ponto de falha, com o controle esse serviço se torna muito mais rápido, pois já se sabe onde deve ser feita a manutenção e qual é o problema. [8]

As principais funções requeridas em uma rede inteligente são:

- Auto-recuperação;
- Motivar consumidores a serem mais participativos;
- Resistir a ataques físicos e cibernéticos;
- Fornecer uma energia de melhor qualidade;
- Permitir vários tipos de geração e armazenagem de energia;
- Maior envolvimento do mercado;
- Permitir uma maior utilização de geração intermitente de energia.

Para a implementação das Smart Grids é preciso avaliar e melhorar diversas áreas da distribuição de energia visando à efetividade do projeto, entre as quais devem ser priorizadas:

A **rede de comunicação**, o desempenho de seus componentes e o estudo com relação ao seu alcance geográfico, a fim de aperfeiçoar a gestão dos elementos da rede de energia elétrica, para que possam ser realizadas ações de prevenção ou resposta diante dos problemas que podem surgir.

A **infraestrutura de medição avançada**, pois será através desta infraestrutura que será realizada a troca de informações entre os consumidores e as concessionárias de



energia e o gerenciamento dos dados. Também deve-se considerar que a rede deve estar preparada para se integrar aos veículos elétricos. Essas duas áreas provavelmente serão as chaves para o processo, através da qual todo o sistema será interligado. [17]

O **gerenciamento da rede de distribuição de energia**, pois será possível aperfeiçoar o desempenho dos componentes da rede, como transformadores, chaves, entre outros, além de poder realizar uma integração com os sistemas de transmissão e também com a geração. Isso aumentará a confiabilidade da rede, reduzindo bastante a ocorrência de falhas.

A **segurança da rede**, pois serão transmitidos dados muito importantes através da rede, portanto é extremamente necessário garantir a integridade, confiabilidade e disponibilidade de todas as informações do sistema, as quais serão necessárias para gerenciamento, operação e proteção dos elementos do Smart Grid.

O **transporte elétrico**, pois através dele aumentaria a possibilidade da utilização de fontes de energia alternativa, ocasionando a redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa. Como vimos no tópico “Veículo Elétrico”, a estimativa com relação ao crescimento da utilização do veículo elétrico no Brasil não é pequena, portanto é preciso que o país já esteja preparado para integrá-los ao Smart Grid.

A **eficiência energética**, pois a qualidade da energia também deve ser um fator importante a se considerar. Essa qualidade poderia ser monitorada por sensores de qualidade de energia espalhados pela rede.

O **incentivo ao consumidor**, com o objetivo de reduzir o consumo de energia nos horários de pico, além do que, é necessário apresentar aos consumidores a viabilidade em se utilizar os medidores inteligentes. Quando se analisa a situação do Brasil, esse seria um ponto essencial e bastante complicado, considerando a enorme quantidade de perdas decorrentes de falhas na transmissão, furtos de energia e desperdícios em geral.

O **armazenamento de energia**, visando aproveitar melhor toda energia que é gerada, seja através das usinas hidroelétricas, de painéis fotovoltaicos, ou até mesmo de micro geradores, e também iniciar o armazenamento das energias que hoje são geradas e não são utilizadas, como por exemplo, a energia potencial de um veículo com capacidade de regenerar energia. [17]

### 2.5.1. Arquitetura da Rede Smart Grid

É uma rede bidirecional que permite a utilização de todos os recursos energéticos disponíveis, analisando-se as informações relativas ao trânsito de energia na rede permite também a gestão da rede em tempo real, potencializando a otimização dos fluxos de energia.

O Smart Grid é uma tecnologia que relaciona vários sistemas, portanto é de extrema importância um modelo de arquitetura. Para melhor eficiência do sistema, as arquiteturas podem ser desenvolvidas independentes, porém devem funcionar de forma integrada. Essas arquiteturas devem estar preparadas para suportar várias opções tecnológicas, considerando as tecnologias já desenvolvidas ou em desenvolvimento, e também as que ainda serão desenvolvidas, facilitando a realização de interfaces entre essas tecnologias, de modo a evitar ao máximo os investimentos adicionais e customizações.

A arquitetura de um modelo conceitual de smart grid consiste em interligar a rede de energia de forma a permitir que não só a geração, mas também o usuário sejam capazes de transmitir energia. Um sistema de geração próximo aos grandes centros de utilização, ou até mesmo energia sendo gerada pelo consumidor simplificaria o processo de geração e transmissão de energia, e temos diversas formas de energia limpa, como exemplo a eólica e a solar. A proposta não é um sistema substituir o outro, mas sim complementar.

As grandes usinas são responsáveis pela produção da grande quantidade de energia elétrica, gerada a partir de fontes renováveis e não renováveis. Como fontes renováveis pode-se citar as energias solar, eólica e biomassa. Como fontes não renováveis, podemos citar as energias nuclear e a gás.

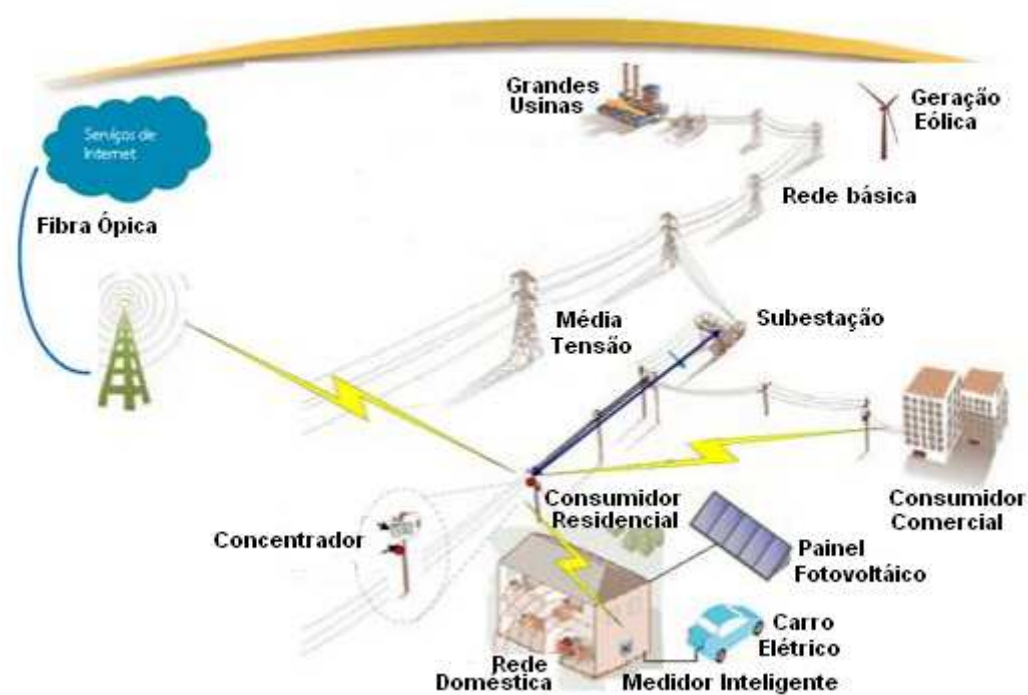
A energia elétrica é transmitida através de grandes linhas de transmissão, que conectam o gerador com os centros onde a energia será distribuída, as chamadas subestações. As subestações são responsáveis por conectar os relógios de medição e outros dispositivos inteligentes aos consumidores e ao resto da rede. Os dispositivos inteligentes serão gerenciados e controlados através das subestações. [17]

O consumidor residencial é o local onde a rede se comunica diretamente com o usuário final (casas, apartamentos, edifícios comerciais) através dos relógios de medição inteligente. O relógio inteligente é responsável por prover informações sobre o fluxo de energia utilizada e permite ao usuário que possa controlar o consumo de energia da forma que achar mais adequada. Ele também informa ao consumidor o preço da eletricidade, que varia

durante o dia. Com essa informação, o consumidor pode se planejar para usar certos dispositivos em um determinado horário. Por exemplo, ele pode escolher usar a máquina de lavar no horário mais barato. Dessa forma, o preço final da conta fica mais barato. Com o sistema atual, o consumidor não possui essa informação de forma clara e de fácil acesso.

O consumidor final terá a possibilidade de incluir na rede inteligente fontes de energia, como o veículo híbrido plugin e os painéis fotovoltaicos. Com isso, além de suprir a demanda do consumidor, o excedente poderá ser ofertado ao sistema, criando um novo agente comercializador de energia.

Abaixo é possível observar a ilustração da topologia da rede conceitual de smart grid, a qual representa uma topologia do tipo malha onde todos os dispositivos da rede podem se comunicar entre si. [17]



**Figura 12** – Topologia da rede conceitual de Smart Grid do Sistema Elétrico de Potência (SEP)  
Fonte: Ministério de Minas e Energia

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta a Automação da Distribuição de Energia Elétrica sob a ótica da Rede Elétrica Inteligente (Smart Grid), e como esta tecnologia poderá auxiliar os processos envolvidos, assim como viabilizar novas aplicações, focando na utilização da energia renovável dos veículos elétricos ou híbridos plugin, que será armazenada na bateria para posterior utilização, de modo a reduzir os impactos atuais na rede elétrica devido à alta demanda nos picos de utilização, bem como reduzir os impactos ambientais provenientes da geração de gases poluentes dos motores a combustão.

Especialistas discutem a fragilidade da infraestrutura da rede de energia elétrica, e o custo que as interrupções na rede representam, não só para as concessionárias, mas para toda a economia mundial. Segundo histórico, das seis maiores ocorrências de blecautes registradas no mundo, três ocorreram no Brasil: em 11/03/1999 atingiu 97 milhões de brasileiros, em 11/11/2009 foram 60 milhões e em 03/02/2011 foram 53 milhões de brasileiros sem energia, e esses fatos dão a dimensão do desafio que se tem pela frente.

Neste sentido, são apresentados alguns conceitos, requisitos e informações de modo a fornecer subsídios visando amparar a evolução de processos de distribuição de energia elétrica.



**Figura 13** – Ilustração de uma casa e alguns de seus equipamentos que utilizam eletricidade  
Fonte: UCLA Smart Grid Energy Research Center

Quinze de cada 100 quilowatts da energia elétrica produzida no Brasil se perdem entre a geração e o consumo. De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), ligado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), a proporção é mais do que o dobro da registrada em outros países, que chega aos até 7%. O desperdício sozinho fica acima da oferta interna de energia de origem térmica, com base em carvão, gás, petróleo e energia nuclear, que somam 14,4%, segundo o Balanço Energético Nacional. A perda de energia levou o CGEE a fazer um amplo estudo sobre o uso de redes inteligentes para gerenciamento da geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica. A tecnologia pode informar em tempo real, por exemplo, a ocorrência de pane e a eventual suspensão do fornecimento.

