

CLEOFE BASSO

**O IMPACTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS *PLUG-IN* NO SISTEMA ELÉTRICO DE
POTÊNCIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do curso de Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal do Pampa.

Orientador: Prof. Dr Mauricio Sperandio

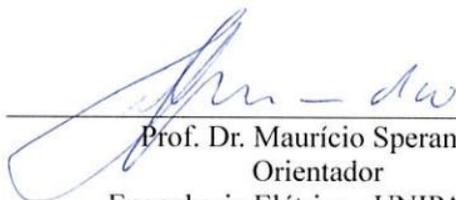
**ALEGRETE
2011**

CLEOFE BASSO

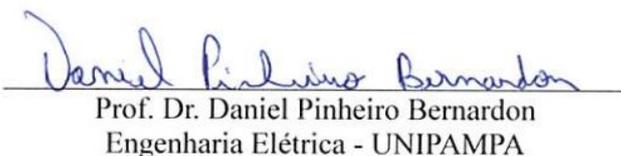
**IMPACTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS *PLUG-IN* NO SISTEMA
ELÉTRICO DE POTÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte das atividades para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Elétrica na
Universidade Federal do Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em: 22 de Dezembro de 2011.
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Maurício Sperandio
Orientador
Engenharia Elétrica - UNIPAMPA



Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon
Engenharia Elétrica - UNIPAMPA



Prof. Msc. Rodrigo Padilha Vieira
Engenharia Elétrica - UNIPAMPA

*Aos meus pais, pelo exemplo de vida e
família.*

*À minhas irmãs, por acreditarem e
sempre me apoiarem em minhas decisões.*

*Aos meus padrinhos, pela ajuda e apoio
durante estes anos.*

*À minha linda e amada
namorada Vanessa, pela compreensão,
dedicação e companheirismo.*

AGRADECIMENTOS

A primeira pessoa a quem devo agradecer é ao grande amigo e colega Sirnei Nunes da Silva, pois ainda no primeiro semestre da faculdade me deu uma oportunidade de trabalho, que se estendeu por mais de dois anos, algo que foi decisivo para que eu chegasse a este momento.

Agraço a todos os meus amigos em especial Bruno, Guilherme e Willian, com quem convivi diariamente durante estes últimos anos, pelo apoio e grande aprendizado de como não se deve fazer inúmeras coisas.

Agradeço ao professor Dr. Mauricio Sperandio pelo aprendizado, dedicação e ajuda durante este trabalho.

Agradeço a todos que acreditaram e me apoiaram.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

O objetivo deste trabalho é mensurar e quantificar a emissão de CO₂ produzido por um veículo elétrico quando este usa para recarga das baterias energia elétrica exclusivamente oriunda de termoelétricas.

Além disso, a inserção em massa destes veículos no mercado fará com que a demanda de energia aumente significativamente. Levando em conta o sistema atual, onde não há controle ou taxaço diferenciada para os horários de consumo de energia, considerando consumidores residenciais, será inevitável que uma grande quantidade de veículos elétricos seja colocada em recarga em pleno horário de ponta. Isso pode provocar impactos negativos sobre a rede elétrica de distribuição e nos sistemas de transmissão e de geração. Para investigar este efeito será projetado um perfil de consumo dos veículos elétricos, e através de simulações se objetiva mensurar qual será o real impacto frente aos sistemas de transmissão e distribuição.

Palavras-chave: Sistema elétrico de potência, veículos elétricos, poluição, consumo de energia elétrica.

ABSTRACT

This research aims to show that the power generated to recharge the batteries of electric vehicles is not always generated cleanly and sometimes pollutes more than if these vehicles were powered by fuel oil, since there are many coal-fired and oil power plants.

In addition, the integration of these large amount of vehicles on the market will cause significantly increase of the demand for electrical energy , and at times which now are critical. The impacts on the distribution and transmission systems and generation capacity will be considerable. Thus, a profile of electric vehicle consumption will be projected , and through simulation, you can measure what the real impact compared to the systems of generation and distribution.

Keywords: Power system, electric vehicles, pollution, electric power consumption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Jamais Contente.....	18
FIGURA 2 - Híbrido série	23
FIGURA 3 - Híbrido paralelo.....	23
FIGURA 4 - Carro elétrico com apenas um motor elétrico.....	24
FIGURA 5 - Carro com conjuntos de conversão, transmissão e motor individuais.....	25
FIGURA 6 - Carro com motores diretamente acoplados.	25
FIGURA 7 – Comparação entre número de veículos e emissão de CO ₂	35
Figura 8 - Topologia típica de um sistema elétrico de potência.....	37
Figura 9 – Mapa do sistema de transmissão de energia elétrica do Brasil	39
FIGURA 10 - Topologia de um sistema básico de distribuição.....	40
FIGURA 11 – Projeção da frota de automóveis.....	41
FIGURA 12 – Projeção de vendas ao ano.....	42
FIGURA 13 - Curva de carga de um consumidor residencial.....	43
FIGURA 14 - Curva de carga para um grupo de consumidores.....	43
FIGURA 15 – Coincidência do horário de recarga dos VEP.	44
FIGURA 16 - Relatório de tensão e fluxo de potência do sistema da área em estudo em regime de carga pesada.....	48
FIGURA 17 - Resultados das simulações em Canoas.....	49
FIGURA 18 - Relatório de fluxo de potência das simulações em Canoas.....	49

FIGURA 19 - Resultados das simulações em Novo Hamburgo.....	50
FIGURA 20 - Relatório de fluxo de potência das simulações em Novo Hamburgo.....	51
FIGURA 21 - Resultados das simulações em São Leopoldo	52
FIGURA 22 - Relatório de fluxo de potência das simulações em São Leopoldo	52
FIGURA 23 - Topologia do alimentador.....	53
FIGURA 24 - Projeção do percentual da população que terá um VEP.....	54
FIGURA 25 - Carregamento dos transformadores.....	56
FIGURA 26 - Nível de carga dos TRs.....	57
FIGURA 27 - Projeção da curva de carga para o alimentador	58
FIGURA 28 - Carregamento dos transformadores	59
FIGURA 29 – Projeção da curva de carga para o alimentador.....	60
FIGURA 30 – Carregamento dos transformadores	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Projeção de venda ao ano e da frota total de automóveis de 2010 a 2030 ..	27
TABELA 2 - Fatores de emissão de CO 2	28
TABELA 3 - Quilometragem por litro de combustível para automóveis e veículos comerciais leves.....	28
TABELA 4 - Fatores de emissão de CO 2 para UTE's.....	30
TABELA 5 - Característica dos veículos elétricos plug-in	31
TABELA 6 - Projeção de vendas ao ano e o tamanho da frota de veículos elétricos plug-in até 2030	33
TABELA 7 - Proporção da frota para cada tipo de automóvel	45
TABELA 8 - Projeção da frota de veículos elétricos plug-in para Canoas	46
TABELA 9 - Projeção da frota de veículos elétricos plug-in para Novo Hamburgo	46
TABELA 10 - Projeção da frota de veículos elétricos plug-in São Leopoldo.....	47
TABELA 11 - Projeções do número de VEP no alimentador	54

LISTA DE ABREVIATURAS

VC – Veículo a Combustão

VE – Veículo Elétrico

VEB – Veículo Elétrico a Bateria

VEH – Veículo Elétrico Híbrido

VEHP – Veículo Elétrico Híbrido Plug-in

VEP – Veículo Elétrico Plug-in

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
RESUMO	6
Abstract	8
Lista de ilustrações	9
Lista de tabelas	11
Lista de abreviaturas	12
Sumário	13
Introdução	15
1 Veículos Elétricos	17
1.1 <i>História dos veículos elétricos</i>	17
1.2 <i>Veículos elétricos hoje</i>	20
1.2.1 No mundo	20
1.2.2 No Brasil	21
1.3 <i>Tipos de veículos elétricos</i>	22
1.3.1 Veículo elétrico híbrido	22
1.3.2 Veículo <i>plug-in</i>	24
1.3.2.1 Veículo elétrico à bateria	24
1.3.2.2 Veículo elétrico híbrido <i>plug-in</i>	25
2 A poluição atribuída aos veículos elétricos <i>plug-in</i>	26
2.1 <i>Análise da poluição dos veículos a combustão</i>	26
2.2 <i>Análise da poluição dos veículos elétricos <i>plug-in</i></i>	29
2.2.1 <i>Emissão de CO₂ nas usinas termoelétricas do Brasil</i>	29
2.2.2 <i>Consumo de energia elétrica de um veículo elétrico <i>plug-in</i></i>	30
2.3 <i>Comparativo entre a poluição gerada pelos VC e VEP</i>	33
3 Impacto dos veículos elétricos no sistema elétrico de potência	36
3.1 <i>Sistema Elétrico de Potência (SEP)</i>	36
3.1.1 Geração de energia elétrica	37
3.1.2 Sistema de transmissão de energia elétrica	38
3.1.2.1 Transmissão	38
3.1.2.2 Subtransmissão	39
3.1.3 Sistema de distribuição	40

3.2 <i>Inserção dos veículos elétricos no Brasil</i>	41
3.3 Curvas típicas de consumo de energia elétrica	42
3.4 <i>Impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema de transmissão</i>	44
3.4.1 Metodologia para projeção do consumo de energia elétrica dos veículos elétricos <i>plug-in</i> em uma cidade.	44
3.4.2 <i>Simulações com software ANAREDE</i>	47
3.4.3 Resultados das simulações na transmissão	48
3.4.3.1 Simulação em Canoas	48
3.4.3.2 Simulação em Novo Hamburgo	50
3.4.3.3 Simulação em São Leopoldo	51
3.4.4 Considerações sobre os resultados	52
3.5 <i>Impacto dos veículos elétricos plug-in no sistema de distribuição</i>	53
3.5.1 Metodologia para projeção do consumo de energia elétrica dos veículos elétricos <i>plug-in</i> em um alimentador.	53
3.5.2 <i>Simulações com software ASD</i>	55
3.5.3 Resultados das simulações na distribuição.....	56
3.5.4 Resultados das simulações feitas usando o cenário 1	57
3.5.5 Resultados das simulações feitas usando o cenário 2	59
3.5.6 Considerações sobre os resultados	61
4 Considerações finais	62
4.1 <i>Sugestão para trabalhos futuros</i>	64
Referências bibliográficas	65

INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente tem forçado uma mudança na indústria automobilística mundial. A preocupação com as emissões de gases poluentes e o consumo de combustíveis fósseis fez com que os veículos elétricos se tornassem uma realidade. Estima-se que em trinta anos, sejam os automóveis mais vendidos no país¹.

Há diversos tipos de veículos elétricos, com destaque para três famílias de tecnologias e, em particular, de automóveis elétricos: à bateria, híbrido e *plug-in*.

Partindo do cenário em que, os carros elétricos são realidade e levando em conta que hoje o Brasil é o 5º maior mercado consumidor de carros¹, é de se esperar que, ao entrarem no mercado, algo que deve acontecer dentro de dois anos, os carros elétricos irão ganhar uma considerável fatia deste mercado.

Baseando-se nisso o primeiro objetivo desta pesquisa é mensurar e quantificar a emissão de CO₂ produzido por um veículo elétrico quando este usa para recarga das baterias energia elétrica exclusivamente oriunda de termoelétricas² e comparar com as emissões de um veículo a combustão.

O segundo e principal objetivo da pesquisa é mensurar quais serão os efeitos sobre o sistema elétrico de transmissão e distribuição considerando a entrada em massa dos veículos elétricos em recarga no horário de ponta, para isso será considerado como base das simulações o cenário atual, que não oferece nem um tipo de controle para evitar que uma carga desta dimensão seja conectada a rede de energia.

Em se tratando de projetar ou estimar um possível cenário de carregamento de um determinado sistema elétrico de potência, é de se esperar que o Plano Decenal de Expansão Energética (PDE) 2019, traga algumas informações relevantes das projeções de entrada e de con-

¹ Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2010

² Será usada como base nos cálculos das emissões das termoelétricas a tese de doutorado, ELIAS EDNA XAVIER **Termelétricidade no Brasil – Proposta Metodológica para Inventário das Emissões Aéreas e sua Aplicação para o Caso do CO₂**, COPPE / UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2004.

sumo dos veículos elétricos. Visto que o mesmo tem como papel orientar investimentos no setor energético, porém e os veículos elétricos são simplesmente ignorados nas projeções de consumo de energia elétrica feitas até 2019.

1 VEÍCULOS ELÉTRICOS

“É chegado o momento de o Brasil acordar para o fato de que está atrasado na corrida para o Carro Elétrico, quando deveria estar na vanguarda – como fez em relação ao carro a etanol”,

José Antonio Meira

1.1 História dos veículos elétricos

Os primeiros veículos elétricos (VE) foram criados antes mesmo da invenção dos motores à combustão. A história dos VEs está intimamente ligada à invenção das baterias de chumbo-ácido recarregáveis, feito este, atribuído ao físico francês Gaston Planté, em 1859. Foi na Europa, que a produção dos VEs, em escala industrial, teve início. Dois anos mais tarde, já eram populares nas grandes cidades americanas.

Entre 1885 e 1920 os VEs se tornaram comuns em grandes cidades dos EUA e na Europa, e os motivos que impulsionaram isso era a facilidade de manobra, pouca vibração ou praticamente nula se comparado aos veículos movidos a vapor.

Em 1887 os VEs tiveram seu primeiro uso comercial. Um serviço de táxi com veículos elétricos foi implantado em Nova York, e se espalhou por várias cidades americanas que, no auge, chegou a ter 2 mil táxis elétricos. Em 1903, havia cerca de quatro mil automóveis registrados na cidade de Nova York, sendo que 20% deles eram elétricos, e este número chegou a ser de 30 mil em 1912³.

³ Renato Baran Luiz Fernando, Loureiro Legey. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil** BNDES Setorial 33, p. 207-224, Rio de Janeiro, 2010.

O pioneirismo dos VEs também ficou registrado em recordes de velocidade, o primeiro veículo a romper a barreira dos 100 km/h também foi um veículo elétrico. O engenheiro belga Camille Jenatzy desenvolveu o “Jamais Contente” (FIGURA 1), veículo por ele pilotado, que em 29 de abril de 1899 registrou a velocidade de 105,88 km/h.



Fonte: Wikipédia, http://en.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente.
FIGURA 1 - Jamais Contente.

Em 1918, no Rio de Janeiro foi inaugurada a linha de ônibus elétricos, pela antiga Light and Power Co. Ltda. entre a Praça Mauá e o, então existente, Palácio Monroe, na outra extremidade da Avenida Rio Branco⁴.

Há um conjunto de motivos que justificou o declínio dos VEs⁵:

- A melhoria das estradas. Em 1920 existiam rodovias que interligavam as principais cidades americanas, o que exigia veículos com mais autonomia;
- A descoberta de petróleo no Texas. O que causou baixa no custo da gasolina;

⁴ Luiz Artur Pecorelli Peres. **Veículos Elétricos: O limiar de uma era de transição**. Disponível em: < <http://www.gruve.eng.uerj.br/historia.htm> >. Acessado em: 10 out 2011.

⁵ Renato Baran Luiz Fernando, Loureiro Legey. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil** BNDES Setorial 33, p. 207-224, Rio de Janeiro, 2010.

- O sistema de montagem seriada de carros criada por Henry Ford, fez com que o custo de um carro elétrico ficasse quase três vezes mais caro se comparado com os veículos de Ford.

