

MAURY SERGIO LIMA E SILVA

**VANTAGENS ENERGÉTICAS NA TROCA DO VEÍCULO DE COMBUSTÃO
INTERNA PELO VEÍCULO ELÉTRICO E OS GANHOS MACROECONÔMICOS E
SOCIAIS DECORRENTES DESTA TROCA.**

Monografia apresentada à Banca Examinadora da
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção de título de especialização em
Eficiência Energética.

SÃO PAULO

2016

Banca Examinadora

Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta

Prof. Dr. José R. Simões Moreira

AGRADECIMENTOS

Agradeço a acolhida e confiança depositada pelo Prof. José R. Simões Moreira em ter em um curso de pós graduação de engenharia, um aluno formado em Ciências Humanas (Faculdade de Direito da USP).

Apesar da desconfiança inicial de meus colegas de curso, aos poucos sai da condição de “estranho no ninho” para ser um integrante bem vindo aos grupos de estudos e de trabalhos. Assim, agradeço também aos colegas engenheiros que mostraram possuir grande coração e senso de justiça.

Por fim, agradeço a Família pelo apoio recebido, mas ao mesmo tempo, me orgulho de ter realizado todos os estudos, trabalhos, cálculos, apresentações e a monografia no intervalo entre 2hs às 5hs30min, de forma a nunca ter deixado desassistido de minha presença qualquer ente familiar, em especial meu pequeno filho Bruno, que tinha 4 anos quando comecei estes estudos. Com exceção de dois sábados em dois anos e meio, quando Bruno foi às aulas do pai, pela manhã, no restante do tempo ele nunca percebeu que o pai fazia pós-graduação, nunca faltei à leitura de livros ou ao contar de histórias ao dormir, ou ao seu banho, troca de roupas e café da manhã antes das 6hs, para que ele estivesse pronto para a perua escolar, às 6hs20.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Prof. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco pela correção dos rumos da monografia, sem a qual ela não teria ficado dentro dos padrões exigidos para as Ciências Exatas.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo mensurar a eficiência energética e os ganhos econômicos e sociais da adoção da tecnologia de veículos com motores elétricos em substituição aos veículos com motores de combustão interna, bem como aferir a disponibilidade de infraestrutura necessária para essa troca e seus impactos na geração de riquezas para o país e de bem estar para o povo do país.

A partir da história dessas duas tecnologias iremos entender porque uma desenvolveu-se e a outra ficou estacionada e porque hoje está ocorrendo nova mudança de tecnologia, bem como a partir da comparação entre as tecnologias dos motores a combustão interna e dos motores elétricos, iremos identificar os ganhos em economia de combustíveis, redução de poluição, redução de gastos evitados com saúde da população e faltas laborais decorrentes dos problemas de saúde afetos à poluição evitada na troca do motor de combustão interna pelo motor elétrico. Analisaremos, também, outros custos e investimentos evitados, e a gama de recursos financeiros que ficariam livres para novos investimentos pela sociedade.

A finalidade do presente trabalho é comprovar que a tecnologia do veículo com motores elétricos pode gerar um novo padrão de consumo para a sociedade, o que terá reflexos na economia e na saúde financeira de todo o planeta.

Palavras Chaves

Carros, veículos elétricos, motores elétricos, motores de combustão interna, comparação, economia, fim da era petróleo.

ABSTRACT

The purpose of this work is to measure the energy efficiency and economic and social advantages of adopting the technology of vehicles powered by electricity instead of internal combustion, and to ascertain the availability of the structure necessary for this change and its impact on generating wealth for the country and wellbeing for its people.

The history of these two technologies will explain why one developed and the other stalled, and why technology is changing again today; and a comparison of engines using internal combustion and those using electricity will enable us to identify the gains in fuel savings, reducing pollution and cutting the costs of ill-health and absences from work due to problems caused by pollution, which will be avoided if the internal combustion engine is replaced by electrical motors. I will also analyze the other costs and investments that would no longer be necessary, and the range of financial resources that would be freed up for other investments for the benefit of society.