A rede inteligente de energia elétrica apresenta vantagens para todos, do consumidor, que passa agora também a poder ser produtor, ao País no seu todo, passando pelo comercializador, pelo distribuidor e pelo mercado. Dentre as vantagens das redes elétricas inteligentes, estão:

#### Inovação:

- renovação tecnológica
- automação da gestão das redes
- confiabilidade e qualidade de fornecimento

#### Dinamismo:

- relação direta entre o microprodutor e distribuidor
- relação próxima entre cliente e comercializador
- generalização da microprodução

#### Eficiência:

- redução dos custos de operação
- melhora na gestão da rede
- controle sobre as fontes de produção de energia

#### Sustentabilidade:

- aposta nas energias renováveis, na proteção ambiental e na redução das emissões de CO<sub>2</sub>
- promoção da eficiência energética e da sustentabilidade ambiental.

Se o consumidor permitir, a concessionária terá a capacidade de controlar a carga dentro de cada residência, como, por exemplo, regular a temperatura de aparelhos através dos termostatos inteligentes, ou, até mesmo, ligar e desligar cargas. Dessa forma, as concessionárias poderão limitar a demanda e evitar sobrecargas nas redes.

### **3.1. O Estado da Arte**

A nossa sobrevivência no planeta depende de alterações no sistema de geração, distribuição e utilização de energia elétrica. Precisamos urgentemente adaptar os nossos padrões de vida para maximizar a sustentabilidade e diminuir o consumo desenfreado de recursos naturais. Precisamos de uma nova concepção, onde as energias mais limpas possam ser gerenciadas e distribuídas de maneira inteligente. A urgência de se criar novos modelos de geração de energia onde se preza a confiabilidade, a segurança e principalmente a qualidade do fornecimento está mudando a maneira dos usuários interagir com as redes elétricas, o que traz benefícios à todos.

Para responder a esta nova demanda de energia, pesquisadores têm trabalhado exaustivamente, em busca de melhorar as condições atuais de fornecimento, bem como implementar as redes elétricas inteligentes de maneira rápida, eficaz e econômica.

#### **3.1.1. Iniciativas pelo Mundo**

A busca pela melhora na matriz de eficiência energética fez com que diversos países incentivassem o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes e também a geração distribuída, o que indica claramente que o futuro das redes elétricas no mundo passará pela implementação de redes inteligentes de energia.

O mundo está estudando diferentes formas de implementar as redes inteligentes, de acordo com a sua necessidade e possibilidade. Abaixo são listadas as iniciativas mundiais a respeito das smart grids:

– No Canadá, o governo do estado de Ontário obriga a instalação de medidores eletrônicos em todas as empresas e residências.

– Nos EUA, foi criado um programa de desenvolvimento onde foram injetados US\$4,5 bilhões em infraestrutura de smart grid. .

– Na Austrália houve um investimento de US\$100 milhões em 2010 na Iniciativa Nacional de Eficiência Energética para smart grid e para a Cidade Inteligente.

– No Japão, há esforços para aumentar a eficiência energética, difusão de painéis fotovoltaicos e veículos elétricos, e criação de um novo modelo de infraestrutura, no projeto denominado Smart Community.

– Na Europa, a meta é alcançar 20% de geração renovável até 2020, e também há planos pilotos de smart grid na Itália, Espanha e Portugal. Em Portugal, a empresa EDP Distribuição lançou em 2010 o projeto Smart City, na cidade de Évora. Trata-se de um projeto de redes elétricas inteligentes com o objetivo de tornar Portugal energeticamente mais inteligente, mais eficiente, mais competitiva e mais responsável.

Com o Smart City o cliente pode analisar com mais detalhe os seus consumos, verificando o melhor horário para consumir energia, bem como analisar a oferta da procura da energia. Além de tudo isto é garantida maior segurança no abastecimento, através da diversificação das fontes renováveis e do aumento da capacidade de integração da geração distribuída no sistema - uma microprodução mais eficaz e mais fácil de controlar. Por fim, a própria renovação das redes e a sua operação fica mais fácil, já que a confiabilidade e a eficiência aumentam com a sua automatização e controle remoto. É possível observar na figura 14 a ilustração do projeto Smart City.

A rede inteligente de energia faz de Portugal um país mais eficiente e sustentável, pela otimização dos sistemas de energia, pela redução das emissões de CO<sub>2</sub>, e pela menor utilização de recursos fósseis. A rede inteligente tem inúmeros sensores instalados ao longo da sua extensão. Isso permite controlar instantaneamente o estado de toda a rede, balancear cargas e prevenir as avarias antes mesmo que elas aconteçam. A rede reage de imediato às ações dos consumidores e produtores quando eles, por exemplo, injetam energia na rede ou solicitam um aumento de potência. Graças a este autocontrole inteligente é possível, em caso de avaria, configurar a rede de forma expedita, redirecionando os fluxos de energia e garantindo o fornecimento de energia elétrica sem interrupções.



**Figura 14** – Ilustração do Projeto Smart City Évora  
Fonte: [www.redeinteligente.com](http://www.redeinteligente.com)

Em 2012, pretende-se instalar mais de 30 mil Energy Boxes (equipamentos que atuam na distribuição de energia) em Évora e alcançar a mais de 100 mil habitantes, em seis localidades, revelou João Torres, responsável da EDP Distribuição, no seminário internacional Portugal Brasil sobre políticas e eficiência energética que aconteceu em Coimbra. O objetivo é o de duplicar anualmente a abrangência do programa até atingir 1,5 milhões de clientes em 2012. Salientando que a Diretriz 2009/28/EC obriga que em 2020 80% dos consumidores estejam abrangidos por smart meters. A EDP Distribuição conta atualmente com seis milhões de clientes em Portugal.

O projeto da EDP foi selecionado entre 260 projetos a nível europeu para ser a referência na instalação de redes inteligentes na União Europeia.

A EDP Distribuição está atualmente tirando conclusões sobre viabilidade técnica do projeto e o impacto nos clientes finais da disponibilização de informação no consumo de energia.

### **3.1.2. Iniciativas no Brasil**

Os motivos e incentivos para a implementação das redes inteligentes são diferentes em cada país. Por isso é importante adaptar a tecnologia para a realidade brasileira, levando em conta não somente os fatores técnicos, mas também o modo de se relacionar com o consumidor, a infraestrutura e os investimentos disponíveis.

No Brasil, no âmbito do Governo Federal, existem iniciativas em andamento com relação à definição de marcos regulatórios para as redes inteligentes. Desde 2008 a ANEEL



discute a implementação de uma infraestrutura avançada de medição que envolve a substituição dos medidores de energia por sistemas de medição onde a metrologia legal é integrada a sistemas de telecomunicações e informações, esta arquitetura é denominada infraestrutura avançada de medição (AMI). Foram analisados também os requisitos mínimos para os medidores eletrônicos das unidades consumidoras de baixa tensão. A ANEEL também estuda os requisitos da metrologia a serem aplicados na estrutura tarifária das concessionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica, destacando-se a aplicação de tarifas sazonais nas unidades consumidoras de baixa tensão de acordo com o horário, denominada Time of Use (TOU).

As questões que envolvem a GD de pequeno porte também estão sendo discutidas e promovidas pelo regulador. Iniciativas do MME e do MCTI indicam a importância do tema para o país e a necessidade da discussão deste tema em âmbito federal. Para a melhor abrangência deste tema, como também para melhor análise das necessidades, o governo criou um grupo de trabalho com o objetivo de identificar e analisar as ações necessárias para a implantação de um programa brasileiro de rede elétrica inteligente.

Em 2012 foi promovida uma chamada pública pela ANEEL para a realização do projeto estratégico de pesquisa e desenvolvimento, denominado P&D Estratégico – “Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente” que objetiva-se em fornecer subsídios para a elaboração de um Plano Nacional para a migração tecnológica do setor elétrico visando adotar as redes elétricas inteligentes, onde inclui-se as funcionalidades, os requisitos, as propostas de padronização das tecnologias, a adequação da legislação e da regulamentação, além de abordar o relacionamento com o consumidor e seu engajamento com a questão. A execução deste projeto é feita com os recursos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D, que é gerenciado pela ANEEL. Conta com a participação de 37 concessionárias em todo o país e com o Instituto ABRADDEE, que é o responsável pela execução.

A Cemig, concessionária brasileira de energia elétrica presente em 22 estados brasileiros, no do distrito federal e no Chile, participa de maneira ativa nas audiências, consultas públicas e projetos incentivados pela ANEEL. Atenta às iniciativas do regulador, está se preparando para a implantação do novo conceito de distribuição de energia elétrica no Brasil e para o novo modelo de relacionamento com os consumidores, investindo em uma estratégia de médio/longo prazo para modernizar o seu sistema elétrico através do projeto Cidades do Futuro.

### **3.1.2.1. Projeto: Cidades do Futuro**

Em dezembro de 2009 foi lançado oficialmente o projeto Cidades do Futuro. Este projeto é um dos projetos de pesquisa e desenvolvimento da arquitetura das redes elétricas inteligentes mais abrangentes da América Latina. Situado na cidade de Sete Lagoas, a 70km de Belo Horizonte, em Minas Gerais, a área escolhida para aplicação deste projeto foi a região atendida pelas subestações Sete Lagoas 1, 2 e 3, compreendendo municípios e localidades da região.

Inicialmente as instalações e a estrutura de medição avançada e automação da distribuição estarão em Sete Lagoas, Santana de Pirapama, Santana do Riacho, Baldim, Prudente de Moraes, Finlândia e Jequitibá. O número de clientes das subestações citadas chega a 95 mil, sendo 70 mil somente em Sete Lagoas. A possibilidade de alcance do programa chega a 290 mil habitantes. A motivação para a escolha desta área geográfica está relacionada ao sistema elétrico e de telecomunicações existente, bem como a proximidade da capital Belo Horizonte e a presença da Universidade e Centro de Treinamento Cemig (UniverCemig).

Este projeto conta com as fontes de recursos do Programa de P&D da ANEEL, Programa de Eficiência Energética da Cemig, Recursos Próprios da Cemig, e Grants do Governo Americano pela United States Trade and Development Agency (USTDA). O valor total dos recursos envolvidos é de R\$45 milhões de 2011 a 2014.