A fabricação dos VEs foi praticamente abandonada depois de 1930, e os que ainda rodavam, tinham como finalidade a coleta de lixo e a entrega de mantimentos. Porém, nesta época, os sistemas de transporte coletivo ainda eram feitos por bondes elétricos, algo que não interessava aos principais fabricantes de ônibus e a indústria de combustíveis. Segundo o livro *Internal Combustion* ("Combustão Interna", ainda sem tradução para o português), escrito pelo jornalista norte-americano Edwin Black, esta situação começou a mudar em 1935, através de uma conspiração liderada pela General Motors (GM) junto com a empresa de caminhões Mack Truck, com a Firestone, a Standard Oil e a Phillips Petroleum.

Através da empresa National City Lines (NCL), financiada por essas empresas, as linhas de bonde de pelo menos 40 cidades norte americanas foram aos poucos compradas e, assim que isso ia acontecendo eram desativadas, e ônibus movidos à gasolina tomava os lugares dos bondes, que chegaram a ser incendiados para que não fossem mais usados. A GM foi acusada e declarada culpada por conspiração pelo governo norte-americano, fato que não mudaria a realidade, já que os ônibus a gasolina haviam se tornado uma tendência mundial.

Henry Ford, preocupado com a poluição gerada pelos veículos à combustão, por ele fabricados, se aliou a Thomas Edison para desenvolver o Ford T elétrico, porém, as baterias foram sabotadas e logo após, seus laboratórios misteriosamente pegaram fogo.

No Brasil, movido pela crise do petróleo nos anos 70, o engenheiro paulista João Augusto Conrado do Amaral Gurgel, concluiu o primeiro projeto de carro elétrico da América Latina, o Gurgel Itaipu, que foi lançado no salão do automóvel em 1974, porém por limitações impostas pelo peso das baterias e a limitada autonomia, fizeram com que o Itaipu não passasse de um protótipo. Em 1981, Gurgel lançou o Itaipu E400, um furgão elétrico que, pouco tempo depois, sua fabricação foi descontinuada.

Mais recentemente, uma parceria entre Itaipu Binacional a Kraftwerke Oberhasli (KWO), empresa controladora de hidrelétricas suíças, e a Fiat Automóveis, tornou possível o desenvolvimento de veículos elétricos no Brasil, porém, o projeto ainda não tem como objetivo

principal a fabricação seriada, mas sim o aperfeiçoamento da tecnologia para torná-la mais barata e acessível.

As histórias de conspirações contra os VEs tiveram o então último capítulo em 1996, e é retratado pelo documentário *Who Killed the Electric Car (Quem Matou o Carro Elétrico?)* de Chris Paine, que mostra a intenção do governo de um estado norte-americano em diminuir a poluição das cidades, impondo as montadoras que criassem carros com emissão zero. As montadoras chegaram a colocar em circulação veículos elétricos, o principal e mais evidenciado no documentário, foi o EV1 da GM. Entretanto, sem muita explicação, os modelos foram recolhidos e destruídos. O documentário aponta vários fatores e grupos (novamente a indústria petrolífera e até mesmo o governo) para a “morte” dos veículos elétricos.

1.2 Veículos elétricos hoje

1.2.1 No mundo

Uma pesquisa feita pela TÜV Rheinland, empresa certificadora sediada na Alemanha, sobre a aceitação de VEs no mundo foi divulgada recentemente. É a primeira pesquisa do gênero e foi realizada em 12 mercados-chaves ao redor do mundo: China, Dinamarca, Alemanha, França, Índia, Israel, Itália, Japão, Portugal, Espanha, Reino Unido e EUA. A pesquisa traz números expressivos quanto à intenção de compra deste tipo de veículo, 92% dos indianos, 88% dos chineses e 85% dos italianos afirmaram que estão dispostos a comprar um carro elétrico nos próximos cinco anos.

Mais de um milhão de veículos elétricos e híbridos foram vendidos no mundo em 2010⁶. Estes números são resultados de políticas de incentivo praticadas em diversos países, sejam elas por interesses ambientais ou de saúde pública, como por questões estratégicas. Nos EUA, o governo dá incentivos na forma de bônus de aproximadamente USD\$7500,00⁶. Da mesma maneira, a China bonifica os consumidores que optarem por um modelo elétrico com USD\$8780,00⁶. Na França, esta ajuda é de cerca de € 5000,00⁶. Portugal tem tributação diferenciada dos automóveis, com base nas emissões de poluentes e não de acordo com valor do

⁶ Associação Brasileira do Carro Elétrico (ABVE), 2011

bem⁷. No Reino Unido o bônus é de até 5 mil libras, com desconto na taxa de circulação além de isenção da cobrança de estacionamento no centro de Londres⁷.

Para tornar os VEs competitivos, o governo de Israel irá taxá-los com 10% (veículos a combustão tem taxa de aproximadamente 80%), e está construindo uma rede que contará com 500mil pontos de abastecimento, e 200mil postos para troca de baterias espalhados pelo país. Estima-se que nos próximos três anos a frota de VEs será de 100mil. É uma questão puramente estratégica para diminuir a dependência do petróleo, já que sua relação com seus países vizinhos, e detentores das maiores reservas de petróleo do mundo, são conflituosas⁷.

1.2.2 No Brasil

A prosperidade que os números trazem a respeito da inserção destes veículos no mercado mundial é uma realidade distante no Brasil, ao menos por enquanto.

A falta de incentivos fiscais é um dos principais fatores que inviabilizam a entrada dos VEs no mercado brasileiro, a prova disso são os números: nos últimos quatro anos 72 veículos elétricos foram emplacados no país⁴.

A Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil, um estudo feito pelo instituto Nacional de Altos Estudos (INAE) e divulgado em maio de 2010, traça um plano e mostra a arquitetura para que os VEs tornem-se viáveis, apontando quem devem ser os responsáveis pela implementação dos eletropostos, bem como as manobras que os Ministérios devem fazer para trazer incentivos, desenvolvê-los e montá-los, aqui no Brasil. O estudo tem como pretexto mostrar que o VE é uma alternativa viável para diminuir a poluição nas grandes cidades. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, os carros e motos geram 40 vezes mais monóxido de carbono do que a frota de ônibus. Mesmo parecendo ficção as projeções feitas pelo estudo mostram que em 2030, 70% dos veículos vendidos no país usarão a eletricidade como combustível para a sua propulsão total ou parcial.

⁷ Associação Brasileira do Carro Elétrico (ABVE), 2011

1.3 Tipos de veículos elétricos

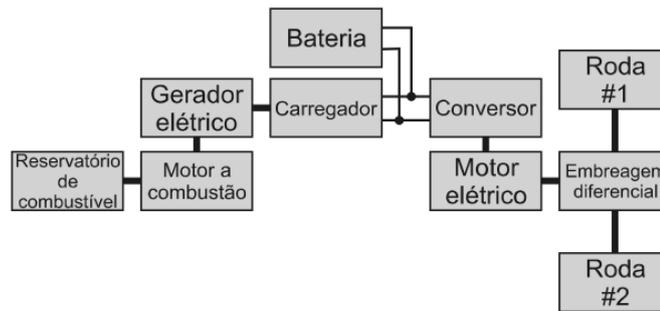
Por definição, um veículo elétrico é um veículo automotor em que pelo menos uma das rodas é acionada através de um motor elétrico. Os principais veículos elétricos hoje fabricados se dividem basicamente em três modelos: veículos elétricos híbridos (VEH), veículos elétricos à bateria (VEB), veículos elétricos híbridos *plug-in* (VEHP), sendo os dois últimos enquadrados na categoria *plug-in*, que na tradução literal significa “plugado”. São veículos que podem ser ligados à rede de energia através de uma tomada e, desta forma, serem recarregados. Todos eles são beneficiados pela frenagem regenerativa, ou seja, aproveitam a energia cinética liberada durante as frenagens e a transformam em energia elétrica, que é armazenada nas baterias. Este sistema não dispensa o uso dos sistemas de frenagem convencionais, porém contribuem para o aumento da sua vida útil, e podem reduzir o consumo de energia em cerca de 10%, chegando a até 50%. Essa redução tende a ser tão maior quanto mais congestionado for o trânsito. Uma das principais vantagens que estes veículos apresentam é a alta eficiência, fato que se deve principalmente por serem propulsionados por motores elétricos, motores estes que tem eficiência superior a 90%.

1.3.1 Veículo elétrico híbrido

O Veículo Elétrico Híbrido (VEH) não se conecta a uma fonte externa. A energia elétrica que aciona o motor elétrico é gerada a bordo do veículo. O veículo é dotado de um motor à combustão (diesel, etano, gasolina ou GNV) e é associado com um grupo gerador. São variadas as formas de associações que existem entre o conjunto motor e gerador, as principais são em série e em paralelo. A principal vantagem deste veículo é a autonomia que, devido ao motor à combustão, torna sua capacidade de deslocamento considerável, otimizada consideravelmente com a inserção do motor elétrico.

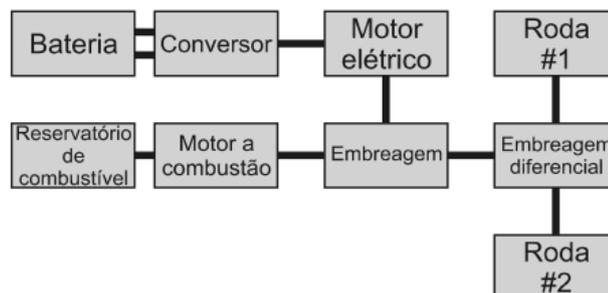
No híbrido série, a tração mecânica fica a cargo do motor elétrico. A energia necessária para alimentá-lo é fornecida por um conversor que recebe energia do gerador e/ou da bateria (FIGURA 2). Para manter a carga do motor à combustão constante, há um gerenciamento do fluxo de potência gerado. Quando o veículo está parado é gerada mais energia do que o motor elétrico necessita e a bateria é recarregada. Desta forma, o motor à combustão se mantém em uma curva ótima, aumentando seu rendimento e economizando combustível. Em uma situação

de frenagem, há sobra de energia cinética, neste instante, inverte-se o fluxo de potência e o motor elétrico passa a ser um gerador, e recarrega a bateria.



Fonte: A Evolução dos Veículos Elétricos, 2005, p.7
 FIGURA 2 - Híbrido série

No híbrido paralelo, a tração mecânica é feita tanto pelo motor elétrico, como pelo motor a combustão (FIGURA 3). É uma combinação das duas formas de tração do híbrido série e, da mesma forma, aproveita a energia cinética para recarregar a bateria. Existem ainda outras topologias de veículos híbridos que são associações, ou derivam destes dois modelos principais.



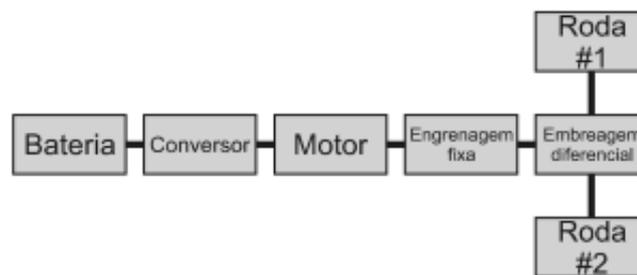
Fonte: A Evolução dos Veículos Elétricos, 2005, p.7
 FIGURA 3 - Híbrido paralelo

1.3.2 Veículo *plug-in*

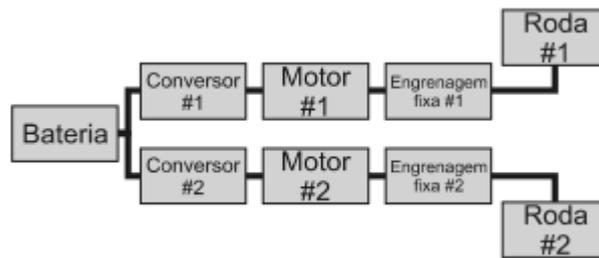
1.3.2.1 Veículo elétrico à bateria

No Veículo Elétrico à Bateria (VEB) a energia elétrica que alimenta o motor é armazenada em uma bateria e/ou em capacitores. Essa energia provém de uma fonte externa ao veículo, como a rede elétrica, à qual o carro é ligado enquanto estiver estacionado. A autonomia desses carros situa-se atualmente na faixa de 70 km a 160 km. Uma das principais vantagens que este modelo apresenta é a eficiência, maior que 85%. O ponto fraco ainda é a bateria, que limita a sua autonomia. Este modelo traz como principal característica, segundo seus fabricantes, a emissão zero de poluentes, fato que pode ser questionado, visto que a energia que os movem nem sempre é gerada de forma limpa.

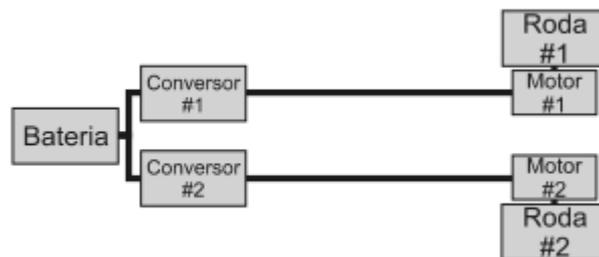
A configuração mais comum destes veículos é um único motor elétrico, a potência mecânica é transferida as rodas por meio de caixa de transmissão (FIGURA 4). Mas há variações deste modelo, com dois conjuntos de conversores, motores e caixas de transmissão (FIGURA 5) e com motores diretamente acoplados as rodas (FIGURA 6).



Fonte: A Evolução dos Veículos Elétricos, 2005, p.8
FIGURA 4 - Carro elétrico com apenas um motor elétrico.



Fonte: A Evolução dos Veículos Elétricos, 2005, p.9
 FIGURA 5 - Carro com conjuntos de conversão, transmissão e motor individuais.



Fonte: A Evolução dos Veículos Elétricos, 2005, p.9
 FIGURA 6 - Carro com motores diretamente acoplados.

1.3.2.2 Veículo elétrico híbrido *plug-in*

Nos veículos híbridos *plug-in*, a forma construtiva é uma combinação do modelo híbrido com o à bateria. Possui bateria, que tanto pode ser alimentada por uma fonte externa, uma característica herdada do VEB, quanto pelo motor-gerador situado a bordo do veículo, particularidade do VEH. A bateria tem capacidade maior do que a do VEH e menor do que a do VEB. Este modelo mescla as duas tecnologias visando reduzir o consumo de combustível e aumentar a autonomia.

2 A POLUIÇÃO ATRIBUÍDA AOS VEÍCULOS ELÉTRICOS *PLUG-IN*

Uma das principais vantagens atribuída aos VEs é a emissão zero de poluentes. E é assim que boa parte das montadoras e fabricantes destes veículos os comercializam. Porém a de ser levado em conta que não há emissão de poluentes associado ao motor a combustão, mas a energia usada para recarregar suas baterias, muitas vezes é gerada por termoelétricas, e boa parte delas usam como combustível derivados do petróleo e carvão.

Baseado nesta situação, este capítulo irá abordar o assunto fazendo um comparativo entre a poluição gerada pelos automóveis com propulsor a combustão (VC) e a poluição gerada caso a energia necessária para a recarga dos veículos elétricos *plug-in* (VEP) seja proveniente de termoelétricas, tendo como base, um estudo feito usando o cenário nacional de geração térmica.

2.1 Análise da poluição dos veículos a combustão

Segundo o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 38% do dióxido de carbono (CO₂) emitidos pela frota brasileira é oriunda dos automóveis. As consequências desta poluição, nas grandes cidades, é a gama de doenças atribuídas a alta concentração de poluentes provenientes dos motores a combustão, no ar que respiramos.