The purpose of this work is to prove that the technology of electricity-powered vehicles can create a new pattern of consumption by the public, which will affect the economy and the financial health of the entire planet.

Key words:

Cars, electrical vehicles, electrical engines, internal combustion engines, comparison, economy, end of the oil era.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Turbina bicomcombustível (à Gás Natural ou Combustível Líquido).....	16
Figura 2. Figura extraída do Livro Termodinâmica, de Çengel / Boles.....	17
Figura 3. <i>Print</i> do Paineil de Controle da UTE Termorio, Bloco 2.....	18
Figura 4. O SIN brasileiro. Figura elaborada pela EPE.....	22
Figura 5. Perdas Comerciais. Elaborado pela ABRADEE.....	23
Figura 6. Principais Gases Responsáveis pelo Efeito Estufa.....	25
Figura 7. Composição Médias dos Materiais Presentes em um Veículo Moderno.....	28
Figura 8. Foto de veículos elétricos carregando em vagas especiais nas ruas.....	37
Figura 9. Consumo total de energia elétrica no SIN.....	39
Figura 10. Projeção da evolução total da frota de veículos.....	41
Figura 11. Projeção da evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica.....	42
no SIN por fontes de geração.	
Figura 12. Consumo Interno de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.....	47
Figura 13. Demanda Interna de Energia Elétrica por Fonte nos E.U.A.....	47
Figura 14. Emissão de dióxido de carbono em relação à fonte de produção de energia elétrica.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução do controle de poluição atmosférica no Estado da Califórnia.....	30
Tabela 2. Contribuição relativa das fontes de poluição atmosférica na cidade de São Paulo.....	31
Tabela 3. Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.....	32
Tabela 4. Comparação do Impacto Ambiental de cada tecnologia de Veículo.....	44
Tabela 5. Impacto do Veículo Elétrico.....	45
Tabela 6. Impacto do Veículo com Motor de Combustão Interna.....	45
Tabela 7. Estudos Médicos.....	49

LISTA DE SIGLAS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível.
BEN	Balço Energético Nacional, publicado pela EPE.
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas.
IEA	International Energy Agency
ONU	Organização das Nações Unidas
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia, publicado pela EPE.
SIN	Sistema Integrado Nacional.
tep/ano	Tonelada Equivalente de Petróleo por ano.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	03
Resumo.....	04
Abstract.....	05
Lista de Figuras.....	06
Lista de Tabelas.....	07
Lista de Siglas.....	08
Sumário.....	09
Capítulo 1 – Introdução.....	11
1.1. – Considerações Gerais.....	11
1.2. – Formulação da Situação Problema.....	11
1.3. – Relevância do Problema e Justificativa.....	12
1.4. – Objetivos Gerais e Específicos da Pesquisa.....	12
1.5. – Estrutura de Trabalho.....	13
Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.....	15
2.1. – Eficiência do Veículo de Motor a Combustão Interna.....	15
2.2. – Eficiência das Termelétricas de Ciclo Combinado.....	15
2.3. – Eficiência do Veículo de Motor Elétrico.....	18
2.4. – A Rede de Distribuição de Combustíveis Líquidos.....	20
2.5. - Redes de Transmissão de Distribuição de Energia Elétrica.....	21
2.6. – Histórico de Impactos para o Meio Ambiente.....	23
2.7. – Histórico de Impactos na Saúde Pública.....	29

Capítulo 3 – Análise da Situação Problema.....	33
3.1 – Condições Necessárias à Implantação dos Veículos Elétricos.....	33
a) O Renascimento do Veículo Elétrico.....	33
b) Impactos na Demanda por Combustíveis Líquidos e sua Distribuição.....	36
c) Impactos na nas Redes de Transmissão de Distribuição de Energia Elétrica.....	38
d) Benefícios à Saúde e ao Meio Ambiente.....	43
e) Perspectivas nos Impostos e nas Rendas e Efeitos Macroeconômicos.....	49
 Capítulo 4 – Conclusões e Sugestões	 51
4.1 – Conclusões.....	51
4.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros.....	52
 Capítulo 5 – Bibliografia.....	 54