Através do projeto Cidades do Futuro a Cemig está avaliando a sua arquitetura de redes inteligentes: produtos, serviços e soluções. A Cemig avalia também a viabilidade técnica e econômica da cadeia de valores que envolvem esta nova tecnologia e identifica a aceitação do consumidor através de pesquisas e aplicações de interação com o usuário. É possível também implementar provas de conceito, que visam a elaboração de um modelo de referência para a implantação das redes inteligentes na Cemig, e como consequência contribui para o processo de transformação da concessionária. Por fim, a Cemig dissemina o conhecimento e envolve o público, seja interno ou externo, e os diversos agentes do setor em relação ao tema.

Durante o ano de 2010 foram realizados o planejamento e a estruturação dos projetos e no mês de novembro foram assinados dois convênios em parceria com o CPqD e com a FITec, denominados D423 e D424. O projeto D423 refere-se ao Desenvolvimento de Modelo Funcional Smart Grid através de soluções inteligentes para a automação da rede de distribuição, infraestrutura avançada de medição e participação do consumidor. Já o projeto

D424 refere-se à Plataforma de Testes de Conformidade e Interoperabilidade de Dispositivos Smart Metering e Automação de Rede baseando-se na solução Segura de Comunicação Híbrida WMAN – WiMAX.

No ano de 2011 os projetos D423 e D424, acima citados, apresentaram resultados parciais, destacando-se as respostas obtidas através de pesquisas de campo com os usuários e o desenvolvimento de ações e estudos que suportaram as especificações técnicas para a aquisição de sistemas e equipamentos. Neste mesmo ano foi assinado um acordo com a USTDA e iniciou-se o processo de aquisição do primeiro lote de infraestrutura avançada de medição.

Para os anos de 2012 e 2013, além de finalizar a implantação dos sistemas AMI, pretende-se focar a implantação da infraestrutura de tecnologia da informação e telecomunicações, equipamentos e sensores desenvolvidos nos P&Ds e de mercado, automação de redes, geração distribuída, mobilidade elétrica e automação residencial. Os resultados dos testes laboratoriais e de campo da arquitetura técnica e relacionamento com consumidores frente aos novos equipamentos e serviços servirão de base para a Cemig elaborar um plano de desenvolvimento pleno das redes elétricas inteligentes em sua área de concessão.

### **3.2. Requisitos de Arquitetura para Smart Grid**

Há necessidade de proteções contra violação de informação em medidores eletrônicos para evitar possíveis fraudes. Como o sistema todo é interligado, um ataque de hackers pode desligar todo um sistema de gerenciamento de subestação ou até mesmo de distribuição, bem como ligar ou desligar o fornecimento de determinada área. O desafio é o gerenciamento de credenciais como chaves criptográficas de uma quantidade grande de dispositivos, talvez até mesmo da ordem de dezenas de milhões. Os requisitos para segurança são inúmeros e as soluções provavelmente vão compreender uma camada adicional ao nosso modelo, em paralelo à camada lógica de supervisão e medição.

Espera-se um grande volume de dados proveniente da camada física. A camada física pode ser dividida nas fases de transmissão, subestação, distribuição, consumidor e fontes alternativas. As fases da camada física são compostas pelas diversas tecnologias que permitem a inteligência na transmissão, distribuição ou consumo de EE, onde estão incluídos

os medidores eletrônicos, redes de transmissão, equipamentos de proteção e operação das redes de transmissão e distribuição, e geração distribuída. Para monitorar e gerenciar os diversos processos que ocorrem na camada física serão necessárias as camadas lógicas, que serão auxiliares para que os processos ocorram.

Para gerenciar cada processo temos diversos sistemas: o sistema SCADA será utilizado para aquisição de dados em tempo real, pois neste sistema há um fluxo intenso de fontes de tráfego, onde os dispositivos fornecem dados para a unidade concentradora. Há também o sistema MDM para gerenciar os dados de medição. Sistemas de automação e controle em subestações, sistemas de automação em redes de distribuição, etc.

O conceito de rede inteligente influencia diretamente nos programas computacionais de análise de redes elétricas já que está associada, de imediato, a distribuição de energia elétrica. A possibilidade de surgir uma quantidade significativa de geração distribuída, bem como a necessidade do aplainamento da curva de carga impactam de maneira indireta nos níveis mais altos do sistema elétrico.

A geração distribuída, neste caso representada pelo consumidor que insere na rede o seu veículo híbrido plugin, se dissemina pelo sistema de distribuição e com isso serão necessários programas de fluxo de potência trifásicos que sejam capazes de modelar a nova unidade geradora. Os programas computacionais e o procedimento de recomposição da rede deverão ser adaptados à ampliação da geração distribuída e às ferramentas de avaliação da confiabilidade e de cálculo de curto circuito.

A Smart Grid é um complexo sistema fim-a-fim composto de múltiplos subsistemas de energia interconectados e inter-relacionados entre si através de múltiplos protocolos contendo múltiplas camadas de tecnologias: energia, comunicações, controle e automação e tecnologia da informação.

### **3.2.1. Automação da Distribuição**

Os componentes avançados da rede elétrica são voltados para melhorar a eficiência do fornecimento de energia, sua confiabilidade e disponibilidade. Esses componentes podem ser os armazenadores de energia, materiais condutores, materiais supercondutores, geradores de energia renovável (estes são operados pelo usuário da rede). Para a introdução destes componentes é preciso que o sistema de distribuição de energia esteja preparado para recebê-los.

A Automação da Distribuição (AD) compõe um dos blocos horizontais que implementam o conceito Smart Grid, ao lado dos blocos de medição inteligente, geração distribuída e armazenamento. Esses blocos estão inter-relacionados: AD recebe dados da medição inteligente para prover a aplicação Demand Response (DR). Por outro lado, interage com a geração distribuída e com o armazenamento gerenciando fontes ou recursos de energia distribuídos (Distributed Energy Resources: DER) e informando ao gerenciador de recursos de energia distribuída (Distributed Resource Management System: DRMS) alterações na topologia da rede em tempo real. Por fim, blocos verticais (Telecom, TI e Interoperabilidade) exercem funções de apoio aos blocos horizontais, ajudando a compor o conceito Smart Grid.

Dentre os principais benefícios da tecnologia empregada em AD estão: maior confiabilidade da rede de EE de distribuição, melhor qualidade da energia entregue aos consumidores, maior eficiência energética e otimização de recursos da rede de distribuição, como exemplo é possível salientar a redução das perdas de transmissão. Os elementos que devem ser automatizados em uma rede de distribuição são as subestações (SA), os circuitos alimentadores (FA), fontes de energia distribuídas (DER) e, segundo um conceito mais recente de AD, dispositivos inseridos nas unidades consumidoras dentro dos conceitos de redes de automação residenciais, comerciais e industriais.

Os dados transmitidos em uma determinada interface devem ser apresentados em modelo de dados que possam ser compreendidos entre distintas entidades. A tendência atual em formatar informações significativas em formatos baseados em XML (Extensible Markup Language) deve ser seguida. Há vários casos de modelo de dados baseados em XML:

- Para um esquema de supervisão, controle e proteção de uma subestação a norma IEC61850 (IEC = Internacional Electrotechnical Commission) define um modelo para aquisição de dados de dispositivos eletrônicos inteligentes (Intelligent Electronic Devices - IEDs). A norma define também a linguagem de configuração SCL (Substation Configuration Language) que é baseada em XML. O modelo é utilizado para a definição de parâmetros dos IED. Isto permite que um fabricante de IED forneça a informação a um fabricante de sistema de supervisão de dados de forma que se torna simples importar os dados.
- A norma CIM (Common Information Model) define um modelo comum para dados de sistema de supervisão e controle. O modelo está sendo adotado por operadores e empresas do setor elétrico. Atualmente ocorrem testes de interoperabilidade entre diversos fabricantes.
- A norma IEC61968 define uma extensão do modelo CIM para dados de sistemas de distribuição de energia.

Um exemplo de arquitetura com seus respectivos enlaces de comunicação pode-se dar da seguinte forma:

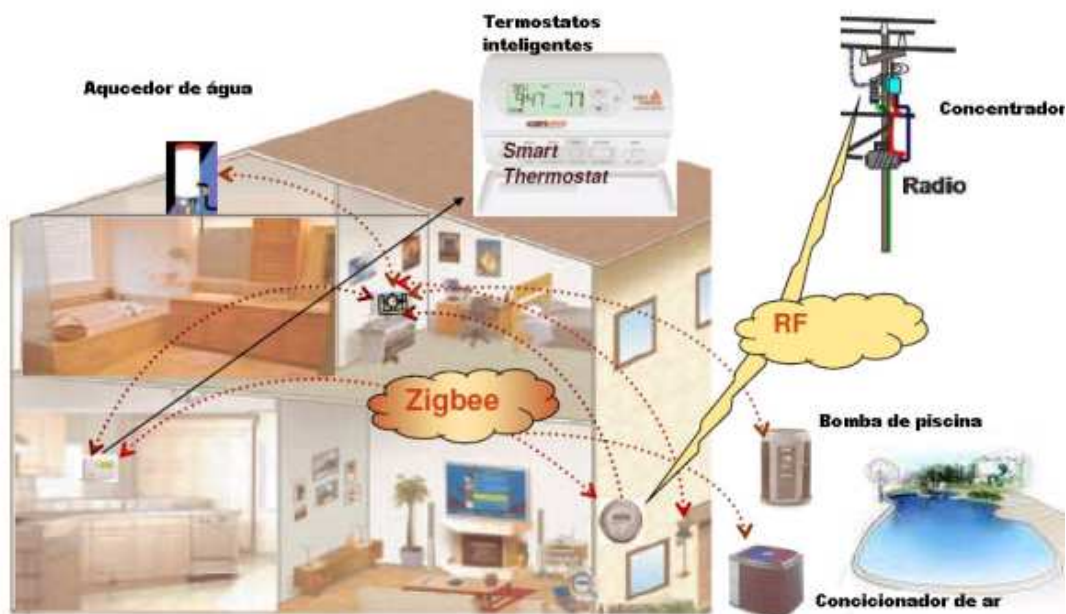
- Medidores eletrônicos transmitem e recebem dados por meio de um modem PLC interno para concentradores de dados instalados na rede de distribuição;
- Esse concentrador, que pode ser um para cada transformador de distribuição, se comunica com um centro local da concessionária por meio de rede RF Mesh;
- Medidor eletrônico envia dados para um mostrador interno no consumidor via também PLC.
- Pode ser realizado controle remoto das cargas da unidade consumidora por meio de gerenciamento remoto na concessionária. Uma rede ZigBee interna é criada para poder comandar dispositivos de controle de carga (desligamento de condicionador de ar, por exemplo);
- Sistemas de medição eletrônica nos alimentadores da rede de distribuição e nos transformadores são instalados para realizar balanço energético e outras funções. Sistemas de comunicação usando redes locais ETHERNET na subestação e transmitidos para o centro de controle local ou central da concessionária por outro meio, como fibra óptica, WiMax, etc, complementaríamos o enlace.