Para tentar mudar este cenário, o uso de bicicleta, trens, transportes de uso coletivo em geral tem sido muito incentivado em grandes cidades, e é claro o uso de veículos com emissão zero. No Brasil há um grande estímulo para o uso do etanol como combustível, que tem uma queima mais “limpa” emitindo menos poluentes.

A TABELA 1 traz as projeções de vendas ao ano, de automóveis no Brasil até 2030. Baseado nestas projeções será possível mensurar a emissão de CO₂ emitida por estes veículos.

TABELA 1

Projeção de venda ao ano e da frota total de automóveis de 2010 a 2030
(em milhões)

Ano	Frota de Automóveis no Brasil	Projeção¹ de Automóveis Vendidos a.a.	Projeção de VC Vendidos a.a.
2010	34,69	2,8	2,8
2011	37,65	2,96	2,932
2012	40,77	3,12	3,064
2013	44,05	3,28	3,196
2014	47,49	3,44	3,328
2015	51,09	3,6	3,46
2016	54,81	3,72	3,402
2017	58,65	3,84	3,344
2018	62,61	3,96	3,286
2019	66,69	4,08	3,228
2020	70,89	4,2	3,17
2021	75,23	4,34	2,976
2022	79,71	4,48	2,782
2023	84,33	4,62	2,588
2024	89,09	4,76	2,394
2025	93,99	4,9	2,2
2026	99,03	5,04	2,056
2027	104,21	5,18	1,912
2028	109,53	5,32	1,768
2029	114,99	5,46	1,624
2030	120,59	5,6	1,48

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2010.

¹ Vendas ao ano, incluindo VEP, VEH e VC.

A TABELA 2 traz o fator de emissão de CO₂ por tipo de combustível. Para efeito de cálculo, será feita uma média entre as emissões da gasolina, Etano Anidro e Etanol Hidratado, visto que a maior parte da frota de automóveis utiliza estes combustíveis.

A TABELA 3 traz os dados de quilometragem por litro de combustível, para veículos fabricados de 2000 a 2009.

TABELA 2

Fatores de emissão de CO₂

Gasolina (kg/l)	Etanol Anidro (kg/l)	Etanol Hidratado (kg/l)
2,269	1,233	1,178

Fonte: 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011, Tabela 6, P-35

$$Média_{kg/L} = \frac{2,269 + 1,233 + 1,178}{3} = 1,56 [kg / L] \quad (EQ.1)$$

TABELA 3

Quilometragem por litro de combustível para automóveis e veículos comerciais leves (km/l)

Ano de fabricação	Gasolina	Etanol Hidratado	Flex Fuel	
			Gasolina	Etanol Hidratado
2000	11,89	6,96	-	-
2001	11,97	6,96	-	-
2002	10,9	7,2	-	-
2003	11,2	7,5	10,3	6,9
2004	11,4	8,6	10,8	7,3
2005	11,3	8,6	11,5	7,7
2006	11,3	6,9	11,7	7,8
2007	11,3	6,9	11,7	7,8
2008	9,74	6,9	11,7	7,38
2009	9,5	-	12	8
2009	9,5	-	12	8
Média	10,90	7,39	11,46	7,61

Fonte: 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2011, Tabela 16, P-47

$$Média_{km/L} = \frac{10,9 + 7,39 + 11,46 + 7,6}{4} = 9,33 [km / L] \quad (EQ.2)$$

Para ter uma estimativa quantitativa das emissões de CO₂ geradas por um único automóvel, no período de um ano, será considerado que a quilometragem média diária é de 40 km, que resulta em 14.600 km/ano.

Assim, usando os resultados das equações (1) e (2) temos que a produção média de CO₂ é:

$$ConsComb_{ano} = \frac{km / ano}{Média_{km/L}} = \frac{14600}{9,33} = 1.564,8 [L / ano] \quad (EQ.3)$$

$$PROD_{CO_2/ano} = ConsComb_{ano} \times Média_{kg/L} = 1.564,8 \times 1,56 = 2.441,2 [kg / ano] \quad (EQ.4)$$

Os resultados mostram que, em média um automóvel, rodando 40 km por dia, emite quase 2,5 toneladas de CO₂ por ano.

2.2 Análise da poluição dos veículos elétricos *plug-in*

2.2.1 Emissão de CO₂ nas usinas termoeletricas do Brasil

As TABELA 4 traz os valores de produção de CO₂ por MWh das usinas termoeletricas convencionais instaladas no Brasil, desconsiderando as termoeletricas nucleares. A tabela é baseada nos resultados de um estudo feito pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e leva em conta inclusive a faixa de potência em que as usinas operam para montar os cenários. Porém para este estudo será apenas considerado os índices de emissão na faixa de potência máxima.

Com a média de emissão para cada um dos cenários, a média geral é:

$$Média_{tCO_2/MWh} = \frac{2,08 + 1,41 + 1,25}{3} = 1,58 [tCO_2 / MWh] \quad (EQ.5)$$

TABELA 4

Fatores de emissão de CO₂ para UTE's

Combustível	Tipo de ciclo	¹ Fator de emissão calculado (t CO ₂ / MWh)	² Fator de emissão calculado (t CO ₂ / MWh)	³ Fator de emissão calculado (t CO ₂ / MWh)
Biomassa - Bagaçode cana	CTS	2,83	1,79	2,14
Biomassa -Resíduos de madeira	CTS	6,98	2,69	2,14
Biomassa – Mistura	CTS	2,86	2,22	1,77
Carvão Mineral	CTS	2,14	0,97	0,44
Gás de refinaria	CTS	1,49	1,4	1,31
Gás Natural	CTS	0,79	0,57	0,46
	CTC	0,53	0,38	0,31
Licor negro	CTS	2,63	2,33	2,18
Mistura Combustível fóssil	CTS	1,56	1,56	1,56
Óleo Combustível	CTS	0,98	0,97	0,95
	CTC	0,77	0,77	0,75
Óleo Diesel	Mtp	0,98	0,89	0,82
Xisto betuminoso	CTS	2,55	1,83	1,43
Média		2,0838462	1,41308	1,25077

Fonte: Termeletricidade no Brasil – Proposta Metodológica para Inventário das Emissões Aéreas e sua Aplicação para o Caso do CO₂ COPPE / UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2004, P-263 a 265.

¹Cenário B, ²Cenário C, ³Cenário D

Notas: CTS- ciclo térmico simples; CTC- ciclo térmico combinado; Mtp - Motor a Pistão.

2.2.2 Consumo de energia elétrica de um veículo elétrico *plug-in*

A TABELA 5 traz os dados dos principais modelos de veículos elétricos que estão no mercado ou irão entrar em produção. Através dela foi possível estimar os dados mais relevantes, como consumo médio e autonomia média deste tipo de veículo.

TABELA 5

Característica dos veículos elétricos *plug-in*

Fabricante / Montadora	Modelo	Categoria (Plug-in)	Consumo em Recarga (kWh)	Autonomia (km)	Tempo de Recarga (h)
Reva	REVAi	Elétrico	2,2	80	8
Mitsubishi	MiEV	Elétrico	3,3	160	7
Nissan	LEAF	Elétrico	3,3	160	8
Fiat	Palio	Elétrico	3,6	100	8
Renaut	Fluence ZE	Elétrico	3,3	160	8
Renaut	Kangoo ZE	Elétrico	3,3	160	8
Opel	Ampera	Híbrido	3,2	60	4
GM	Volt	Híbrido	5	60	4
Mini	Cooper E	Elétrico	7,6	160	6
Ford	Focus E	Elétrico	6,6	160	4
Daimler AG	Smart fortwo ED	Elétrico	3,5	160	6
Fisker	Karma	Híbrido	-	80	7
Kia	Naimo	Elétrico	-	200	6
Hyundai	BlueOn	Elétrico	-	140	6
Audi	A1 e-tron	Híbrido	-	50	6
Pegeout	ION	Elétrico	-	150	6
SAAB	ePower	Elétrico	-	200	6
Citroem	C-Zero	Elétrico	-	150	6
			4,08	132,77	6,33

Fonte: Site das montadoras e fabricantes.

Com os dados da tabela acima, é possível mensurar o consumo de energia de um VEP por quilometro rodado.

$$Consum_{kWh/km} = \frac{\bar{T} \times \bar{C}}{\bar{Aut}} \left[\frac{kWh}{km} \right] \quad (EQ.6)$$

Onde:

\bar{T} = Tempo médio de recarga

\bar{C} = Consumo médio durante a recarga

\overline{Aut} = Autonomia média com uma recarga

Através da equação 6 tem-se que o consumo médio de energia por quilometro rodado é de aproximadamente, 195 Wh. Sendo assim, para efeito de comparação com o cálculo adotado para o veículo a combustão, a quilometragem diária é de 40 km. Usando os dados da TABELA 5 que traz a autonomia média dos VEP tem-se que o veículo deverá se conectar a rede de energia elétrica para recarga das baterias, aproximadamente duas vezes por semana.

$$ConsuEnrg_{MWh/ano} = 195 \times 14600 = 2,847 [MWh / ano] \quad (EQ.7)$$

Usando os resultados obtidos nas equações 5 e 7, é possível chegar a quantidade de CO₂ que um VEP produz ao longo de um ano, considerando que ele use exclusivamente energia gerada por termoelétricas.

$$PROD_{CO_2/ano} = Média_{tCO_2/MWh} \times ConsuEnrg_{MWh/ano} \quad (EQ.8)$$

$$PROD_{CO_2/ano} = 1,58 \times 2,847 = 4,498 [tCO_2 / ano] \quad (EQ.9)$$

O resultado da equação 9 mostra que um VEP produz quase 4,5 toneladas de CO₂ por ano.

Baseado nas projeções feitas pela ABVE, a TABELA 6 traz um quantitativo da frota de VEH até 2030.

TABELA 6

Projeção de vendas ao ano e o tamanho da frota de veículos elétricos *plug-in* até 2030
(em milhões)

Ano	Projeção da Frota de Automóveis no Brasil	Projeção de Venda a.a. VEP	Projeção da Frota de VEP
2010	34,69	0	0
2011	37,65	0,008	0,008
2012	40,77	0,016	0,024
2013	44,05	0,024	0,048
2014	47,49	0,032	0,08
2015	51,09	0,04	0,12
2016	54,81	0,092	0,212
2017	58,65	0,144	0,356
2018	62,61	0,196	0,552
2019	66,69	0,248	0,8
2020	70,89	0,3	1,1
2021	75,23	0,502	1,602
2022	79,71	0,704	2,306
2023	84,33	0,906	3,212
2024	89,09	1,108	4,32
2025	93,99	1,31	5,63
2026	99,03	1,542	7,172
2027	104,21	1,774	8,946
2028	109,53	2,006	10,952
2029	114,99	2,238	13,19
2030	120,59	2,47	15,66

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), 2010.

2.3 Comparativo entre a poluição gerada pelos VC e VEP

Os resultados das equações 4 e 9 mostram a quantidade de CO₂ gerada, por um automóvel que usa motor a combustão como propulsor, e respectivamente um automóvel que usa um motor elétrico como propulsor.

A análise é feita dentro de um cenário em que um VEP usa para recarga de suas baterias energia exclusivamente oriunda de fontes termoelétricas, visto que em virtude do despacho econômico, esta situação é comum em horários de ponta.

No cenário atual o uso de geração térmica esta sendo cada vez mais solicitada para suprir a demanda no horário de ponta, e segundo o informativo do Operador Nacional do Sistema (ONS), haverá importantes modificações nas características da matriz energética brasileira para os próximos cinco anos. A redução da participação relativa da hidroeletricidade e a perda gradual da regularização poderão levar à necessidade, cada vez maior, de serem despachadas usinas térmicas para o atendimento da demanda, principalmente, na hora da ponta.

Isso mostra que mesmo em países cuja base da matriz energética é formada por energia limpa, como é o caso do Brasil, a inclusão dos veículos elétricos pode causar a transferência da poluição dos grandes centros para as áreas onde já existem termoelétricas e onde novas serão construídas para atender a nova demanda.

Os resultados obtidos mostram que o consumo de energia de um veículo elétrico, usando energia proveniente exclusivamente de termoelétricas e, considerando que foi feita uma média entre as emissões CO₂ de todos os tipos de termoelétricas existentes no país e excluindo a proporção destes tipos para o cálculo da média referida, tem-se que o quantitativo emitido de CO₂ atribuído ao consumo de energia por um veículo elétrico no período de um ano supera em 2 toneladas as emissões estimadas para um veículo a combustão, em percentual isso se traduz em 84% mais emissão de CO₂ pelo consumo de energia elétrica proveniente de fontes térmicas.

Baseado nos dados das tabelas 1 e 6, e dos resultados obtidos nas equações 4 e 9, foi possível gerar o gráfico ilustrado na figura 7, que traz um comparativo entre o número de veículos vendidos no período de 2010 a 2030, e cruza as informações das emissões por eles atribuídas no mesmo período. Nota-se que em 2030 os VEP representarão pouco mais de 17% da frota (considerando apenas VC e VEP vendidos no período), porém eles serão responsáveis indiretamente por 34% das emissões totais de CO₂.

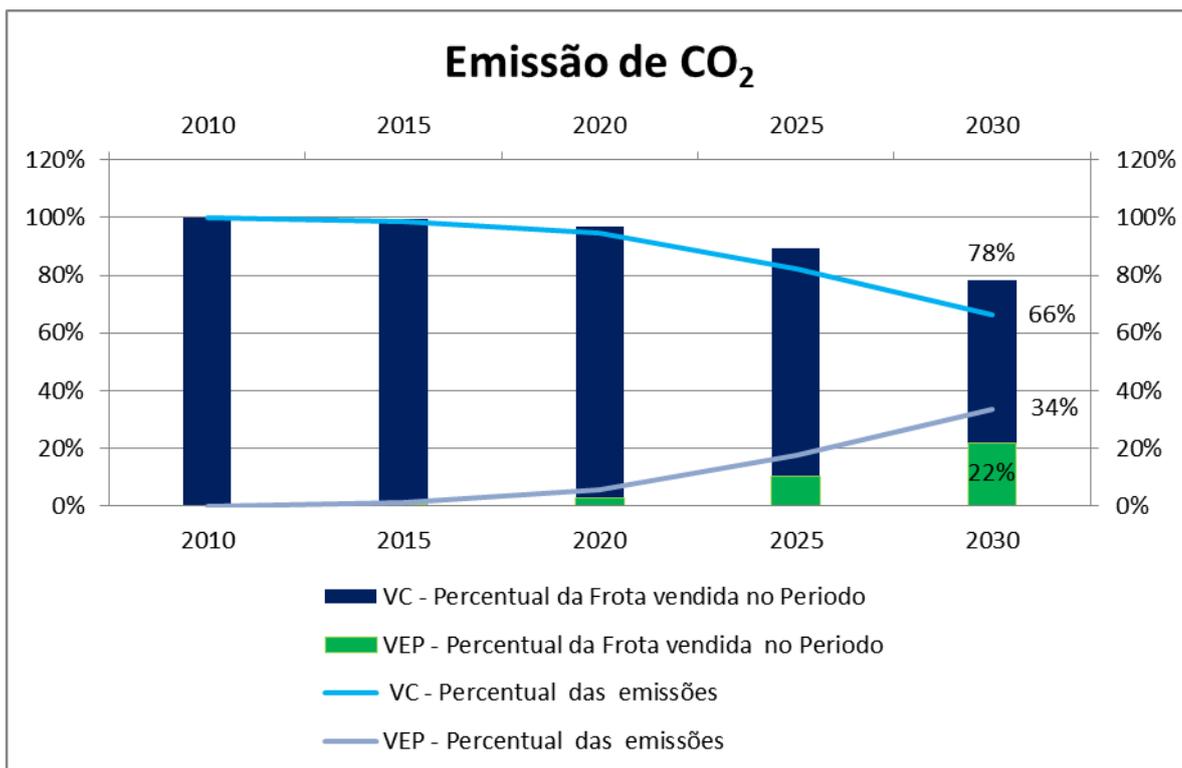


FIGURA 7 – Comparação entre número de veículos e emissão de CO₂

3 IMPACTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA.

Muitos estudos que trazem como tema os veículos elétricos *plug-in*, na sua grande maioria enfatizam os benefícios atribuídos a eles, silencioso, econômico, emissão zero de poluentes, enfim preocupam-se em mostrar que eles trarão grandes benefícios. O que deve se confirmar, o simples fato de ter um trânsito mais silencioso já é um grande benefício, mas o que mais pesa é a relação custo por quilometro rodado, comparações feitas com o preço da gasolina se mostram muito atraentes. Outro ponto, tido como benefício diferenciado é a forma de reabastecer o VEP. Em tempos que se vende e compra-se tudo sem sair de casa, o conforto de chegar do trabalho no fim de tarde e coloca-lo na tomada de casa, e na manhã seguinte ele estar com o “tanque cheio” só vem a somar aos adeptos destes costumes.