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. – Considerações Gerais

A presente monografia visa demonstrar que estamos há décadas desperdiçando recursos energéticos, poluindo em demasia o meio ambiente e sofrendo impactos na saúde e na economia global desnecessariamente. Com a simples troca da utilização do veículo de combustão interna, pelo veículo elétrico poderemos, como será demonstrado a seguir, economizar mais da metade de todo o combustível líquido de origem fóssil hoje utilizado em transporte e, ainda, diminuir em mais de 50% a poluição, a liberação de gases do efeito estufa, com consequências benéficas para a economia e para a saúde da população.

1.2.– Formulação da Situação Problema

Muito embora os combustíveis líquidos (derivados do petróleo) tenham sido, na produção de energia elétrica, no resto do mundo¹, deslocados pela utilização da energia nuclear e do gás natural, passando nos últimos anos de responsáveis por 40% da produção de energia elétrica no mundo para apenas 5%, é importante deixar claro que os derivados de petróleo representam ainda, no mundo, 92,62% do insumo na área de transporte. Isso representa que do total de derivados de petróleo utilizados no mundo, em média 60% é para o serviço de transporte²!

¹ No Brasil, na contramão do resto do mundo, nos últimos anos aumentamos nossa participação da matriz termoeletrica à óleo combustível, aumentando a participação de fontes poluidoras na disponibilização de energia elétrica e diminuindo a participação de fontes mais limpas, como a hidrelétrica. Veja em EPE site: [WWW.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br/PDE%2024%20RELATORIO%20FINAL.pdf) PDE 2024 RELATORIO FINAL.pdf.a0co0ci (4).partial.

² Vejam as estatísticas da IEA – International Energy Agency in <http://energyatlas.iea.org/?subject=-1920537974#> Acesso fev/2016.

A situação problema é comprovar, em tese, que se houver a substituição dos motores de combustão interna pelos motores elétricos poderemos ter a economia de 55,57% do combustível líquido hoje gasto! Para isso é necessário analisar a eficiência energética do motor de combustão interna, a eficiência energética do motor elétrico e, como termo de comparação, a eficiência energética das termelétricas de ciclo combinado que poderão queimar os combustíveis no lugar dos motores de combustão interna, para gerar a energia elétrica necessária aos motores elétricos.

Importante destacar que nessa formulação da situação problema não estamos considerando novas fontes de geração, como a solar e a eólica, ou mesmo a tradicional energia hidráulica, as quais romperiam com qualquer possibilidade de comparação da economia de combustíveis fósseis. Essas novas tecnologias e mesmo as hidrelétricas, no futuro, poderão vir a substituir definitivamente os combustíveis fósseis. No momento, nossa investigação irá apenas comparar tecnologias existentes no seu estado de arte e como forma de apontar o desperdício energético, utilizar, ao menos em tese, o combustível líquido economizado, para gerar o excedente de energia elétrica necessário para o mesmo volume de trabalho.

1.3.– Relevância do Problema e Justificativa

Economizar 92,62% dos derivados de petróleo utilizados em transporte significa economizar 55,57% de toda a demanda de derivados de petróleo no mundo. Importante, portanto, verificar os possíveis ganhos macroeconômicos e sociais nessa economia, vis-à-vis os possíveis impactos negativos na demanda deste combustível e na necessidade de ampliação do transporte e distribuição de energia elétrica.