Na figura 15 está apresentado a rede de comunicação, conforme comentado acima, e na figura 16, a topologia da casa com a rede inteligente.



**Figura 15** – Ilustração da rede inteligente

Fonte: [www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)



**Figura 16** – Ilustração de casa com rede inteligente  
 Fonte: Apresentação da Center Point ao GT - Adaptada

### 3.2.1.1. Automação da Distribuição: Principais Funções

Um sistema de AD é uma combinação de subsistemas de automação que habilitam monitorar, coordenar e operar remotamente e em tempo real componentes da rede de distribuição a partir de localidades remotas, permitindo identificar mais precisamente falhas ou interrupções na rede, restaurar mais rapidamente o fornecimento de EE, melhorar a qualidade da energia entregue ao consumidor, rotear fluxos de energia evitando gargalos e controlando de maneira mais eficiente a demanda de pico, habilitar sistemas de geração distribuída inseridos na rede de distribuição e reduzir custos operacionais, o que são funções de extrema importância para o funcionamento de redes inteligentes. Subsistemas de AD têm sido tradicionalmente tratados separadamente, podendo-se citar supervisão e controle de subestações, supervisão e controle de ativos da rede de EE, gerenciamento de carga e medição remota, dentre outros.

O núcleo de um sistema de automação é denominado SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), um sistema que integra computação e comunicação para prover monitoramento remoto e controle remoto de equipamento dentro de subestações ou em campo. Os sistemas SCADA são sistemas que utilizam software para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle conectados através de drivers específicos. Estes sistemas podem assumir topologia mono-posto, cliente-servidor ou

múltiplos servidores-clientes. Atualmente a tendência é exclusão de protocolos de comunicação proprietários, como os dispositivos PACs (Controladores Programáveis para Automação), módulos de entradas/saídas remotas, controladores programáveis (CLPs), registradores , etc, para arquiteturas cliente-servidor OPC (OLE for Process Control). O desejável é que a automação do controle suporte o comportamento “self-healing” da rede, integrando funções de aquisição de dados, processamento em tempo real e controle remoto de ativos da rede de distribuição de EE. Define-se um sistema “self-healing” (auto-regenerável ou auto-recuperável) como um sistema capaz de detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede de EE de forma automática, em alguns casos até mesmo de forma instantânea. Esses sistemas utilizam informação em tempo real gerada por sensores dispostos na rede de distribuição para responder de modo reativo ou pró-ativo a problemas da rede, evitando ou reduzindo automaticamente quedas de energia, problemas com a qualidade de energia e a descontinuidade de serviços. Esses sistemas promovem o aumento no nível de confiabilidade do suprimento de EE.

### **3.2.2. Sistema de Comunicação**

Como as interfaces ocorrem entre entidades distintas provenientes potencialmente de fabricantes distintos, a comunicação de dados deve seguir um padrão aberto. Muitos sistemas já utilizam comunicação em tempo-real, por exemplo, sistemas SCADA. Nesse caso a comunicação necessariamente ocorre por protocolo de comunicação. A tendência é utilizar protocolo ICCP para comunicação entre centros de controle e, ao transmitir informação em tempo-real de centros regionais para um centro de operação da empresa, também como solução inter-SCADA, por exemplo.

Nos sistemas de proteção e automação localizados, como as subestações, a norma IEC61850 permite flexibilidade e projeto de funções através de uso de redes de alta velocidade como Ethernet (100 Mbit/s ou 1Gbit/s). Ao utilizar redes Ethernet, torna-se possível agrupar funções entre múltiplos dispositivos eletrônicos inteligentes. Isso permite prover inteligência em subestações para compor soluções de restabelecimento automático de subestação, transferência de carga entre transformadores etc.

Com a adoção de redes compartilhadas como redes Ethernet e IP para tráfego de informação de supervisão e controle, o projeto de comunicação de dados está se tornando mais simplificado, pois a rede é compartilhada. A arquitetura delineada pela Utility



Communications Architecture (UCA), nos Estados Unidos, definiu um modelo de dados para dados em centro de controle e em subestações. Essas especificações evoluíram, do ponto de vista do IEC, e tornaram-se padrões de direito, consolidando presença no setor elétrico.

Para comunicação de dados entre centros de controle, o padrão ICCP (Intercontrol Center Communications Protocol) é utilizado. Nas comunicações de supervisão em subestações o padrão IEC61850 já é bastante utilizado. Para comunicação de concentradores de dados de subestação ao centro de controle, pode ser utilizado o modelo ICCP. Existe uma iniciativa no IEC para adequar a IEC61850 para trafegar as informações até o centro de controle.

Podemos observar quatro camadas na área de telecomunicações: HAN (Home Area Network), LAN (Local Area Network), RAN (Regional Area Network) e WAN (Wide Area Network). Cada uma correspondendo a um trecho no qual as informações deverão trafegar. A HAN é a camada que abrange a residência e não deverá apresentar grandes entraves na questão da comunicação de dados. Podem ser usadas as tecnologias Wireless, como ZigBee, ou mesmo a PLC. As camadas LAN e RAN cobrem as informações concentradas nos diversos medidores. Uma tecnologia com maior capacidade de transmissão é requerida. Para a WAN, o ideal é o uso de fibras óticas. Também conhecido como Backbone, essa é a fase final do transporte de informações.

O emprego de tecnologias já desenvolvidas e em uso, bem como o de novas tecnologias de telecomunicações para atendimento das diversas aplicações proporcionadas pelas redes inteligentes considera além da regulação, o custo, a viabilidade técnica, o mercado e a confiabilidade no sistema.

As tecnologias identificadas podem ser divididas em soluções cabeadas e sem fio. A escolha do tipo de solução a ser utilizada depende de diversos fatores, entre eles estão a confiabilidade, custo, segurança e disponibilidade de infraestrutura já existente.

Entre as soluções de redes cabeadas pode-se citar as seguintes tecnologias:

Power Line Communication (PLC) sobre redes elétricas das próprias empresas distribuidoras:

- Em banda estreita Narrowband over Power Lines (NPL).
- Em banda larga temos a Broadband over Power Lines (BPL)

Entre as redes sem fio, as tecnologias e padrões são:

- Em redes de terceiros: em banda estreita - 2G e satélite; e em banda larga - 3G e 4G.

- Em redes próprias e/ou de terceiros: enlaces de rádio microondas ponto a ponto e Rádio ponto-multiponto (padrões proprietários do tipo mesh, WiMAX etc).

Já, para as demais aplicações existe uma incerteza ainda maior na identificação das tecnologias mais adequadas devido ao fato de que muitas dessas tecnologias serão embarcadas nos diferentes dispositivos presentes no ambiente de cliente e, conseqüentemente, sua adoção dependerá fortemente do grau de maturidade dos padrões de interoperabilidade.

Entre as redes cabeadas, as tecnologias e padrões são:

- Power Line Communications para redes internas: HomePlug (IEEE1901) e HomeGrid (ITU-T G.hn)

Entre as redes sem fio, as tecnologias e padrões são:

- IEEE 802.15.4 (PAN): ZigBee: ZigBee Smart Energy Profile e ZigBee Evolution
- IEEE 802.15.4g (Smart Utility Network):
- IEEE 802.11 Wi-Fi: Metro Wi-Fi
- IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Em termos de adoção, mais de 50% das redes atuais é constituída por soluções proprietárias de redes sem fio do tipo Mesh, além do que, quase 20% incluem outras soluções sem fio como, por exemplo, tecnologias proprietárias para rádio Ponto-Multiponto e tecnologias celulares de segunda e terceira geração (2G/3G).

### **3.2.3. Segurança**

A preocupação com a necessidade de segurança na comunicação de dados do setor elétrico, principalmente em sistemas SCADA, deu origem a um conjunto de normas e padrões, publicado pelo IEC em 2007. Este conjunto de normas destina-se a cobrir as vulnerabilidades de segurança no protocolo de comunicação SCADA. Para protocolos baseados na comunicação TCP/IP, a norma IEC 62351-3 estabelece o TLS (Transport Layer Security) como uma subcamada para oferecer recursos de segurança, o que permite a transmissão de dados sem a possibilidade de violação da informação transmitida. O TLS oferece segurança em nível quatro, ou seja, nível de transporte em arquitetura de redes de

computadores, implementando, de maneira opcional, autenticação utilizando certificados RSA, por exemplo. Implementa também a codificação por criptografia e a troca de chaves periódica por mensagens autenticadas (Message Authentication Code – MAC). A autenticação é essencial para garantir que as partes envolvidas na comunicação sejam legítimas. A criptografia destina-se a garantir que mensagens não possam ser lidas em algum ponto entre transmissor e receptor. A troca de chaves por mensagens autenticadas tem por objetivo evitar que um pacote legítimo ser utilizado em um contexto diferente, como por exemplo, em outro intervalo de tempo.

Em um ambiente de sistema de supervisão e controle, as garantias do TSL são necessárias para segurança do funcionamento do sistema. A utilização de recursos adicionais como criptografia e autenticação para a proteção contra ações maliciosas externas tem o custo de uma implementação com requisitos adicionais de processamento e compressão de dados, além de um custo associado de consumo de banda de comunicação.

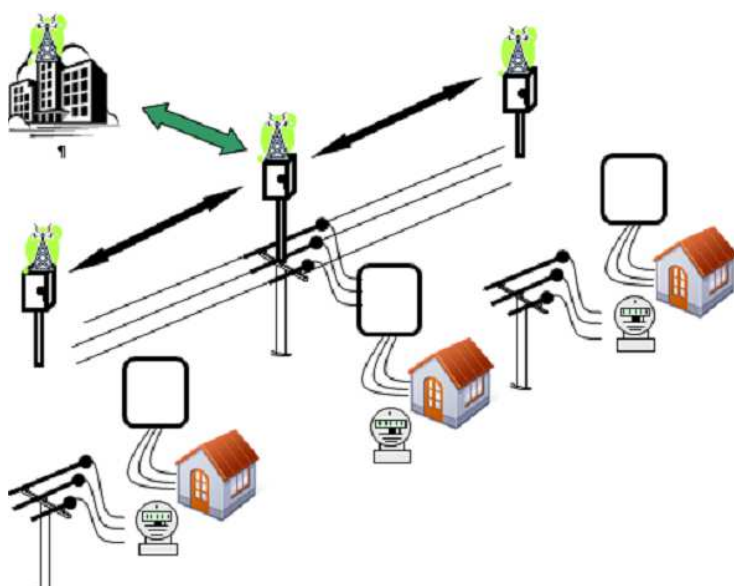
### **3.3. Sistemas de Medição**

Um sistema de medição típico para redes elétricas inteligentes é composto por um centro de medição, medidores de energia elétrica e pela infraestrutura de comunicação. Esta infraestrutura de comunicação geralmente é organizada em três enlaces distintos, listados abaixo e ilustrados na figura 17.