O benefício diferenciado, conforto ou comodidade, quando analisado tecnicamente, é traduzido em um grande problema.

Neste capítulo será abordado o tema principal do trabalho. Através de simulações via softwares, será demonstrado como a inserção dos VEP podem afetar os sistemas de transmissão, e distribuição.

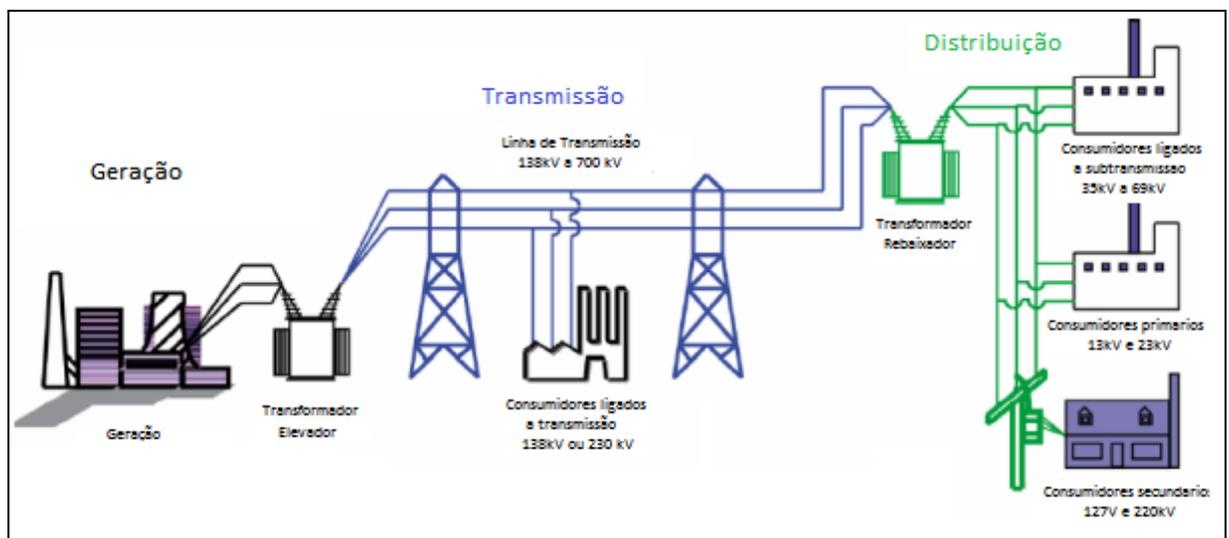
3.1 Sistema Elétrico de Potência (SEP)

A estrutura de um sistema elétrico de potência (SEP) compreende os sistemas de geração, transmissão e distribuição, em geral cobrindo uma grande área geográfica. A figura 8 apresenta um esquema desta segmentação.

No Brasil o sistema elétrico de potência é interligado formando o sistema interligado nacional (SIN), que abrange a maior parte do território nacional: as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da Norte.

No Norte do país existem os chamados sistemas isolados. Estes sistemas ainda não estão conectados ao SIN, e são supridos em sua grande maioria por geradores à óleo diesel.

A coordenação e controle dos sistemas de geração e transmissão da Rede Básica (instalações com tensões iguais ou maiores que 230 kV), no âmbito do SIN estão a cargo do operador nacional do sistema (ONS).



Fonte: GTD – Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica - Universidade Federal do Ceará. 2009 p. 17

FIGURA 8 - Topologia típica de um sistema elétrico de potência

3.1.1 Geração de energia elétrica

O sistema de produção de energia elétrica do Brasil pode ser classificado como um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. A maior parte da capacidade instalada é composta por usinas hidrelétricas, que se distribuem em 14 diferentes bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país.

A capacidade instalada dos empreendimentos de geração em operação no país alcançou 114,22 mil megawatts (MW) no primeiro semestre de 2011, de acordo com dados do Banco de Informações da Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A consulta realizada em 30 de junho revela a potência total fiscalizada no país. Na consulta realizada, as usinas hidrelétricas respondem por 67,77% da matriz energética brasileira no final de junho.

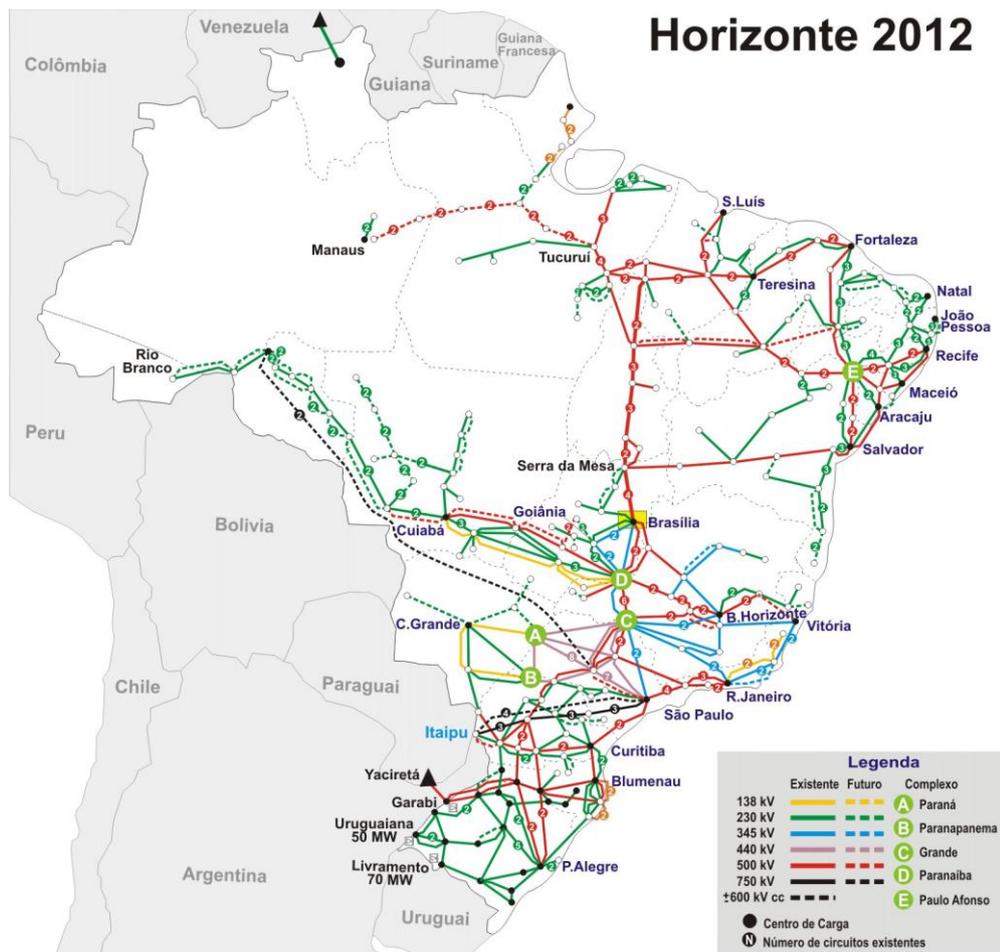
A segunda maior fonte com participação na matriz nacional, no fim do semestre, é a termelétrica, responsável por 26,2% da capacidade. As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) ficam em terceiro, com 3,14%. Outras fontes participantes da matriz são a nuclear, eólica e as centrais geradoras de energia (CGH) com 1,76%, 0,88% e 0,17%, respectivamente.

A potência total de 114,22 mil megawatts (MW) é representada por 2.434 empreendimentos em operação no país

3.1.2 Sistema de transmissão de energia elétrica

3.1.2.1 Transmissão

As redes de transmissão ligam as grandes usinas de geração às áreas de grande consumo. Em geral apenas poucos consumidores com um alto consumo de energia elétrica são conectados às redes de transmissão onde predomina a estrutura de linhas aéreas. A segurança é um aspecto fundamental para as redes de transmissão. Qualquer falta neste nível pode levar a descontinuidade de suprimento para um grande número de consumidores. Neste nível do sistema é permanentemente monitorado pelo operador nacional do sistema (ONS). O nível de tensão depende do país, mas normalmente o nível de tensão estabelecido está entre 220 kV e 765 kV. A figura 9 traz o mapa da rede básica (instalações com tensões iguais ou maiores que 230 kV) de transmissão.



Fonte: Operador nacional do sistema (ONS)

http://www.ons.org.br/conheca_sistema/pop/pop_sistema_transmissao.aspx

Figura 9 – Mapa da rede básica transmissão de energia elétrica do Brasil

3.1.2.2 Subtransmissão

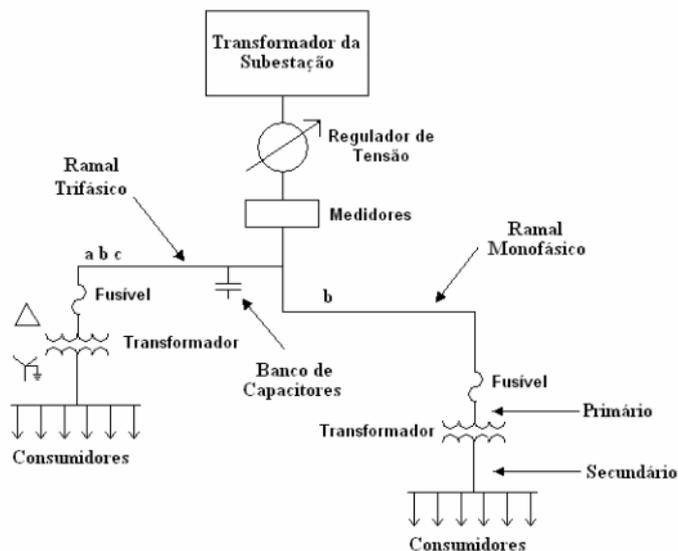
A rede de subtransmissão recebe energia da rede de transmissão com objetivo de transportar energia elétrica a pequenas cidades ou importantes consumidores industriais. O nível de tensão está entre 35 kV e 160 kV. Em geral, o arranjo das redes de subtransmissão é em anel para aumentar a segurança do sistema. A estrutura dessas redes é em geral em linhas aéreas, por vezes cabos subterrâneos próximos a centros urbanos fazem parte da rede. Os sistemas de proteção são do mesmo tipo daqueles usados para as redes de transmissão e o controle é regional.

3.1.3 Sistema de distribuição

As redes de distribuição apresentam características muito particulares e que as diferenciam das redes de transmissão. Entre estas características distinguem-se: a topologia radial, as múltiplas conexões, as cargas de distinta natureza, as linhas com resistências muitas vezes comparáveis à reatância e na maioria das vezes sem transposições.

Um sistema de distribuição geralmente começa na subestação, que é alimentada por uma linha de subtransmissão. Em alguns casos as subestações de distribuição são alimentadas por linhas de transmissão. Cada subestação pode alimentar um ou mais alimentadores, que geralmente são radiais, o que faz com que haja apenas um caminho para a circulação de corrente elétrica, como mostra a Figura 10.

A proteção dos sistemas de distribuição de energia elétrica é feita por equipamentos especificados, compondo um sistema coordenado e seletivo. É comum encontrar associações de relés, disjuntores, elos fusíveis, religadores, seccionadores, dentre outros equipamentos, que de forma coordenada e seletiva fazem a proteção dos sistemas.



Fonte: Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição - Universidade Estadual Paulista, 2009, p.25

FIGURA 10 - Topologia de um sistema básico de distribuição

3.2 Inserção dos veículos elétricos no Brasil

Como já citado no capítulo anterior, as projeções quantitativas dos veículos elétricos híbrido, a combustão e elétricos *plug-in*, tem como base os indicadores feitos pela Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE). Através deles a figura 11 traz a dimensão da frota esperada para cada uma destas categorias até 2030.

Estes indicadores datam de 2010, época em que tanto o mercado externo quanto o mercado interno estavam mais favoráveis para que estas estimativas não destoassem de um cenário futuro. Porém as recentes mudanças nas políticas internas para a importação de veículos, só vieram a dificultar a entrada dos VEs no Brasil. Ruim pelo lado de que deixaremos de usufruir uma tecnologia promissora. Bom, se levar em conta que se ganha tempo para adequar o sistema elétrico para a nova demanda que cedo ou tarde irá se tornar real.

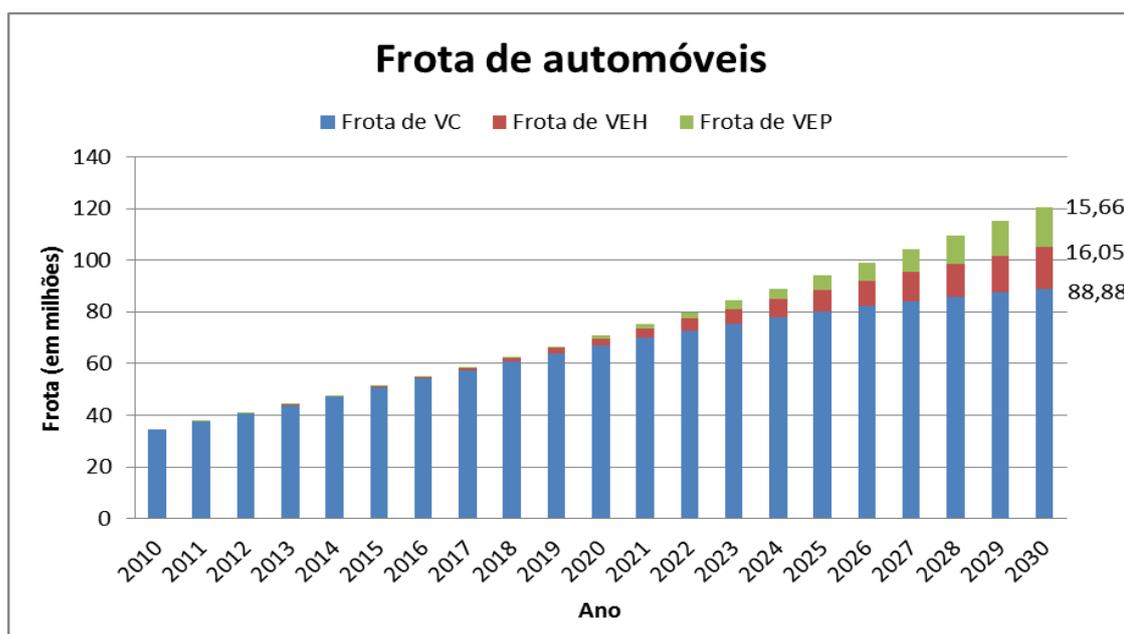


FIGURA 11 – Projeção da frota de automóveis.

Analisando o gráfico representado na figura acima, os VEP tem a menor frota em 2030, ficando pouco atrás dos VEH. Porém se analisar o gráfico representado na FIGURA 11, que trás as projeções de vendas anuais de automóveis, os VEP chegam em 2030 representando quase 45% das vendas totais.

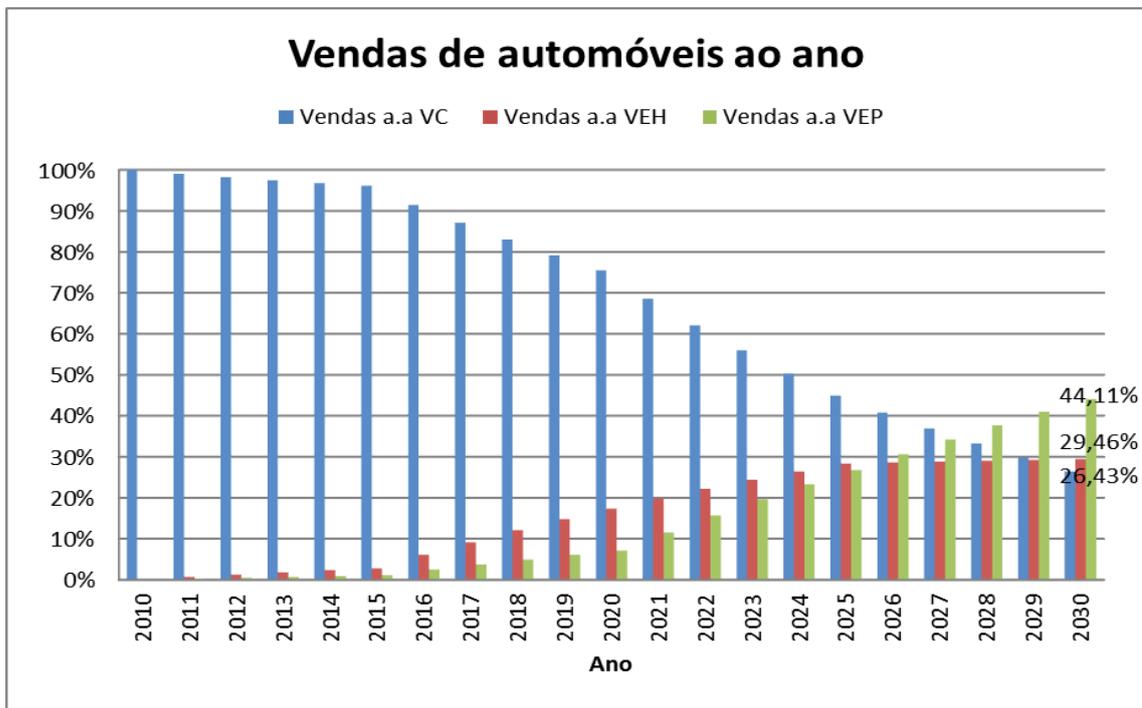
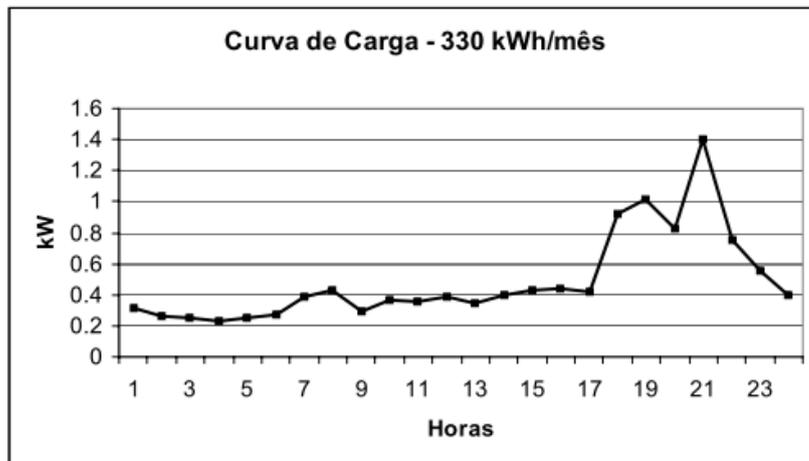


FIGURA 12 – Projeção de vendas ao ano.

3.3 Curvas típicas de consumo de energia elétrica

O principal problema para o sistema elétrico como um todo não é o fato dos VEP usarem energia diretamente nas residências dos usuários, mas o horário em que isso será feito. O fato de chegar em casa do trabalho e colocar o VEP para recarregar, inevitavelmente irá causar grandes problemas. Se hoje, o hábito de usar o chuveiro elétrico nestas mesmas condições torna o período entre as 18 e as 21 horas crítico para o sistema elétrico, é relevante a preocupação com a inserção em massa de uma nova carga coincidente.

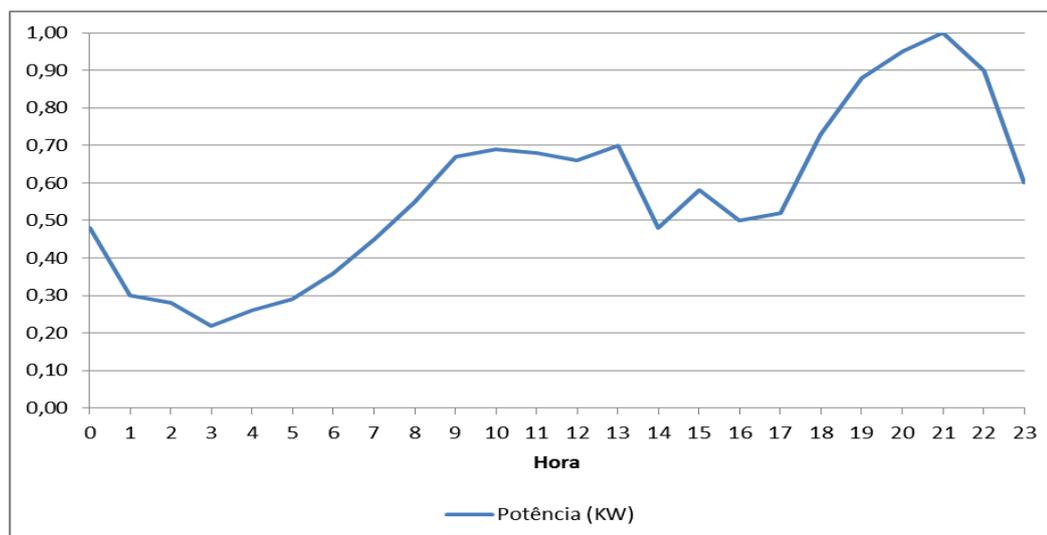
A curva de carga de um consumidor residencial caracteriza-se por um consumo praticamente constante durante o dia inteiro com um aumento no fim da tarde e um pico de demanda, provocado principalmente pelo uso do chuveiro elétrico (entre 18 e 21 horas). A FIGURA 1213 mostra a curva de carga de um dia útil de um consumidor real, que consome cerca de 330 kWh por mês.



Fonte: Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição, 2009 p.31

FIGURA 13 - Curva de carga de um consumidor residencial.

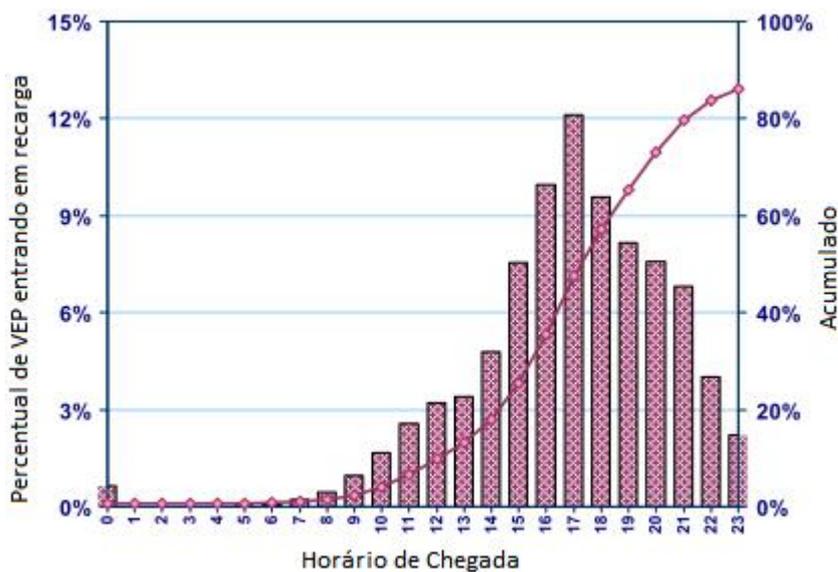
Quando a curva é analisada para um grupo de consumidores com perfil de consumo semelhante, no caso residencial, o resultado é demonstrado na FIGURA 14. Por mais que haja pequenas variações no consumo individual de algumas residências, estas diferenças atenuam grandes variações na curva de carga, e o perfil da curva para um dia de semana normal, é muito semelhante ao da figura abaixo.



Fonte: Distribuição de energia elétrica análise de sistemas de distribuição - UNIPAMPA

FIGURA 14 - Curva de carga para um grupo de consumidores. 2010 p.16

A FIGURA 15 mostra como seria se todos os usuários de VEP os colocassem para recarregar ao chegarem a suas residências. Como resultado, em pleno horário de pico mais 50% dos VEP estão conectados a rede e estes números só crescem com o passar das horas, chegando a mais de 80% às 23 horas.



Fonte: *Evaluations of plug-in electric vehicle distribution system impacts*, 2010 p.2
 FIGURA 15 – Coincidência do horário de recarga dos VEP.

3.4 Impacto dos veículos elétricos *plug-in* no sistema de transmissão

3.4.1 Metodologia para projeção do consumo de energia elétrica dos veículos elétricos *plug-in* em uma cidade.

Para projetar o consumo de energia atribuída aos VEP em uma cidade específica, é necessário saber qual é a fração da frota desta cidade que os mesmos irão compor. Para isso será usada como base à frota atual de automóveis da cidade escolhida e aplicada a ela um fator aproximado dos parâmetros de crescimento da frota projetados para o Brasil.

A aplicação deste fator é justificada pela análise dos dados de crescimento de frota das cidades escolhidas e do crescimento da frota nacional. A comparação mostrou que o cresci-

mento da frota nas cidades em estudo é pouco menor e assim sendo foi aplicado a elas um fator de 90% do crescimento estimado para o Brasil.

A tabela 7 traz as projeções da participação de cada uma das categorias de automóveis na composição da frota total para o período em estudo.

TABELA 7

Proporção da frota para cada tipo de automóvel

Ano	Total ¹ de Veículos no Brasil	VC – Porcentagem da Frota Total	VEH - Porcentagem da Frota Total	VEP - Porcentagem da Frota Total
2010	34,69	100,00%	0,00%	0,00%
2011	37,65	99,93%	0,05%	0,02%
2012	40,77	99,79%	0,15%	0,06%
2013	44,05	99,62%	0,27%	0,11%
2014	47,49	99,41%	0,42%	0,17%
2015	51,09	99,18%	0,59%	0,23%
2016	54,81	98,65%	0,96%	0,39%
2017	58,65	97,90%	1,50%	0,61%
2018	62,61	96,95%	2,17%	0,88%
2019	66,69	95,86%	2,94%	1,20%
2020	70,89	94,65%	3,79%	1,55%
2021	75,23	93,15%	4,72%	2,13%
2022	79,71	91,40%	5,70%	2,89%
2023	84,33	89,47%	6,73%	3,81%
2024	89,09	87,37%	7,78%	4,85%
2025	93,99	85,16%	8,85%	5,99%
2026	99,03	82,90%	9,86%	7,24%
2027	104,21	80,61%	10,80%	8,58%
2028	109,53	78,31%	11,69%	10,00%
2029	114,99	76,01%	12,52%	11,47%
2030	120,59	73,70%	13,31%	12,99%

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico

¹ em milhões

O critério adotado para a escolha das cidades foi, o tamanho da população, ter mais de 200 mil habitantes e estar em uma região metropolitana. As cidades que contemplam estas características são justamente as mais apropriadas e indicadas para o uso dos veículos elétri-

cos. É para as grandes cidades que estes veículos foram pensados, mesmo com a limitação para grandes deslocamentos como é caso dos veículos puramente elétricos, a autonomia deles atende plenamente a necessidade de quem mora em uma cidade assim, além disso, são para elas que estes veículos são vistos como solução para os problemas de poluição gerada pelos automóveis comuns.

As cidades escolhidas para as simulações foram Canoas, Novo Hamburgo e São Leopoldo, todas no Rio Grande do Sul. Com os dados de frota de automóveis das respectivas cidades foram feitas as tabelas abaixo, que mostram as projeções do quantitativo de veículos elétricos *plug-in* bem como a potência atribuída ao total da frota dos mesmos.

TABELA 8

Projeção da frota de veículos elétricos *plug-in* para Canoas
(em milhões)

Ano	Frota do Brasil	Frota de Canoas	Projeção de VEP's	Consumo Total (kWh)
2010	34,69	0,0889	0	0
2015	51,09	0,118	0,00069	2.823,08
2020	70,89	0,163	0,00620	25.313,58
2025	93,99	0,217	0,0192	78.293,29
2030	120,59	0,278	0,0370	151.034,54
	100%	0,26%		

TABELA 9

Projeção da frota de veículos elétricos *plug-in* para Novo Hamburgo
(em milhões)

Ano	Frota do Brasil	Frota de Novo Hamburgo	Projeção de VEP's	Consumo Total (kWh)
2010	34,69	0,073	0	0
2015	51,09	0,096	0,00056	2.300,94
2020	70,89	0,133	0,00505	20.631,76
2025	93,99	0,177	0,0156	63.812,72
2030	120,59	0,227	0,0302	123.100,25
	100%	0,21%		

TABELA 10

Projeção da frota de veículos elétricos *plug-in* São Leopoldo
(em milhões)

Ano	Frota do Brasil	Frota de São Leopoldo	Projeção de VEP's	Consumo Total (kWh)
2010	34,69	0,052	0	0
2015	51,09	0,069	0,00040	1.651,96
2020	70,89	0,096	0,00363	14.812,54
2025	93,99	0,127	0,0112	45.814,26
2030	120,59	0,163	0,0217	88.379,67
	100%	0,15%		

3.4.2 Simulações com software ANAREDE

Para mensurar o impacto no sistema de transmissão foram realizadas simulações com software o ANAREDE, programa este desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e é referência para testes e simulações neste tipo de sistema. Toda a estrutura do sistema interligado nacional (SIN) fica integrada para as simulações, porém foram filtradas as informações da área de interesse. A versão utilizada do sistema SIN é de 2009.

Para as simulações foram usadas as características do sistema em regime de carga pesada, ou seja, no horário de pico (18 às 21 horas). Além disso, será somente agregada à potência da subestação escolhida a potência referente à inserção dos veículos *plug-in*. Foi desconsiderado o aumento de demanda pelo crescimento da população ou crescimento do consumo de energia per capita. As análises serão feitas em regime permanente.