1. distribuidora – concentrador;
2. concentrador – medidor;
3. medidor – equipamentos domésticos;

Os concentradores de dados são responsáveis por coletar os dados dos consumidores para enviá-los à concessionária e também são o canal para informações ou ordens da concessionária para o consumidor. A solicitação de leitura das informações de medição, o envio de comandos de interrupção e restabelecimento do fornecimento de energia (corte e religa) e a análise das informações de leitura são realizados no centro de medição, localizado na distribuidora de energia. O principal componente do centro de medição é o sistema de gerenciamento da medição.

Nos sistemas de medição ocorre um fluxo de dados entre um número grande de fontes de tráfego e uma unidade concentradora. Estas fontes de tráfego incluem, por exemplo, medidores eletrônicos de consumo. O número de fontes de tráfego é grande e potencialmente crescente, de forma que a comunicação deve ser escalável. O tráfego gerado a partir das fontes de tráfego tende a ser menor que o tráfego de fontes SCADA, porém com necessidade de monitoração em intervalos curtos (1 hora, 10 minutos, etc.), o tráfego individual gerado por fonte tende a crescer também. O resultado é um grande volume de dados a ser armazenado e processado nos concentradores de dados. No passado, os dados eram obtidos essencialmente para a operação de sistema. Hoje existe uma demanda por consultas à dados de operação e dados históricos por parte de sistemas corporativos. Este é o caso, por exemplo, de ferramentas computacionais para estudo de perdas técnicas e não técnicas em dados de medição. Com grande volume de dados armazenado por constantes leituras de medição, o processamento torna-se bastante intenso por parte de tais ferramentas.



**Figura 17** – Ilustração de sistema de medição típico para redes elétricas inteligentes  
Fonte: Ministério de Minas e Energia

A comunicação entre a distribuidora e o concentrador pode ser através de satélite, GPRS, fibra óptica, PLC, a escolha depende apenas do custo de realização, disponibilidade do serviço e de recursos de comunicação e flexibilidade para atualização. Os concentradores podem ser hierarquizados em rede, onde um comunicador intermediário se comunica com o concentrador principal, e este por sua vez transmite os dados para a concessionária. O concentrador principal pode estar localizado na própria subestação.

Os meios de comunicação entre os concentradores e os medidores podem ser PLC e radiofrequência. Os medidores também podem se comunicar através de uma rede de comunicação hierarquizada para transmitir os dados ao concentrador.

Para a comunicação entre os medidores e os equipamentos domésticos pode-se utilizar PLC e radiofrequência. Porém, estes não podem ser hierarquizados em rede até chegarem ao medidor, uma vez que o medidor é o responsável pela leitura de dados da residência.

### **3.3.1. Medidores Inteligentes**

Os sensores e medidores inteligentes são os principais componentes de todo o sistema. São dispositivos, também considerados atuadores, distribuídos ao longo da rede elétrica, responsáveis pelas principais tarefas em uma rede inteligente. Os sensores são utilizados para o monitoramento das condições da rede, como por exemplo, a monitoração da temperatura, detecção de distúrbios e falhas na rede, corte e religamento de segmentos de rede. Os medidores de usuários são utilizados para a medição do consumo de energia do usuário e armazenamento de informações relativas ao consumo. Os medidores também podem ser utilizados para o envio de informações coletadas no ambiente do usuário, possibilitando a gestão do lado da demanda. Os medidores podem processar dados e enviar comandos para outros equipamentos, permitindo a interligação de toda a rede.

Além de medir o consumo em intervalos programados, os medidores inteligentes podem utilizar tecnologias combinadas para notificação de interrupção de fornecimento e para verificação e o monitoramento da qualidade da energia fornecida.

A vantagem do medidor inteligente sobre o medidor convencional é que ele possui comunicação bidirecional, o que permite não somente receber, mas também enviar dados. Pode-se utilizar diversas tecnologias, como ZigBee, PLC, rede Mesh, GRPS, entre outras.

Os medidores eletrônicos agregam novas funções além da medição convencional de energia ativa, pois se associados a uma infraestrutura de telecomunicações adequada oferecem possibilidades de modernização na relação entre a empresa que fornece a energia e aquele que a recebe.

O medidor inteligente é o elemento chave nesse novo contexto. Através dele, sempre em associação com a infraestrutura de comunicação adequada, será possível:

- Suspender e restabelecer remotamente o fornecimento de energia;
- Obter informações relativas à qualidade do fornecimento de energia;
- Auxiliar o consumidor a estabelecer e alcançar metas de consumo;
- Reduzir o tempo de reparos em casos de mau funcionamento ou de sinistros que levem à interrupção do fornecimento;
- Permitir esquemas tarifários com múltiplos postos;
- Permitir ao consumidor atuar como produtor de energia



**Figura 18** – Medidor Polifásico x Medidor Eletrônico  
 Fonte: ABB – Power and Productivity

### 3.3.2. Sistemas de Gerenciamento da Medição

A demanda de informações provenientes das redes elétricas inteligentes é grande. O maior desafio é trabalhar os dados medidos a fim de transformá-los em informações úteis para o sistema, tanto para o consumidor como para as distribuidoras.

De olho neste novo mercado há diversos fabricantes que oferecem softwares para o gerenciamento e tratamento destas informações, conhecidos como Gerenciadores de Dados de Medição (MDM). O MDM é o responsável pelo tratamento de todas as informações provenientes do sistema físico de medição. A fim de auxiliar a aplicação da arquitetura de redes elétricas inteligentes o MDM permite ainda o relacionamento com outros sistemas da distribuidora: Sistema de Gerenciamento da Distribuição (DMS – Distribution Management

System), Sistema de Informações Georreferenciadas – GIS (Georeference Information System), Sistema de Gestão de Faltas de Energia (OMS – Outage Management System), etc.

A seguir são destacadas as principais funcionalidades que esse sistema deve possuir:

- Armazenamento dos dados de medição;
- Mapeamento de ativos e do estado dos equipamentos monitorados;
- Integração com os sistemas interligados;
- Monitoração dos processos;
- Capacidade de previsão de falhas em equipamentos, para processar, analisar e padronizar as informações recebidas;
- Parametrização de sistemas e equipamentos de medição.

### **3.4. Tarifação de Energia Elétrica**

Atualmente a regulamentação brasileira estabelece que a tarifação de consumidores atendidos em baixa tensão é caracterizada pela estruturação tarifária monômnia. A Tarifa monômnia é a tarifa de fornecimento com preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica.

Os consumidores que são atendidos em média e alta tensão possuem tarifação binômnia, que é o conjunto de tarifas de fornecimento constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW), dividindo-se entre estrutura tarifária convencional e estrutura tarifária horo-sazonal.

A estrutura tarifária convencional caracteriza-se pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Já a estrutura horo-sazonal aplica 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 (Tarifa Verde e Tarifa Azul).

Entre as vantagens da aplicação das tarifas convencionais e horo-sazonais está o incentivo a disciplinização dos usuários a utilizar racionalmente a infra-estrutura disponibilizada pelo sistema.

A tarifação horária é outra modalidade que incentiva o uso racional da energia disponível, já que prevê o estabelecimento de tarifas diferentes ao longo do dia, basicamente dividida entre os horários de ponta e fora de ponta, que no Brasil é entre 18 e 21

horas. A tarifação cobrada hora a hora seria a maneira ideal de cobrança, dependendo das condições de carregamento da rede e da distribuição em determinados horários do dia, porém a sua execução é difícil.

A divisão das tarifas de energia elétrica tem por objetivo beneficiar os consumidores que melhor utilizam, e de maneira consciente, os recursos que a rede disponibiliza.

A Tarifa Azul aplica tarifas diferenciadas de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia. A diferença de tarifação cobrada na estrutura horo-sazonal da Tarifa Azul pode ser observada na tabela 6. Nota-se que o valor cobrado na demanda varia de acordo com o grupo de consumo, porém o valor da tarifação pelo consumo no horário de ponta é 1,6 maior do que no horário fora de ponta.

**Tabela 6** – Tarifa cobrada na estrutura Horo-Sazonal – Tarifa AZUL  
Fonte: CPFL

| Estrutura Horo-Sazonal<br>Tarifação AZUL | Demanda                  | Consumo                  |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|  |                          | Período Seco             | Período Úmido            |
|  | Ponta x<br>Fora de Ponta | Ponta x<br>Fora de Ponta | Ponta x<br>Fora de Ponta |
| A2 (88 a 138 kV)                         | 4,5                      | 1,6                      | 1,6                      |
| A3 (69 kV)                               | 3,9                      | 1,6                      | 1,6                      |

Já a Tarifa Verde é estruturada para aplicação de tarifas de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, assim como de uma única tarifa de demanda de potência. Nota-se na tabela 7 que o valor cobrado na demanda é o mesmo tanto no horário de ponta como fora do horário de ponta, porém a tarifação pelo consumo varia de acordo com o grupo de consumo.

**Tabela 7** – Tarifa cobrada na estrutura Horo-Sazonal – Tarifa VERDE  
Fonte: CPFL

| Estrutura Horo-Sazonal<br>Tarifação VERDE | Demanda                  | Consumo                  |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|   |                          | Período Seco             | Período Úmido            |
|   | Ponta x<br>Fora de Ponta | Ponta x<br>Fora de Ponta | Ponta x<br>Fora de Ponta |
| A3a (30 a 44 kV)                          | mesmo valor              | 4,3                      | 4,5                      |
| A4 (2,3 a 25 kV)                          | mesmo valor              | 5,3                      | 5,6                      |



As tarifas azul e verde são aplicadas a consumidores de média e alta tensão, o desafio agora é implementar a tarifação diferenciada para o consumidor de baixa tensão, ou seja, consumidores residenciais, comerciais e rurais.