Para balizar as simulações foram feitos dois cenários de carregamento do sistema. Estes cenários irão estipular o percentual da potência total dos veículos elétricos que será adicionado ao sistema que será simulado. O percentual nada mais é do que um fator de coincidência da fração da frota (estimada para cada ano) de veículos elétricos que estarão sendo recarregados no horário de pico, sem nenhum tipo de controle da demanda. O primeiro cenário irá considerar 15% da potência total prevista, o segundo cenário irá considerar 25%.

diagrama unifilar do sistema, os resultados do fluxo de potência, onde as hachuras salientam a existência de sobrecarga. Neste caso mesmo com sobrecarga elevada do transformador (FIGURA 18 – 100,73 e 157,56 % para os cenários 1 e 2, respectivamente) as linhas de transmissão adjacentes a subestação não sofrem violação de tensão nem de potência.

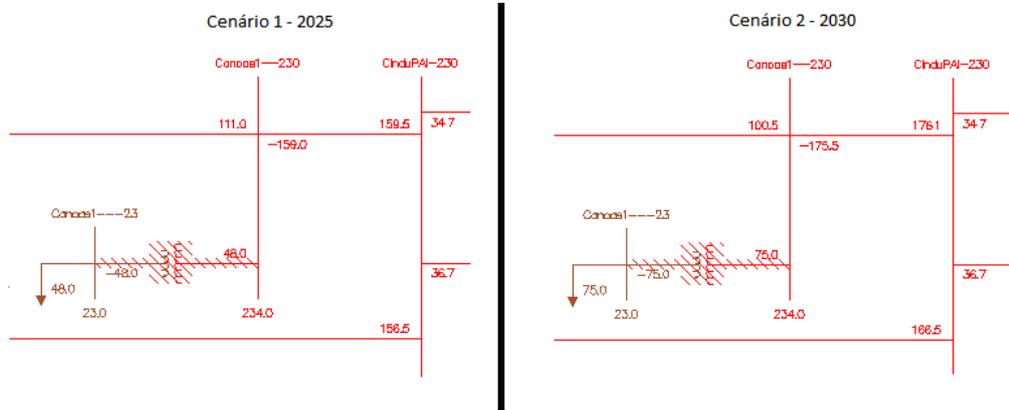


FIGURA 17 - Resultados das simulações em Canoas.

MONITORACAO DE FLUXOS SELECIONADOS - Cenário 1 - 2025

DA BARRA NOME	PARA BARRA NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar	MVA	VIOLACAO MVA	CARREGAMENTO % SEVERIDADE	
1262	9268	1	56.0	14.0	57.8	3.8 *	106.99 %	
1268	9245	1	45.9	23.1	51.4	1.4 *	102.76 %	
1276	8680	2	12.1	4.9	13.1	1.1 *	109.01 %	
8646	8647	2	-12.9	0.9	12.9	0.9 *	107.65 %	
8646	8647	1	-12.6	0.9	12.6	0.6 *	105.38 %	
1190	1324	1	48.0	15.3	50.4	0.4 *	100.73 %	
1233	2070	1	-19.9	2.9	20.1	0.1 *	100.65 %	
1304	8697	1	15.8	6.5	17.1	0.1 *	100.50 %	
IND SEVER.				8.7				

MONITORACAO DE FLUXOS SELECIONADOS - Cenário 2 - 2030

DA BARRA NOME	PARA BARRA NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar	MVA	VIOLACAO MVA	CARREGAMENTO % SEVERIDADE
1190	1324	1	75.0	24.1	78.8	28.8 *****	157.56 %
1262	9268	1	56.0	14.0	57.8	3.8 *	106.99 %
1268	9245	1	45.9	23.1	51.4	1.4 *	102.76 %
1276	8680	2	12.1	4.9	13.1	1.1 *	109.00 %
8646	8647	2	-12.9	0.9	12.9	0.9 *	107.65 %
8646	8647	1	-12.6	0.9	12.6	0.6 *	105.38 %
1233	2070	1	-19.9	2.9	20.1	0.1 *	100.65 %
1304	8697	1	15.8	6.5	17.1	0.1 *	100.49 %

FIGURA 18 - Relatório de fluxo de potência das simulações em Canoas.

3.4.3.2 Simulação em Novo Hamburgo

A potência da subestação em horário de pico é de 29 MW. Considerando o primeiro cenário de carregamento do sistema, as simulações mostram que aproximadamente em 2026, quando a potência estimada será de 43 MW a subestação estará saturada. Os resultados com o segundo cenário de carregamento, apontam que aproximadamente em 2023 a subestação estará sobrecarregada. A FIGURA 19 mostra no unifilar do sistema, os resultados, onde as hachuras salientam a existência de sobrecarga que neste caso não ficam restritas a subestação, e abrangem as linhas de transmissão adjacentes. O relatório das simulações mostra o percentual de sobrecarga nas linhas afetadas (FIGURA 20).

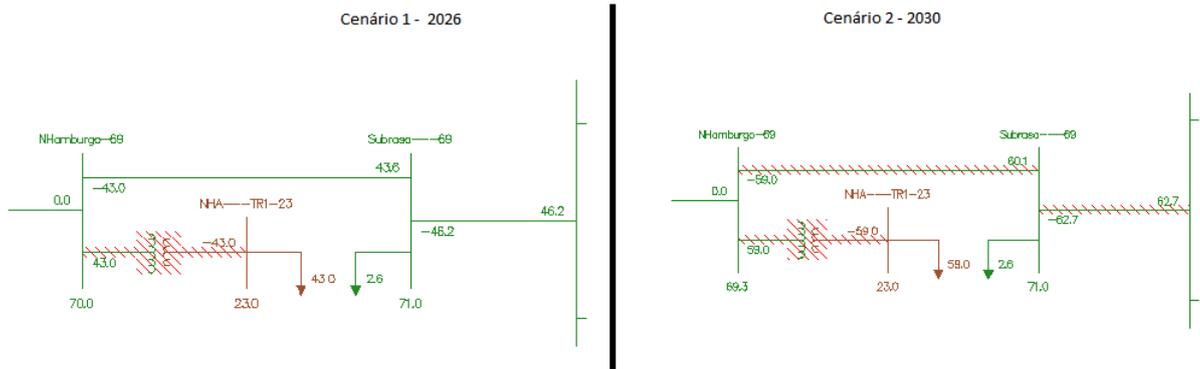


FIGURA 19 - Resultados das simulações em Novo Hamburgo

MONITORAÇÃO DE FLUXOS SELECIONADOS - Cenário 1 - 2026

DA BARRA NOME	PARA BARRA NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar	MVA	VIOLAÇÃO MVA	CARREGAMENTO % SEVERIDADE
1262	9268						
PAlegre6--69	PAlegre14-69	1	56.0	14.0	57.8	3.8 *	106.99 %
1268	9245						
PAlegre10-230	PAlegre10-13	1	45.9	23.1	51.4	1.4 *	102.75 %
8653	8652						
NHA---TR1-23	NHamburgo-69	1	-43.0	4.5	43.2	1.2 *	102.94 %
1276	8680						
SMarial--138	SMAl--TRs-13	2	12.1	4.9	13.1	1.1 *	109.01 %
8646	8647						
LAJ1--TRs-13	Lajeadol--69	2	-12.9	0.9	12.9	0.9 *	107.65 %
8646	8647						
LAJ1--TRs-13	Lajeadol--69	1	-12.6	0.9	12.6	0.6 *	105.38 %
1233	2070						
Pelotas1--69	Pelotas1-138	1	-19.9	2.8	20.1	0.1 *	100.63 %
1304	8697						
Taquari---69	TQR---TR1-13	1	15.8	6.5	17.1	0.1 *	100.49 %
----- IND SEVER.			8.7	-----			

MONITORAÇÃO DE FLUXOS SELECIONADOS - Cenário 2 - 2030

DA BARRA NOME	PARA BARRA NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar	MVA	VIOLAÇÃO MVA	CARREGAMENTO % SEVERIDADE
8653	8652						
NHA---TR1-23	NHamburgo-69	1	-59.0	4.5	59.2	17.2 *****	140.88 %
1196	8695						
CampoBom--69	Subrasa--69	1	62.7	8.5	63.3	9.3 **	117.27 %
8695	8652						
Subrasa---69	NHamburgo-69	1	60.1	7.4	60.6	6.6 **	112.16 %
1262	9268						
PAlegre6--69	PAlegre14-69	1	56.0	14.0	57.8	3.8 *	106.99 %
1268	9245						
PAlegre10-230	PAlegre10-13	1	45.9	23.1	51.4	1.4 *	102.76 %
1276	8680						
SMarial--138	SMAl--TRs-13	2	12.1	4.9	13.1	1.1 *	109.00 %
8646	8647						
LAJ1--TRs-13	Lajeadol--69	2	-12.9	0.9	12.9	0.9 *	107.65 %
8646	8647						
LAJ1--TRs-13	Lajeadol--69	1	-12.6	0.9	12.6	0.6 *	105.38 %
1233	2070						
							100.64 %

FIGURA 20 - Relatório de fluxo de potência das simulações em Novo Hamburgo

3.4.3.3 Simulação em São Leopoldo

A potência da subestação em horário de pico é de 36 MW. Os resultados das simulações nesta subestação mostraram que mesmo com 25 % da frota esperada para 2030 recarregando em horário de pico (aproximadamente 58MW), não haverá sobrecarga na subestação. Só após ultrapassar os 60 MW é que haverá sobrecarga, algo que deve acontecer depois de 2030 (FIGURA 21 e FIGURA 22).

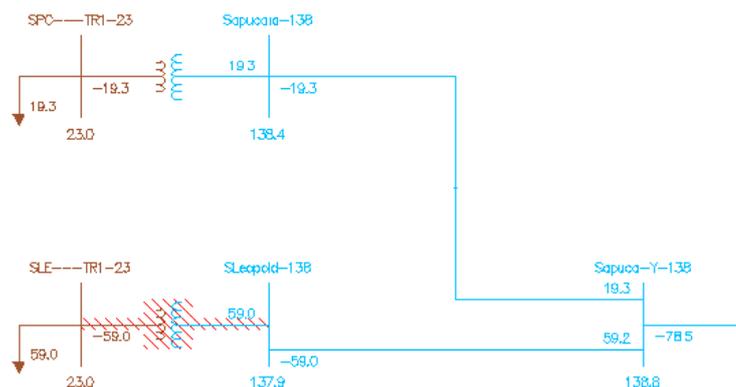


FIGURA 21 - Resultados das simulações em São Leopoldo

MONITORACAO DE FLUXOS SELECIONADOS

```

X-----X-----X-----X-----
X
DA BARRA      PARA BARRA      NC      MW      FLUXOS      VIOLACAO      CARREGAMENTO %
NOME          NOME              X--X    Mvar    MVA         MVA          SEVERIDADE
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----
X
          1262      9268
PAlegre6--69 PAlegre14-69  1    56.0    14.0    57.8    3.8 *    106.99 %
          1268      9245
PAlegre10-230 PAlegre10-13  1    45.9    23.1    51.4    1.4 *    102.76 %
          1276      8680
SMarial--138 SMA1--TRs-13  2    12.1    4.9    13.1    1.1 *    109.01 %
          8646      8647
LAJ1--TRs-13 Lajeadol--69  2   -12.9    0.9    12.9    0.9 *    107.65 %
          8646      8647
LAJ1--TRs-13 Lajeadol--69  1   -12.6    0.9    12.6    0.6 *    105.38 %
          3001      8678
SLeopold-138 SLE---TR1-23  1    59.0    13.9    60.6    0.6 *    101.03 %
          1233      2070
Pelotas1--69 Pelotas1-138  1   -19.9    2.9    20.1    0.1 *    100.64 %
          1304      8697
Taquari---69 TQR---TR1-13  1    15.8    6.5    17.1    0.1 *    100.49 %
----- IND SEVER.          8.7 -----

```

FIGURA 22 - Relatório de fluxo de potência das simulações em São Leopoldo

3.4.4 Considerações sobre os resultados

Os resultados apontam que os principais problemas ficam reduzidos a sobrecarga nas subestações, porém a casos que em estes problemas serão dentro de pouco mais de 10 anos. É necessário salientar que as simulações não levaram em conta qualquer crescimento da demanda, isso mostra que este tempo pode ser menor.

Os demais problemas foram pontuais que atingem a rede de subtransmissão, mesmo considerando o carregamento máximo e ao mesmo tempo destas subestações, que fisicamente não estão tão distantes, as linhas de transmissão não são afetadas, isso se deve ao fato de que há na região metropolitana de Porto Alegre um grande entroncamento de grandes linhas de trans-

missão vindas de diferentes partes do estado e do Brasil que acabam absorvendo está sobrecarga

3.5 Impacto dos veículos elétricos *plug-in* no sistema de distribuição

3.5.1 Metodologia para projeção do consumo de energia elétrica dos veículos elétricos *plug-in* em um alimentador.

Para mensurar o impacto no sistema de distribuição as simulações serão realizadas em um alimentador (FIGURA 23). Ao longo do alimentador estão instalados 85 transformadores de diversas potências. Cada transformador possui em média 55 consumidores conectados a ele.

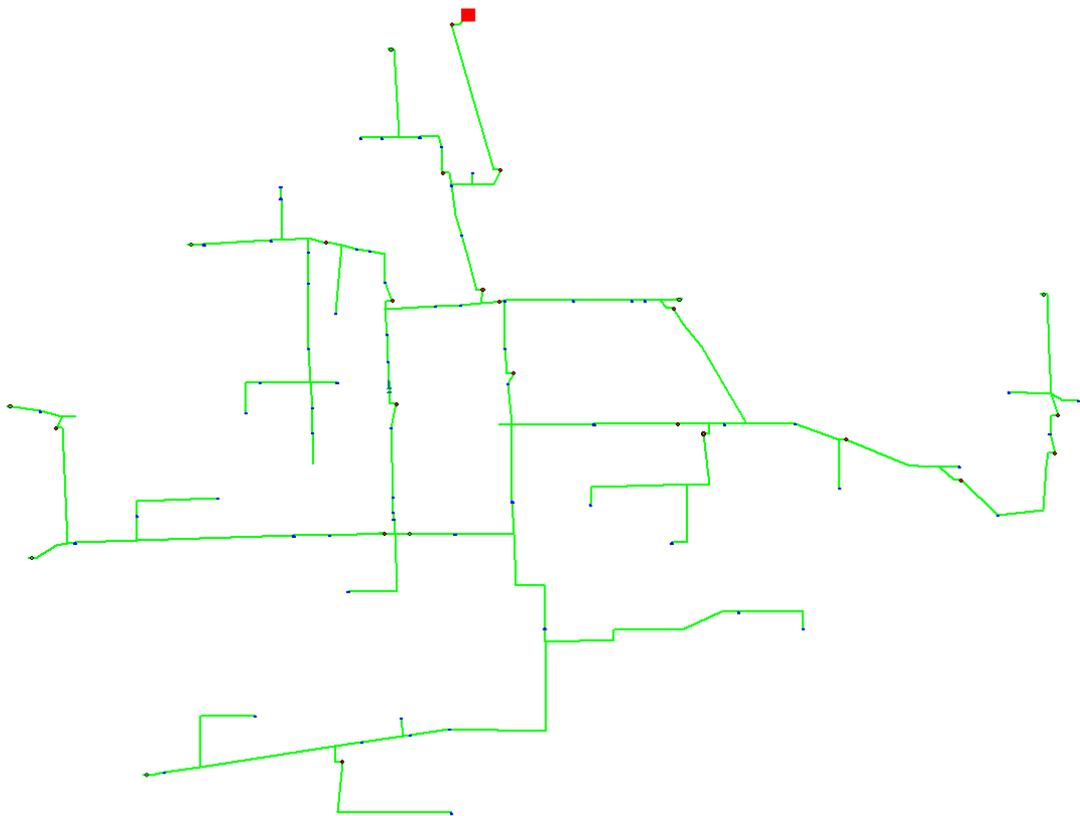


FIGURA 23 - Topologia do alimentador

As simulações serão feitas em um alimentador que fica localizado em uma área residencial, e assim cada consumidor a ele conectado será considerado como uma residência. Segundo

dados do censo 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a média de moradores por residência no Brasil é de 3,3 pessoas

Baseado nas estimativas do quantitativo de VEP para as cidades mencionadas nas simulações feitas para o sistema de transmissão é possível extrair o gráfico ilustrado na FIGURA 24, que mostra o percentual da população que terá um VEP.