A ANEEL aprovou em novembro de 2011, através da audiência pública nº 120/2010, a alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia, aplicando tarifas diferenciadas por horário de consumo, similar as tarifas horo-sazonais aplicadas aos consumidores de média e alta tensão, porém também para os consumidores de baixa tensão. A nova sistemática será aplicada em cada distribuidora a partir da sua revisão tarifária (entre 2012 e 2014), e modificará padrões vigentes desde 1980, onde cada distribuidora deverá definir um intervalo de 3 horas, entre as 17h e 22h, em que o consumo de energia elétrica será mais caro. A principal mudança será para os consumidores de baixa tensão, que passarão a contar com a Tarifa Branca que oferecerá três patamares para a tarifa de energia, de acordo com o horário de consumo: no horário determinado pela distribuidora como horário de ponta a energia custará cinco vezes mais do que no horário de baixo consumo (durante a madrugada), e três vezes mais do que no restante do dia (horário intermediário).

A instalação da tarifa branca é uma tentativa de estimular o consumo de energia nos horários em que a tarifa é mais barata, diminuindo o valor da fatura do consumidor no final do mês e, conseqüentemente, reduzindo a necessidade de expansão da rede elétrica para o atendimento a demanda nos horários de ponta. A tarifa branca será opcional, e caso o consumidor não esteja apto a mudar os seus hábitos de consumo a tarifa convencional continuará disponível.

No entanto, para entrar em vigor a tarifa branca será necessária a substituição dos medidores eletromecânicos pelos medidores eletrônicos.

Outra mudança na tarifação que será válida a partir de janeiro de 2014 é a criação das bandeiras tarifárias verde, amarela e vermelha, que atingirá a todos os consumidores do SIN, sejam alta, média e baixa tensão. Essas bandeiras serão alertas ao consumidor quanto a diferença nas tarifas: A bandeira verde significa custos baixos para gerar energia. A bandeira é um sinal de alerta pois os custos para a geração de energia estão aumentando. Já a bandeira vermelha indica que a geração de energia para atender a demanda tem o custo maior.

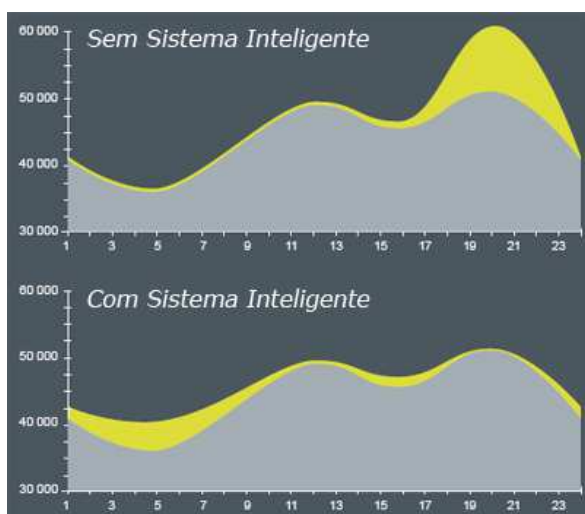
### 3.5. Engenharia do Veículo Elétrico

Veículos Elétricos Híbridos Plugin e Veículos Elétricos têm potencial para mudanças importantes no cenário de fornecimento de energia, suprindo energia para o transporte, e pelo menos em parte da rede de energia elétrica.

Deve-se salientar que as redes elétricas são um dos principais requisitos para a implantação do veículo elétrico no Brasil, para que a recarga das baterias possa ser realizada de maneira eficaz tanto em residências quanto em comércios, independente do nível da recarga, que pode ser 127V, 220V ou recarga rápida.

Para que possa ser compreendida a magnitude desta proposta, a potência necessária para recarregar uma bateria de um veículo elétrico em um ponto de tomada padrão é de aproximadamente 3,3kWh durante 5 a 7 horas. Se esta mesma bateria for carregada em um ponto de recarga rápida a potência necessária pode chegar a 40kW em 24 minutos. Se diversos veículos recarregarem suas baterias ao mesmo tempo em recarga rápida haverá um grande impacto na rede, pois a demanda fatalmente superará a capacidade.

A demanda por energia elétrica varia em diferentes horários do dia, porém há o horário de maior consumo de energia, denominado horário de ponta. Por outro lado, durante a madrugada o consumo de energia é reduzido, e parte da energia gerada é descartada já que não há possibilidade de armazenamento desta energia em grandes quantidades. Desta forma, o incentivo será para que o abastecimento dos veículos elétricos seja durante a madrugada, evitando assim o descarte da energia gerada que é mais econômica. É possível observar na figura 19 a ilustração da demanda nas redes.

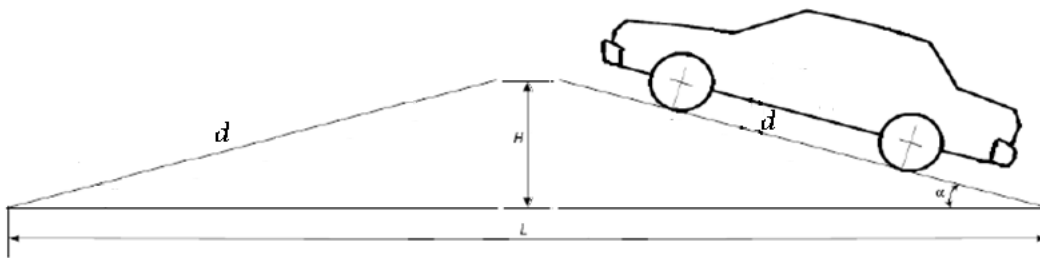


**Figura 19** – Demanda de energia: com Sistema Inteligente x sem Sistema Inteligente.  
Fonte: ABVE

A seguir é apresentado um modelo de cálculo da potência necessária para vencer as principais forças que se opõem ao deslocamento veicular. A partir do cálculo desta força é possível determinar a potência tracionaria em função do tempo, da qual parte é dissipada, porém pode ser reutilizada para carregar a bateria do veículo.

### 3.5.1. Cálculos

Considere um veículo acelerando em uma estrada com ângulo  $\alpha$ , conforme indicado na figura 20. Considere a base do triângulo como  $L$ , então a altura  $h = \frac{1}{2} * \tan\theta = d \sin\theta$  (Equação 1).



**Figura 20** – Veículo acelerando em uma estrada.

Fonte: Estatuto da ABVE (2011)

Em uma velocidade constante  $v$ , a energia cinética  $E_c$  também será constante.

Energia Cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} \tan\theta = d * \text{sena} \quad \text{Equação 2}$$

Para acelerar na primeira parte da estrada levemente inclinada (demonstrada na figura 19) o veículo deve ser propulsionado através da energia proveniente da bateria. Para descer a pequena elevação o veículo necessitará da mesma energia que utilizou para subir, considerando a mesma velocidade e o mesmo ângulo. Uma fração da energia utilizada pelo veículo na descida será dissipada pelos freios, e pode ser convertida em energia elétrica para carregar a bateria, num processo chamado Frenagem Regenerativa.

A Energia Potencial Gravitacional ( $E_g$ ) adquirida enquanto o veículo sobe a elevação está descrita na equação 5. A mesma proporção de energia é adquirida enquanto o veículo desce, que pode ser convertida em energia elétrica para carregar a bateria, tem sua fórmula descrita na equação 6.

Energia Potencial Gravitacional:

$$E_g = M_v * g * d * \text{sen}\alpha \quad \text{Equação 3}$$

Energia regenerativa:

$$E_r = f E_g \quad \text{Equação 4}$$

Substituindo, tem-se:

$$E_r = f * M_v * g * d * \text{sen}\alpha$$

Onde:

$M_v$  = massa do veículo (em kg)

$g$  = aceleração da gravidade = 9,81m/s

$f$  = fator de armazenameto da bateria = 0.8

$d$  = distância (em m)

A energia restante  $(1 - f E_g)$  é dissipada. A bateria não fornece energia ao veículo durante a descida.

Considere que há forças de atrito externas durante o deslocamento do veículo. Uma delas é denominada Coeficiente de Arrasto Aerodinâmico ( $F_d$  - ver equação 8) que é a força que o veículo deve fazer para vencer a resistência do ar. Tem-se também a Força de Resistência do Rolamento ( $F_r$  - ver equação 9) que é o atrito entre os pneus e a estrada.

Arrasto aerodinâmico:

$$F_d = -\frac{1}{2} * \rho * C_d * A_v * v^2 \quad \text{ou} \quad F_d = -m * C * v^2 \quad \text{Equação 5}$$

Resistência do rolamento:

$$F_r = R * g * M_v \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\rho$  = densidade do ar = 1,204 kg/m<sup>3</sup> a 20°C, 1 atm

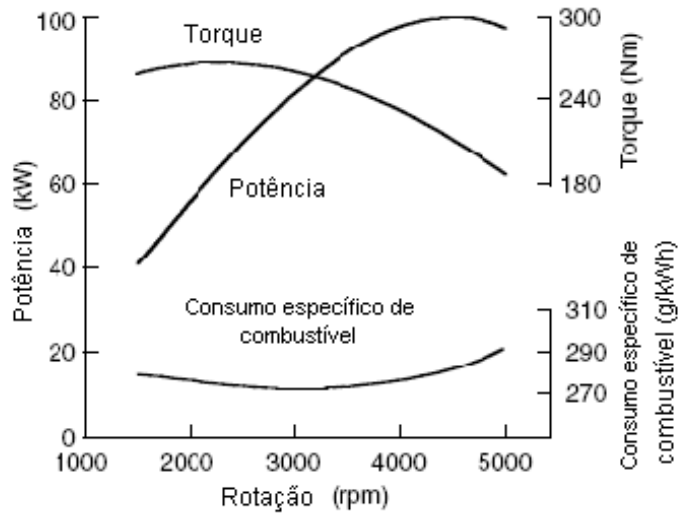
$C_d$  = coeficiente de arrasto aerodinâmico

$A_v$  = área da superfície frontal do veículo (em m<sup>2</sup>)

$v$  = velocidade do veículo (em m/s)