Cruzando os dados do alimentador com a densidade de pessoas por domicílio e sabendo a fração desta população que terá um VEP, é possível mensurar o quantitativo de veículos elétricos *plug-in* que potencialmente poderão ser conectar ao alimentador. A

TABELA 11 mostra os resultados das projeções feitas para os primeiros transformadores do alimentador, e total considerando os 85 transformadores.

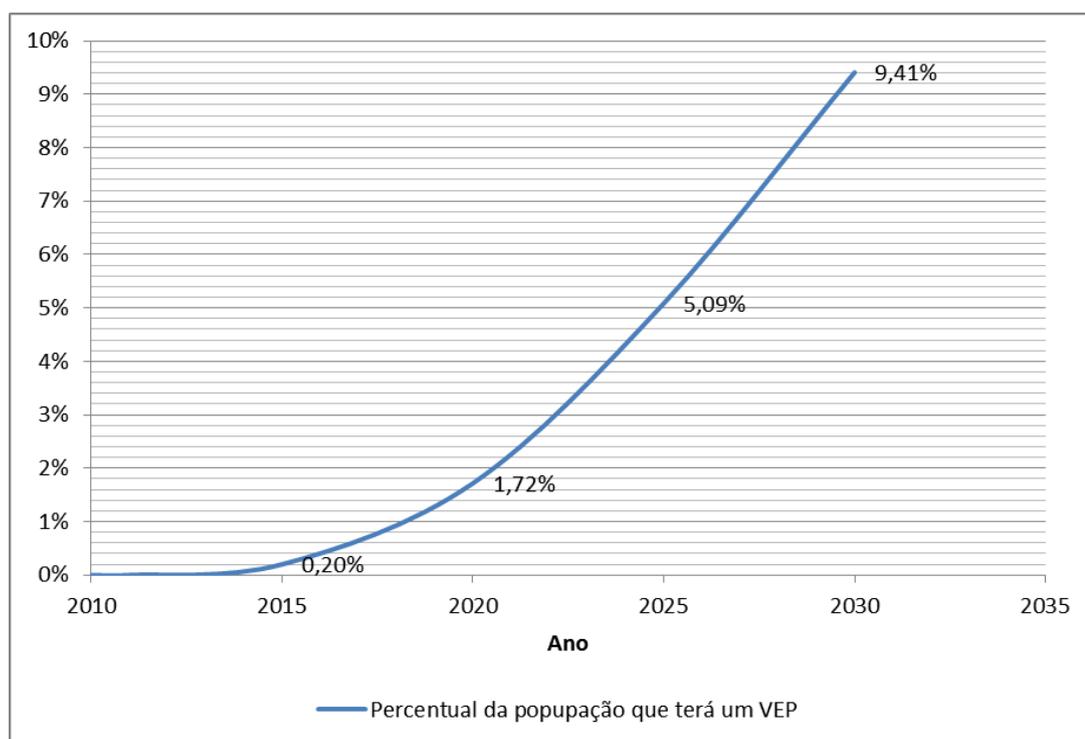


FIGURA 24 - Projeção do percentual da população que terá um VEP

TABELA 11

Projeções do número de VEP no alimentador

Transformador	Potência Nominal	Nº de Consumidores	Nº ⁰¹ de Habitantes	Nº ¹ de VEP		
				2020	2025	2030

	(kVA)					
TR-1	45	50	165	3	8	16
TR-2	45	50	165	3	8	16
TR-3	112,5	150	495	9	25	47
TR-4	112,5	150	495	9	25	47
TR-5	75	100	330	6	17	31
TR-6	25	25	82,5	1	4	8
TR-7	75	100	330	6	17	31
TR-8	45	50	165	3	8	16
TR-9	75	100	330	6	17	31
TR-10	112,5	150	495	9	25	47
TR-11	112,5	150	495	9	25	47
TR-12	45	50	165	3	8	16
TR-13	75	100	330	6	17	31
TR-14	25	25	83	1	4	8
TR-15	25	25	83	1	4	8
TR-16	45	50	165	3	8	16
TR-17	75	100	330	6	17	31
TR-18	25	25	83	1	4	8
TR-19	75	100	330	6	17	31
TR-20	75	100	330	6	17	31
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
TOTAL	2195	2575	8498	147	434	808

¹Projeção

3.5.2 Simulações com software ASD

As simulações foram feitas no software ASD, programa desenvolvido pelo professor Dr. Daniel Pinheiro Bernardon, tem seu uso dedicado especificamente a análise de sistemas de distribuição. A escolha do alimentador (FIGURA 23) se deve, por ele alimentar uma área residencial, justamente o alvo do estudo. O alimentador será simulado considerando suas características de carregamento para carga pesada, ou seja, no horário de pico.

Para fazer análise e comparações dos resultados foram feitos dois cenários de carregamento do sistema. No primeiro é considerada a inserção em recarga de 15% dos VEP em horário de pico, da mesma forma o segundo cenário considera 25% dos VEP recarregando. Cabe

ressaltar que essa situação considera que não há nenhum tipo de controle de carga, apenas o fator de coincidência.

3.5.3 Resultados das simulações na distribuição

A primeira avaliação feita, foi simular o sistema em carga pesada e extrair os dados de perdas totais do sistema que ficaram em aproximadamente 910 kW. Além disso, foram analisados os dados de carregamento dos transformadores (FIGURA 25) a fim de mostrar qual é a situação dos mesmos, para uma possível adição de carga.

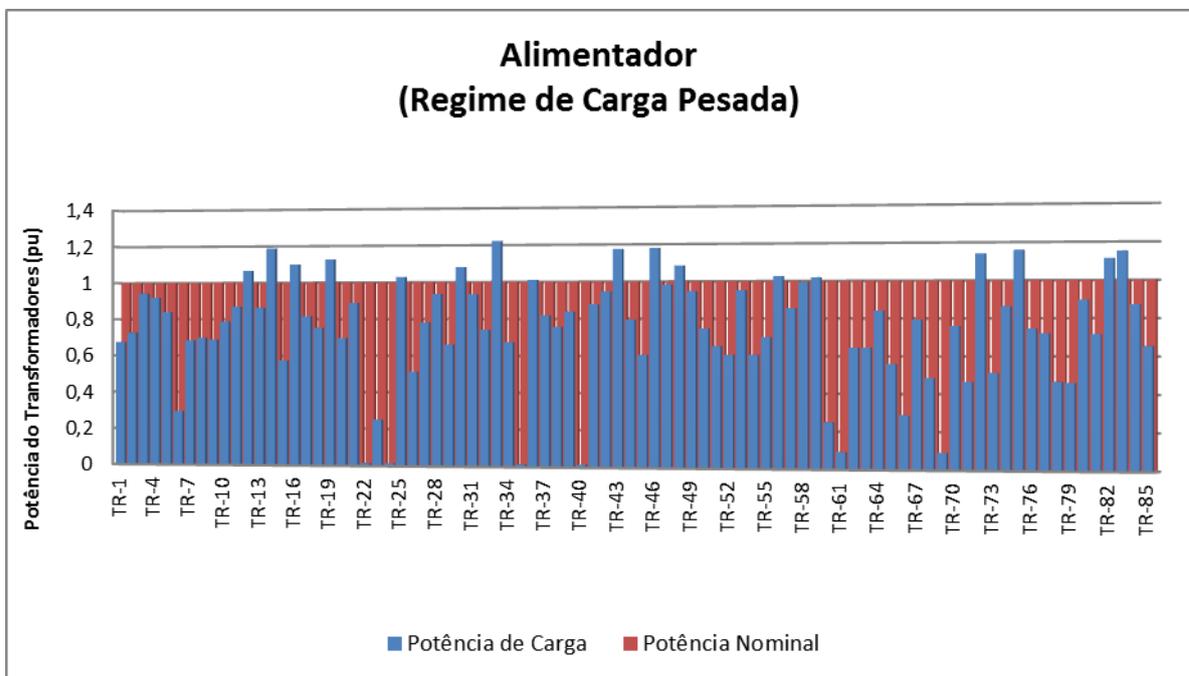


FIGURA 25 - Carregamento dos transformadores

Baseado nos dados de carga dos transformadores, a FIGURA 26 mostra como está o carregamento dos transformadores em horário de pico. Os resultados mostram que boa parte dos transformadores já estão sobrecarregados ou que, com pequenos acréscimos de carga estarão nesta condição.

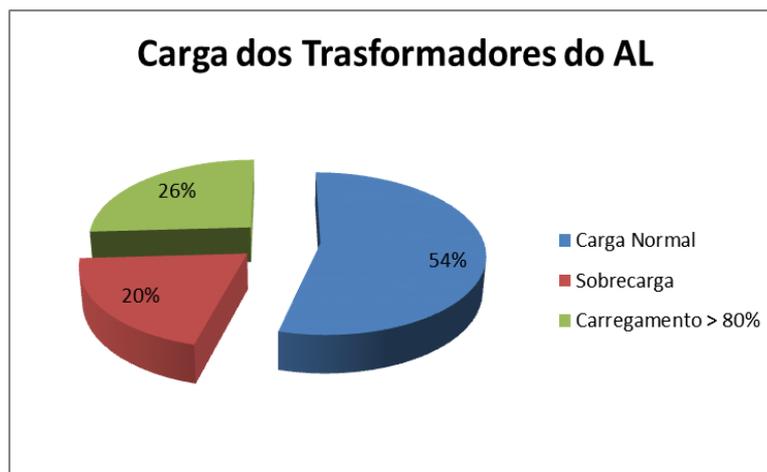


FIGURA 26 - Nível de carga dos TRs

3.5.4 Resultados das simulações feitas usando o cenário 1

O cenário 1 considera que 15% da frota de veículos elétricos *plug-in* sejam colocados em recarga em horário de pico.

Baseado em uma curva de carga típica deste nicho de consumidores, e agregando a ela os resultados das simulações para os períodos definidos, foi possível traçar o gráfico ilustrado na FIGURA 27. O gráfico mostra as projeções para 2020, 2025 e 2030 de como irá ficar a curva de carga do alimentador considerando que os veículos sejam colocados para recarregar em horário de pico. Os resultados mostram um acréscimo de aproximadamente 700 kVA, quando comparado o período atual com as projeções para 2030. Mesmo com tal acréscimo não foi detectado sobrecarga nos condutores do alimentador. É desconsiderado o acréscimo de carga, pelo crescimento da população ou pelo aumento de consumo per capita.

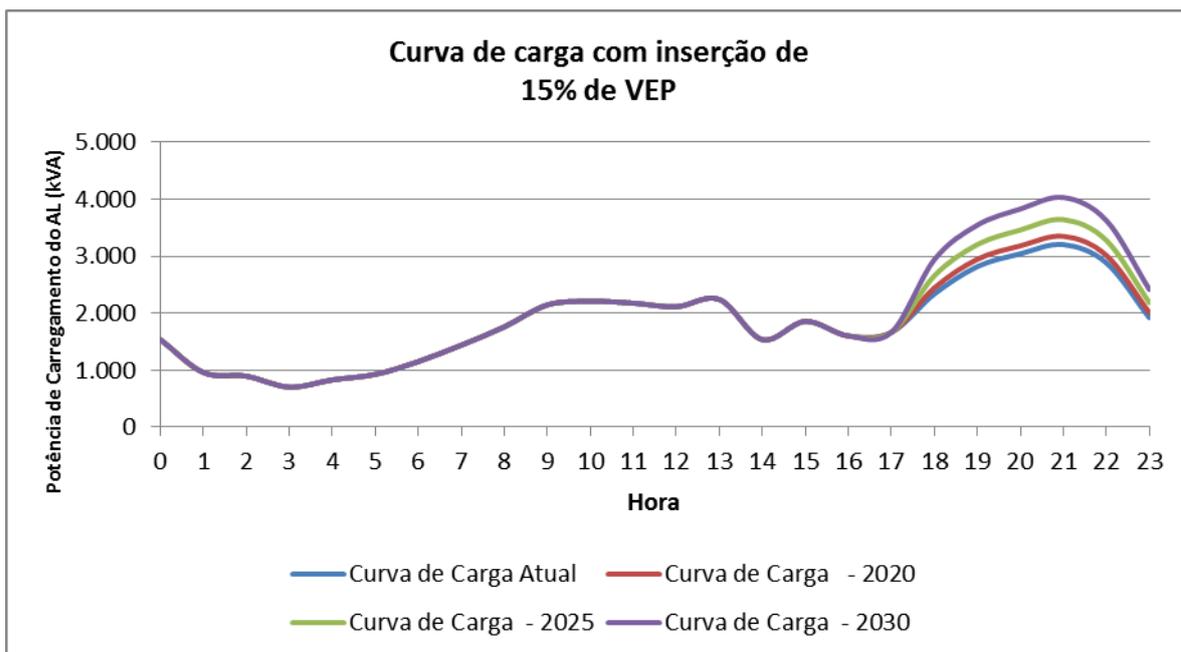


FIGURA 27 - Projeção da curva de carga para o alimentador

Como o resultado das simulações com o sistema em regime de carga pesada demonstrou que boa parte dos transformadores do alimentador apresentou situação de carregamento elevada, a situação dos transformadores ficará pior com a inserção da carga demandada pelos veículos elétricos.

A FIGURA 28 ilustra como ficará o nível de carregamento dos transformadores do alimentador. No primeiro ano de estudo (2020), a situação praticamente não se altera quando comparado aos resultados atuais. Porém em 2025 o percentual de transformadores com nível de carregamento menor que 80% da sua potência nominal, cai de 50% para 35%, algo esperado, já que aproximadamente um quarto dos transformadores atualmente já está com carregamento superior a 80%. A simulação do último período enfatiza a necessidade de mudanças visto que com o cenário proposto, praticamente a metade dos transformadores estão sobrecarregados, chegando a apresentar sobrecargas superiores a 40%. As perdas em todo o sistema ultrapassarão 1,4MW no último período simulado.

Nível de carregamento dos transformadores (15% VEP)

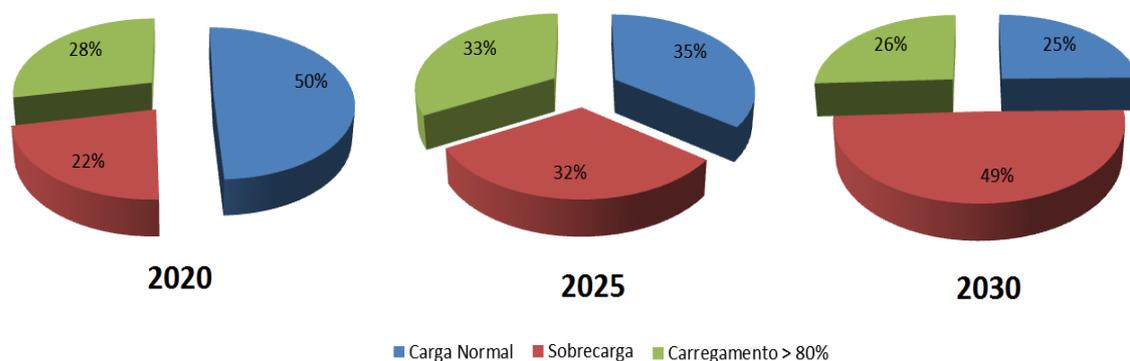


FIGURA 28 - Carregamento dos transformadores

3.5.5 Resultados das simulações feitas usando o cenário 2

O cenário 2 considera que 25% da frota de veículos elétricos *plug-in* sejam colocados em recarga em horário de pico.

O gráfico ilustrado na FIGURA 29, mostra a curva de carga para os períodos de 2020, 2025 e 2030. Os resultados mostram um crescimento considerável na demanda, a curva de consumo projetada para 2025 é praticamente idêntica a curva estimada para 2030 no cenário 1. O acréscimo de potência considerando todo o período é superior a 1,3 MVA, sendo que somente o delta de acréscimo de potência entre os dois últimos períodos avaliados é praticamente o mesmo, se comparado com o delta registrado em todo o período do cenário 1.

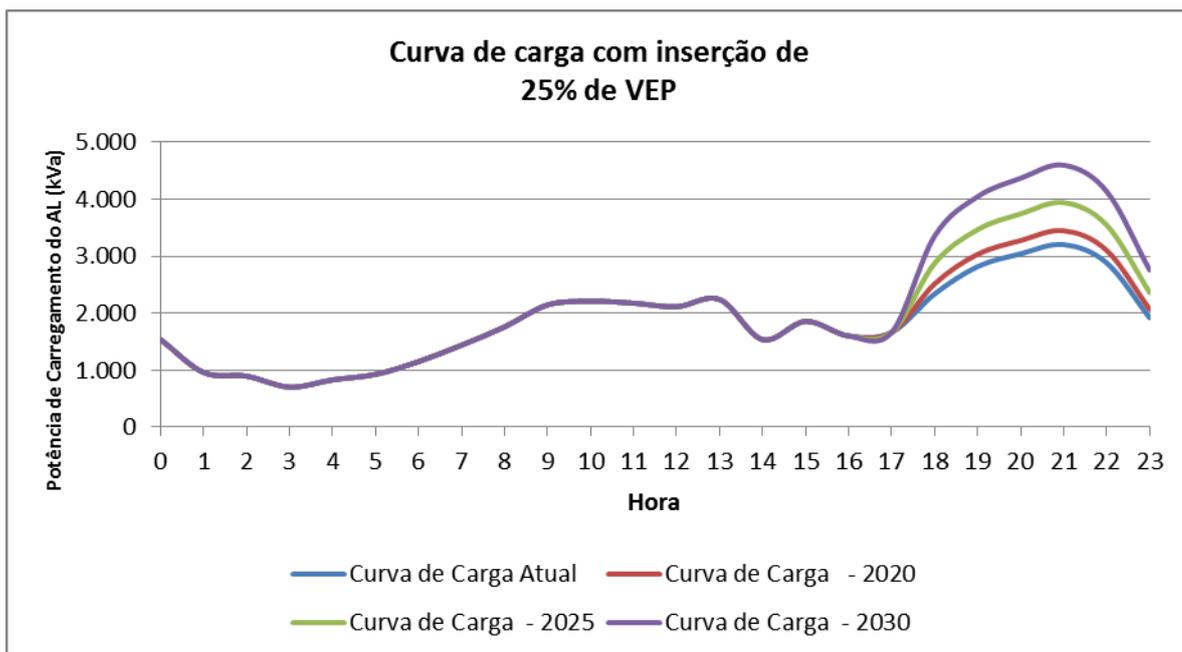


FIGURA 29 – Projeção da curva de carga para o alimentador

A FIGURA 30 mostra como as projeções de carregamento esperadas para o período com o acréscimo de consumo do cenário 2. Em 2020 já há uma redução de 10% nos transformadores com carregamento inferior a 80%, quando comparado com o período atual. Os próximos dois períodos avaliados mostram resultados preocupantes, visto que o número de transformadores que apresentam sobrecarga é considerável.

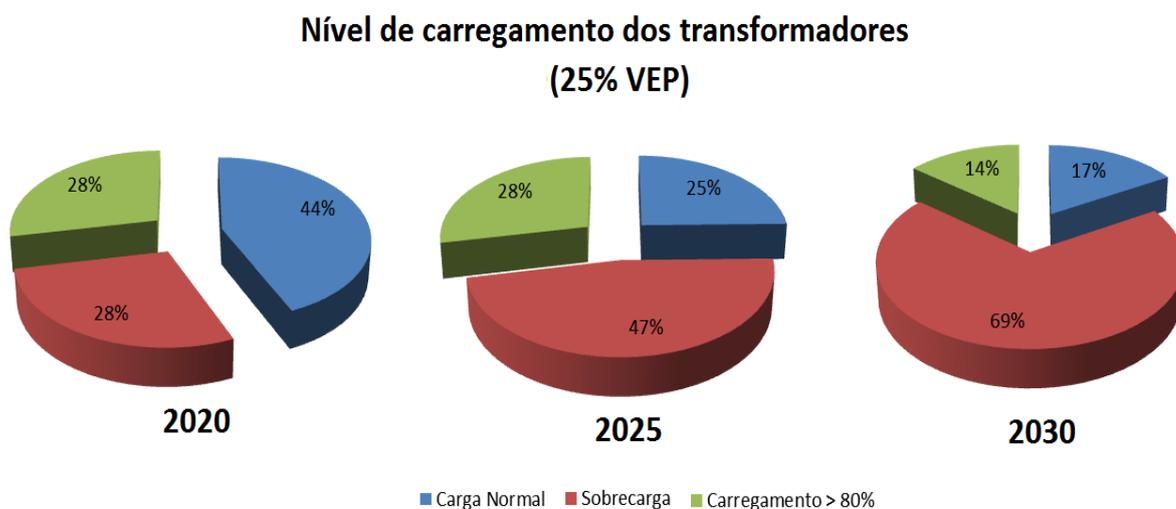


FIGURA 30 – Carregamento dos transformadores

3.5.6 Considerações sobre os resultados

As simulações mostraram como um hábito comum entre nós pode afetar o sistema elétrico, não só de distribuição, mas como um todo. Hoje, com o consumo atual, o sistema passa por horas críticas que envolvem números expressivos de perda de energia, simplesmente por efeito Joule.

Os resultados das projeções enfatizam a necessidade de mudanças nos hábitos de consumo de energia elétrica, e deixam claro que mudanças grandes no sistema de distribuição deverão ser feitas caso a recarga dos veículos seja feita de forma descontrolada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi feita a análise dos impactos que os veículos elétricos *plug-in* podem trazer ao sistema elétrico de transmissão e distribuição, bem como se estes veículos podem ser uma opção eficiente para diminuir as emissões de CO₂ (dióxido de carbono).

Os veículos elétricos estão vinculados a uma visão futurista, mas de forma tímida, com apenas alguns modelos, o mercado brasileiro começa a receber estes veículos. Os recém-chegados são modelos híbridos, e por fazer uso da energia elétrica como forma alternativa de combustível, são considerados e carregam consigo símbolos que transmitem ou induzem a sensação de que estão deixando de emitir uma grande quantidade de poluentes, quando comparado com um automóvel comum.

É fato que os modelos elétricos, mesmo sendo híbridos, são mais eficientes, gastam menos combustível para percorrer a mesma distância e emitem menos poluentes do que um modelo que possui somente motor a combustão. Quando esta comparação é feita entre um modelo puramente elétrico, a emissão é zero. Sendo assim, eles de fato se confirmam como grandes aliados contra a poluição nas grandes cidades. Porém, a comparação a ser feita não é apenas esta, pois é preciso levar em conta como é gerada a energia elétrica usada por eles.

Desta forma ficou comprovado que ao comparar as emissões CO₂ (dióxido de carbono) provenientes de um veículo à combustão, com as emissões originadas pela geração térmica de energia elétrica, esta emite 84% mais CO₂. Sendo assim, os veículos elétricos podem simplesmente deslocar a poluição dos grandes centros e, dependendo da matriz energética de onde este veículo estará, pode haver um aumento das emissões de CO₂.

Os veículos elétricos *plug-in* merecem muita atenção, principalmente do ponto de vista técnico de sua entrada em circulação. Como demonstrado nos resultados com as simulações, os problemas no sistema elétrico de potência serão consideráveis, e as consequências se mostram preocupantes frente à análise dos resultados.

O problema não é o veículo, mas os costumes dos seus proprietários que podem causar grandes problemas. O sistema elétrico passa diariamente por algumas horas críticas, o chamado horário de pico, é resultado da coincidência do horário de banho da grande maioria da população com a entrada da iluminação. O problema só se agravará se agregar a este horário a demanda imposta pela recarga dos veículos elétricos *plug-in*. Algo muito provável que aconteça, visto que é muito cômodo, chegar em casa do trabalho e colocar seu carro na tomada e na manhã seguinte ele estar com o “taque cheio”.

Hoje o horário de verão é uma das soluções impostas para deslocar e assim, diluir o horário de maior consumo, isso se mostra eficaz, porém não é o suficiente. Com a inserção em massa dos veículos *plug-in*, grandes mudanças deverão ser impostas frente aos hábitos de consumo da população, ou o VEP deverá vir com um controle de recarga inteligente.

Indo de encontro a isso a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia. Para os consumidores de baixa tensão, seja os residenciais, comerciais, industriais e de áreas rurais. A principal mudança é a criação da modalidade tarifária branca, que será uma alternativa à convencional hoje em vigor e oferecerá três diferentes patamares para a tarifa de energia, de acordo com os horários de consumo. A proposta da tarifa branca é estimular o consumo em horários que a tarifa é mais barata, diminuindo o valor da fatura no fim do mês e a necessidade de expansão da rede da distribuidora para atendimento do horário de pico, bem como de usinas termoelétricas para suprir o excesso de demanda.

Há em estudo a implantação em alguns países das chamadas *smart grids* ou redes inteligentes, que agrega a tecnologia da informação ao sistema elétrico de potência. Aliada a esta rede, há o conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G), que usada em conjunto com uma rede inteligente, permitirá que o veículo elétrico, quando conectado a rede elétrica, forneça a energia armazenada em suas baterias para alimentar a rede em horários críticos, e em horários de menor consumo e tarifa volte a acumular energia.

Estas tecnologias envolvem grandes investimentos, porém tornam o sistema muito mais seguro, e eficiente, visto que diluir o consumo que hoje está praticamente fixo no horário de pico irá diminuir proporcionalmente as perdas por efeito Joule do sistema elétrico de potência.

4.1 Sugestão para trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros que complementarão o trabalho feito nessa dissertação:

- Analisar os índices de emissões de CO₂ considerando a proporção potência instalada / forma de geração térmica;
- Analisar como a nova da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição pode influenciar a curva de carga considerando o consumo dos veículos elétricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

I INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES RODOVIÁRIOS. Ministério do Meio Ambiente, Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Departamento de Mudanças Climáticas, Gerência de Qualidade do Ar. Brasília, 2011.

BERNARDON, Daniel Pinheiro. **Distribuição De Energia Elétrica Análise De Sistemas De Distribuição**. Universidade Federal Do Pampa, agosto, 2010.

BRASIL, Nota Técnica nº 362/2010-SRE-SRD/ANEEL. Audiência Pública. **Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica**. Brasília, 06 de Dezembro de 2010

C. Camus; C.M. Silva; T. L. Farias; J. Esteves. **Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Portuguese Electric Utility System**. IEEE Power Engineering Society , Março 2009

CARRO ELÉTRICO: DESAFIO E OPORTUNIDADE PARA O BRASIL. ESTRATÉGIA DE IMPLANTAÇÃO DO CARRO ELÉTRICO NO BRASIL. Instituto Nacional de Altos Estudos, INAE, Rio de Janeiro, RJ, Maio 2010.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Casos de Referência - Regime Permanente. Disponível em: <http://www.ons.com.br/avaliacao_condicao/c_referencia_permanente_anual.aspx> Acesso em : 10 out. 2011.

CLEMENT, Kristien; HAESSEN, Edwin; DRIESEN, Johan. **Coordinated Charging of Multiple Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Residential Distribution Grids**. IEEE Power Engineering Society , 2009.

DE CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro, FERREIRA, Tiago Toledo. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2010.

DE HOLLANDA, Jayme Buarque. **O futuro dos Carros Elétricos. Um artigo para eu ler aqui a 10 anos**. Disponível em: <http://www.abve.org.br/downloads/O_futuro_dos_Veiculos_Eletricos.pdf>. Acessado em: 10 out 2011.

FELIX, Felício Schilingovski. **Veículos elétricos: você logo vai dirigir um**. Disponível em: <<http://www.webmotors.com.br/wmPublicador/lancamentos-conteudo.vxlpub?hnid=45825>> Acesso em : 10 out. 2011.

FERNANDO, Renato Baran Luiz, LEGEY, Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil** BNDES Setorial 33, p. 207-224, Rio de Janeiro, 2010.

FRANCISQUINI, Aislan Antonio. **Estimação de Curvas de Carga em Pontos de Consumo e em Transformadores de Distribuição**. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira – SP, Março de 2006.

L. Kelly; A. Rowe; P. Wild . **Analyzing the Impacts of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks in British Columbia**. IEEE Power Engineering Society , 2009

LEÃO, Ruth. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica** Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Fortaleza - CE: 2009

M. Tao; R. Sarfi ; L. Gemoets. **Assessing the Impact of Electric Vehicles to the Distribution Infrastructure**. PowerGrid 2009 conference, Cologne, Germany, Maio 2009.

PLANO ANUAL DA OPERAÇÃO ENERGÉTICA - PEN 2011 RELATÓRIO EXECUTIVO, VOLUME I. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) Rio de Janeiro – RJ. Agosto/2011

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2019. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2010.

PROCEDIMENTOS DE REGULAÇÃO TARIFÁRIA (Proret). Módulo 7: Estrutura Tarifária das Concessionárias de Distribuição. Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Janeiro 2011

PUTRUS G. A; SUWANAPINGKARL P.; JOHNSTON D.; BENTLEY E. C.; NARAYANA M. **Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks** IEEE Power Engineering Society , 2009.

ROTEIRO PARA DIFUSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL RVE “ROAD MAP” Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), Brasília, 2011

SCHNEIDER Kevin; GERKENSMEYER Clint; KINTNER, Michael; FLETCHER, Robert H. **Impact Assessment of Plug-In Hybrid Vehicles on Pacific Northwest Distribution Systems**. IEEE Power Engineering Society , 2008.

TAYLOR, Jason ; MAITRA, Arindam; ALEXANDER, Mark; BROOKS, Daniel; DUVALL, Mark. **Evaluations of Plug-in Electric Vehicle Distribution System Impacts** . IEEE Power Engineering Society , julho 2009.

XAVIER, EDNA ELIAS. **Termeletricidade no Brasil – Proposta Metodológica para Inventário das Emissões Aéreas e sua Aplicação para o Caso do CO₂**, COPPE / UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2004.