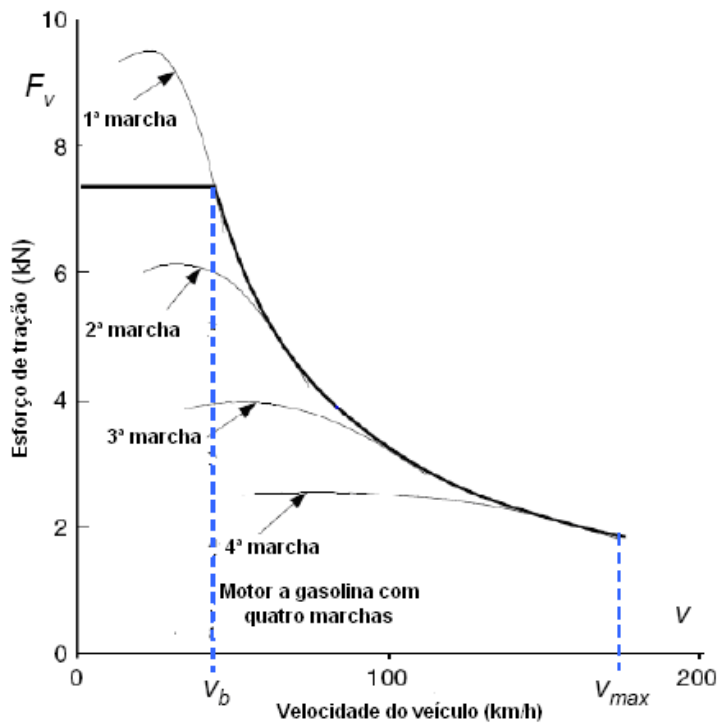
$R$  = coeficiente de resistência do rolamento, tipicamente 0,01 para pneus de carros no concreto e/ou asfalto

A máxima potência tracionária disponível deve ser independente da velocidade do veículo. Porém, a potência e o torque do motor de combustão interna (MCI) não são constantes. Além disso, o MCI não opera abaixo de uma rotação mínima e a potência de saída disponível alcança o máximo em velocidade relativamente alta. É possível visualizar a capacidade real característica de um MCI na figura 20.



**Figura 21** – Potência tracionária, torque e consumo de combustível de um MCI.  
Fonte: Estatuto da ABVE (2011)

A fim de combinar a capacidade do MCI com as exigências de potência tracionária em uma vasta série de velocidades do veículo, deve-se incluir um sistema de transmissão, composto por caixa de câmbio e embreagem, com várias marchas. Desta forma, o esforço requerido de tração do veículo, ou seja, a força  $F_v$  como função da velocidade pode ser realizada. Veja a ilustração da tração característica em um veículo que utiliza um MCI com transmissão de quatro marchas na figura 21.



**Figura 22** – Tração característica de um veículo utilizando um MCI com transmissão de quatro marchas.  
 Fonte: Estatuto da ABVE (2011)

Desde que a velocidade  $v$  do veículo seja constante durante a subida, a bateria deve fornecer a energia  $E_{ud}$  perdida através do arrasto aerodinâmico e da resistência do rolamento dos pneus, que pode ser calculada através da equação 10. De maneira similar, a gravidade fornece ao veículo durante a descida a energia  $E_{dd}$  perdida através do arrasto aerodinâmico e da resistência do rolamento dos pneus, que pode ser calculada através da equação 11.

Energia necessária durante a subida:

$$E_{ud} = (F_d + F_r) * d \rightarrow E_{ud} = M_v * (R + C * v^2) * d \quad \text{Equação 7}$$

Energia fornecida durante a descida:

$$E_{dd} = (F_c + F_r) * d \quad \text{Equação 8}$$

Substituindo tem-se:

$$E_{dd} = M_v * (R + C * v^2) * d$$

Através das equações 10 e 11 foi provado que a energia necessária para subir a elevação é a mesma energia necessária para descer.

A energia total  $E_u$  que deve ser suprida pela bateria para que o veículo suba a elevação é a soma da energia fornecida pela bateria para a subida mais a energia energia potencial gravitacional:

$$E_u = E_{ud} + E_g \quad \text{Equação 9}$$

Substituindo tem-se:

$$E_u = M_v * (R + C * v^2) * d + (M_v * g * d * \text{sen}\alpha)$$

A energia total  $E_d$  durante a descida da elevação é a energia energia potencial gravitacional menos a energia fornecida pela gravidade durante a descida:

$$E_d = E_g - E_{dd} \quad \text{Equação 10}$$

Substituindo tem-se:

$$E_d = (M_v * g * d * \text{sen}\alpha) - M_v * (R + C * v^2) * d$$

O total de energia fornecida utilizada durante o trajeto,  $E_h$ , é a energia utilizada durante a subida  $E_u$  menos a energia regenerada  $E_b$ .

Energia total utilizada:

$$E_h = E_u - E_r \quad \text{Equação 11}$$

Substituindo, tem-se:

$$E_h = d * M_v * [R * g + C * v^2 + (1 - f) * M_v * g * d * \text{sen}\alpha]$$

Portanto, pode-se notar que parte da energia gerada durante o trajeto está disponível. Esta energia pode ser utilizada para carregar a bateria do veículo, para parte de uma próxima viagem, ou até mesmo para abastecer a residência do usuário no horário de ponta.

## 4. RESULTADOS

Está claro que o veículo híbrido plugin não trabalha como gerador de energia. Trata-se de um veículo com maior autonomia do que um veículo de motor elétrico. Tanto o veículo híbrido plugin como o veículo elétrico são capazes de regenerar a energia dissipada através da frenagem, o que permite ao usuário utilizar o próprio automóvel como fonte alternativa de energia, suprimindo a energia para o transporte.

Porém, conforme demonstrado anteriormente, caso haja a recuperação de energia, o usuário não consumirá toda a energia da bateria durante o trajeto, e esta energia remanescente pode ser utilizada nos horários de ponta na residência do consumidor, de modo a tentar reduzir a utilização em massa de energia proveniente de usinas elétricas.

A fim de demonstrar a utilização do veículo elétrico e do veículo híbrido plugin como parte do abastecimento de uma residência, serão realizados cálculos a partir das equações citadas no item 3.4. *Engenharia do Veículo Elétrico*.

### 4.1. Armazenamento de Energia no Veículo

Considere um veículo classificado como médio utilizado diariamente da casa para o trabalho e vice-versa, considerando um deslocamento  $d = 10\text{km}$ . O veículo tem o peso total  $M_v = 1500\text{kg}$ , área frontal  $A_v = 2,16\text{m}^2$ , coeficiente de arraste dinâmico  $C_d = 0,26$ , e resistência de rolamento do pneu  $R = 0,01$ . Considerando a estrada levemente inclinada, com o gradiente  $\alpha = 20^\circ$ . A bateria do veículo tem capacidade para armazenar  $19,2\text{ kWh}$  e a velocidade final será de  $80\text{km/h}$ .

Conversões:

$$1\text{Wh} = 3600\text{J}$$

e

$$80\text{km/h} = 22\text{m/s}$$

A energia potencial gravitacional será de:

$$E_g = M_v * g * d * \text{sen}\alpha = 1500 * 9,81 * 10 \times 10^3 * \text{sen}20^\circ = 50328264,1 \text{ J}$$



Energia utilizada durante a subida:

$$E_u = M_v * (R + C * v^2) * d + (M_v * g * d * \text{sen}\alpha)$$

$$E_u = 1500 * \left(0,01 + \frac{0,5 * 0,26 * 2,16 * 1,204}{1500} * 22^2\right) * 10x10^3 + (1500 * 9,8 * 10000 * \text{sen}20)$$

$$E_u = 1366.126.216,33 \text{ J} \cong 37.812,84 \text{ W} \cong 37,81 \text{ kW}$$

Energia utilizada durante a descida:

$$E_d = (m * g * d * \text{sen}\alpha) - m * (R + C * v^2) * d$$

$$E_d = (1500 * 9,8 * 10000 * \text{sen}20) - 1500 * \left(0,01 + \frac{0,5 * 0,26 * 2,16 * 1,204}{1500} * 22^2\right) * 10x10^3$$

$$E_d = 132.533.570,96 \text{ J} \cong 36.820,44 \text{ W} \cong 36,82 \text{ kW}$$

Para calcular a energia proveniente da frenagem regenerativa utilizamos a Equação 6:

$$E_r = f * M_v * g * d * \text{sen}\alpha$$

$$E_r = 0,8 * 1500 * 9,81 * 10x10^3 * \text{sen}20$$

$$E_r = 40262611,3 \text{ J} \cong 11184,06 \text{ Wh} \cong 11,18 \text{ kWh}$$

Portanto, diariamente o usuário terá armazenado na bateria do seu veículo aproximadamente 11kWh.

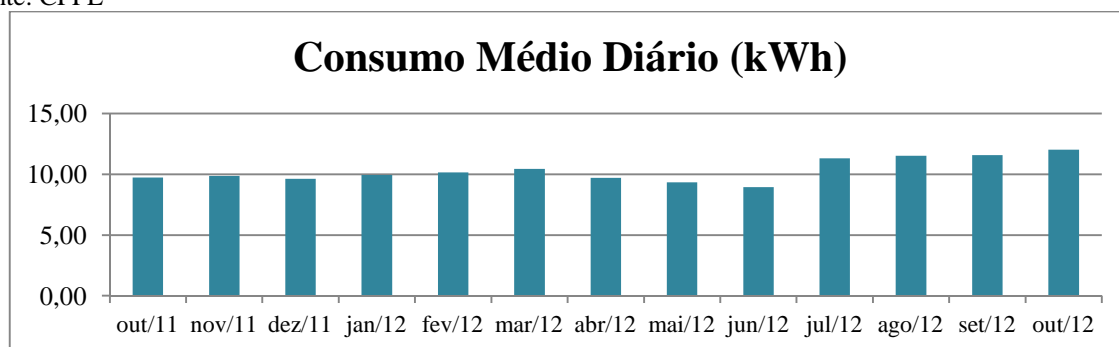
Energia necessária para o trajeto

$$E_h = E_u - E_r$$

$$E_h = 37,84 \text{ kW} - 11,18 \text{ kW}$$

Considere uma casa onde o consumo médio diário entre os meses de Outubro de 2011 a Outubro de 2012 é equivalente ao demonstrado na tabela 6.

**Tabela 8** – Consumo médio residencial diário de energia  
 Fonte: CPFL



De acordo com o cálculo realizado anteriormente, pode-se concluir que a cada 15km rodados pelo usuário com o seu veículo, a energia armazenada na bateria do carro poderá abastecer a sua residência por um dia.

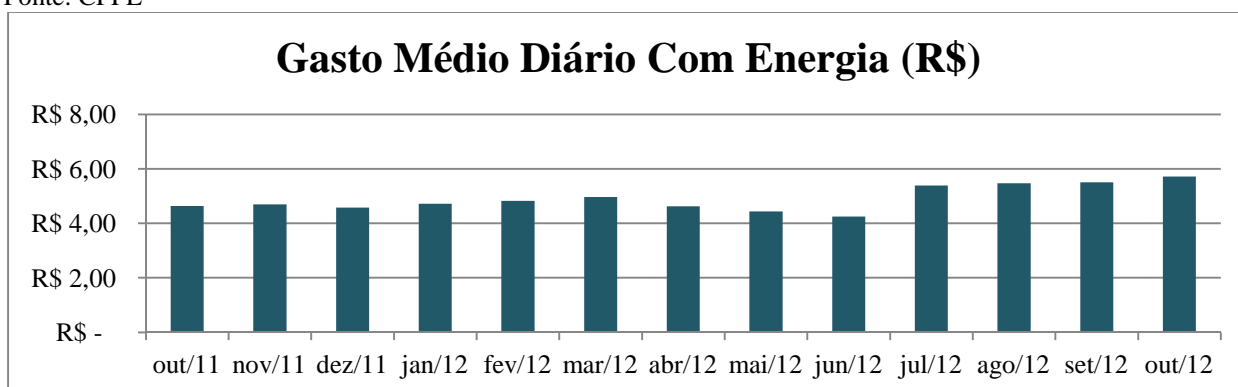
Após abastecer a residência, o usuário poderá carregar o seu automóvel durante a madrugada, onde a energia é mais barata, e desta forma contribuir com o meio ambiente e com o sistema de geração de energia.

## 4.2. Ganhos para o Consumidor

O valor cobrado por kWh pela distribuidora CPFL na residência pesquisada é de R\$0,47.

Considerando o gasto diário médio mencionado na tabela 6, é possível observar na tabela 7 a média de gasto diário, em reais, também referente aos meses de Outubro de 2011 a Outubro de 2012.

**Tabela 9** – Gasto médio residencial diário de energia – Distribuidora CPFL  
 Fonte: CPFL



Conforme citado no item 3.4. *Tarifação de Energia Elétrica*, o valor das tarifas horo-sazonais trarão benefícios a todos. No horário determinado pela distribuidora como horário de ponta a energia custará cinco vezes mais do que no horário de baixo consumo (durante a madrugada), e três vezes mais do que no restante do dia (horário intermediário). Considerando o valor cobrado atualmente de R\$0,47 por kWh, pode-se chegar aos valores da tabela 10:

**Tabela 10** – Tarifas diferenciadas por horário

Fonte: Adaptado CPFL

| Horário       | Cálculo                      | Valor (R\$) |
|---------------|------------------------------|-------------|
| Intermediário | valor cobrado atualmente     | 0,47        |
| De Ponta      | 3x maior que o Intermediário | 1,41        |
| Reduzido      | 5x menor que o de Ponta      | 0,28        |

Considerando os valores da tabela acima, para carregar a bateria em casa por completo o usuário gastaria, de acordo com o horário, os valores da tabela 11.

**Tabela 11** – Gastos de acordo com as tarifas diferenciadas

Fonte: Adaptado CPFL

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| Capacidade da Bateria (kW) →      | 19,2      |
| Carregar no horário Intermediário | R\$ 9,02  |
| Carregar no horário Ponta         | R\$ 27,07 |
| Carregar no horário Reduzido      | R\$ 5,41  |

Analisando os valores adquiridos na tabela 11 é possível afirmar que o usuário certamente terá ganhos ao utilizar a energia da frenagem regenerativa para abastecer a sua casa no horário de ponta, uma vez que durante 3 horas ele deixaria de gastar R\$1,41/hora e gastaria R\$0,28/hora para recarregar a bateria no horário reduzido.

## 5. CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho foi evidenciada a necessidade de uma mudança no sistema atual de energia elétrica. A demanda por energia aumenta a cada dia, e com este aumento surge a necessidade de modificação das redes elétricas.

A implementação das Redes Inteligentes - *Smart Grid* - trarão benefícios não somente ao consumidor como também ao meio ambiente. Com as redes inteligentes surgirão novas oportunidades para diversas áreas, como a criação de micro produtores de energia seja através de painéis solares, geradores eólicos ou dos veículos elétricos com sua integração nas redes, e como consequência destas novas oportunidades haverá redução na demanda de energia oriunda das grandes usinas geradoras. Porém devido à complexidade desta mudança são realizados diversos estudos, como o projeto-piloto em Sete Lagoas - MG, para definição de normas e padrões, e para a verificação da interoperabilidade do sistema.

Ainda há pessoas que associam as redes inteligentes à instalação de medidores inteligentes nas residências e apenas isso. Os medidores inteligentes são parte importante da implementação da rede inteligente, já que através deles será possível reduzir o consumo de energia elétrica nos horários de ponta, bem como reduzir o valor da conta do usuário no final do mês e possibilitar o autocontrole da utilização de recursos, porém as redes inteligentes não se resumem a apenas isso.

A rede inteligente é uma das partes mais importantes do processo de desenvolvimento do país no que se refere à transmissão e distribuição de energia, onde se pretende através da automatização de todo o sistema possibilitar a inclusão de fontes de energia renováveis e alternativas na rede, com o intuito de tornar o sistema sustentável, e principalmente, reduzir a emissão de poluentes na atmosfera, já que o aquecimento global é um tema discutido mundialmente e que afeta a vida de todos do planeta.

Também será possível integrar os veículos elétricos a rede, seja para abastecimento ou para recarga, e com isso também haverá redução de emissão de poluentes na atmosfera por parte dos veículos de combustão interna. Os veículos elétricos conquistam novas fatias do mercado a cada dia. Além da menor incidência de poluição na atmosfera, o veículo elétrico atende as necessidades de transporte, e também faz com que se reduzam as despesas anuais com combustíveis. Se o usuário ainda precisar de autonomia, pode escolher o veículo híbrido que conta com os motores elétricos e a combustão. Quanto ao desempenho energético verificou-se que, em termos de energia, o consumo equivalente é 3,5 vezes maior

do veículo com MCI em relação ao do veículo com ME similar para um mesmo trajeto (ver página 23). Aliado às iniciativas governamentais quanto à redução de tarifas de energia para estimulação do uso consciente, permitirá o oferecimento de descontos tarifários nos horários fora de ponta, bem como sua utilização como fonte de energia.

Conforme cálculos realizados no item 4. *Resultados*, pode-se observar que o usuário terá ganhos ao inserir na rede o seu veículo elétrico, não somente com descontos tarifários provenientes da utilização consciente e em horários com redução tarifa, como também para a sua saúde, uma vez que estará contribuindo ativamente para a redução de poluição do planeta.

Entretanto, o maior desafio para a adoção de VE se deve ao seu preço: a carga tributária é alta ao se considerar o total dos impostos federais (IPI) e estaduais (ICMS e IPVA). Será necessário modificar a legislação visando acelerar a inclusão dos veículos elétricos no país em prol da sua eficiência e dos benefícios ambientais dispondo até mesmo de diversos incentivos fiscais.

O desafio de se implementar as redes elétricas inteligentes no Brasil é grande, já que se faz necessária toda uma infraestrutura de hardwares e softwares para medição, gerenciamento e transmissão de dados, o aprimoramento da rede, dentre outros. Será necessário encontrar soluções eficientes e seguras visando sempre melhorar a qualidade do serviço oferecido aos usuários e a redução de custos. O aperfeiçoamento da rede exige a adoção e a utilização de tecnologias já existentes.

A implantação das Smart Grids certamente irá tornar o país mais sustentável de modo que possibilitará a melhor utilização dos recursos renováveis disponíveis, reduzirá custos de geração e de utilização de energia, e certamente contribuirá para a redução de poluição do planeta.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAPELLI, ALEXANDRE. Eletroeletrônica Automotiva: Injeção Eletrônica, arquitetura do motor e sistemas embarcados. São Paulo, SP, Editora: Erica, 2010.
- [2] Ebah. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>>. Último acesso em 05 de março de 2012.
- [3] Wikipédia. Disponível em: <<http://www.wikipedia.com.br>>. Último acesso em 05 de março de 2012.
- [4] Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: < <http://www.saopaulo.sp.gov.br>>. Último acesso em 10 de abril de 2012.
- [5] Itaipu Binacional. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br>>. Último acesso em 10 de setembro de 2012.
- [6] TAYLOR, CHARLES F.. Análise dos Motores de Combustão Interna. São Paulo, SP, Editora: Edgard Blücher, 1971.
- [7] UCLA Smart Grid Energy Research Center. Disponível em: <<http://www.smartgrid.ucal.edu>>. Último acesso em 15 de julho de 2012.
- [8] Smart Grid News. Disponível em: < <http://smartgridnews.com.br> >. Último acesso em 06 de junho de 2012
- [9] Paredes, A., “Integração de Sistemas de Supervisão, Proteção e Automação de Subestações de Energia Elétrica”, Dissertação de Mestrado, UNIFEI, 2002.
- [10] Projeto Estratégico de P&D da ANEEL – ABRADEE/APTEL/Concessionárias/Centros de Pesquisa: “Redes Elétricas Inteligentes”.
- [11] Falcão, D., “Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid”, Anais do III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), Belém-PA, 18-21 de maio, 2010.
- [12] Wikipédia. Disponível em < <http://www.tecmundo.com.br/3008-smart-grid-a-rede-eletrica-inteligente.htm#ixzz26rtVhrqt>>

[13] Rede Inteligente. Disponível em <<http://www.redeinteligente.com>>. Último acesso em 10 de setembro de 2012.

[14] BARBOSA, TIAGO DE MORAES. Smart Grid: As Redes Elétricas Inteligentes do Futuro, 2010.

[15] Smart Grids. Disponível em <<http://www.smartgrids.eu>> Último acesso em 09 de outubro de 2012.

[16] Associação Brasileira de Veículos Elétricos. Disponível em <<http://www.sbve.org.br>>. Último acesso em 20 de outubro de 2012.

[17] Ministério de Minas e Energia. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Último acesso em 25 de outubro de 2012.

[18] Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <<http://www.epe.org.br>>. Último acesso em 25 de outubro de 2012.

[19] ABB – Power and Productivity. Disponível em <<http://www.abb.com.br>>. Último acesso em 21 de outubro de 2012.

[20] Cemig – Grupo de Distribuição de Energia. Disponível em <<http://www.cemig.com.br>>. Último acesso em 21 de outubro de 2012.

[21] L. David Roper. Disponível em <<http://arts.bev.net/roperldavid/>>. Último acesso em 29 de outubro de 2012.