1.4.– Objetivos Gerais e Específicos da Pesquisa

O objetivo geral da presente monografia é demonstrar que hoje já é possível, com a tecnologia existente, economizar 92,62% de todo o combustível fóssil utilizado no transporte, ou 55,57% de todo o combustível líquido disponível, com significativos impactos no bem-estar social. Para se comprovar isso, alguns objetivos específicos terão de ser atingidos:

- i. Identificar o limite prático da eficiência de um motor a combustão interna;
- ii. Identificar o limite prático de eficiência das termelétricas de ciclo combinado e o quanto representaria de economia queimar os combustíveis fósseis nas termelétricas, gerando energia elétrica, ao invés de queimá-los nos motores de combustão interna;
- iii. Identificar a eficiência de um veículo elétrico e a economia possível em relação ao aproveitamento do combustível fóssil para o mesmo trabalho;
- iv. Investigar os impactos da redução de demanda por combustíveis líquidos e o que pode ocorrer com sua rede de distribuição;
- v. Analisar as necessidades de ampliação e reforço da rede de transmissão e de distribuição de energia elétrica;
- vi. Determinar os possíveis impactos da economia de combustíveis fósseis para o meio ambiente, para os gastos com a saúde pública e nos impostos e nas rendas e seu efeito macroeconômico.

1.5.– Estrutura de Trabalho

No capítulo 2 serão abordados a fundamentação teórica das tecnologias envolvidas, como dos motores a combustão interna, das termelétricas de ciclo combinado e dos veículos elétricos. Depois, no Capítulo 3 passaremos a analisar substituição do veículo de combustão interna pelo veículo elétrico, os pontos positivos e negativos no impacto na demanda por combustíveis líquidos

e no impacto na rede de distribuição desses combustíveis. Seguiremos com a análise dos impactos dessa alteração na rede de transmissão e de distribuição de energia elétrica e na poluição ambiental e na saúde pública, bem como na geração de rendas das pessoas e do Poder Público. No Capítulo 4 faremos as conclusões do estudo.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. – Eficiência do Veículo de Motor a Combustão Interna

Segundo a quase totalidade dos autores pesquisados, o que pode ser considerado como a criação do automóvel seria um pequeno veículo movido por um motor de 4 tempo, construído por Siegfried Markus, em Viena, em 1874. Contudo, esclarece Claudia do Nascimento Martins que o motor de combustão interna, de 4 tempos, utilizado com êxito pela primeira vez, foi o motor construído pelo engenheiro alemão Conde Nikolaus Otto, em 1876.

Em 1886 o, também engenheiro, alemão Carl Benz entrou com o pedido de patente de seu carro motorizado, tecnicamente um sucesso, mas um fracasso de vendas. A menos de 100 quilômetros de distância, Gottlieb Daimler dotara uma carruagem de motor e de um sistema de direção, tornando-a a primeira carruagem sem cavalo. Daimler e Benz dariam origem em alguns anos à Mercedes-Benz.

Márcio Alessandor de Lazzari em sua dissertação afirma que depois de um século de engenharia automotiva, ainda persistem indicadores da ineficiência do veículo contemporâneo: pelo menos 80% da energia do combustível que ele consome se perdem, principalmente transformados em calor e na exaustão do motor, de modo que, atualmente, em média no máximo 20% da energia contida nos combustíveis líquidos são convertidos em trabalho mecânico utilizados para que as rodas girem (HAWKEN, LOVINS e LOVINS, 1999).

2.2. - Eficiência das Termelétricas de Ciclo Combinado

Samule José Sarraf Borelli, em sua dissertação, citando Van Wylen, ensina que o Ciclo Combinado nada mais é do que a associação em série dos ciclos Brayton e Rankine. No ciclo Brayton (turbina)

o ar é aspirado pelo compressor e enviado à câmara de combustão, onde é misturado com gás natural. Como produtos do processo de combustão surgem gases a altas temperaturas, que são encaminhados à turbina, onde são expandidos, gerando trabalho mecânico. O eixo da turbina é conectado ao compressor e ao gerador elétrico, de maneira que o trabalho mecânico gerado pela expansão dos gases de combustão aciona tanto a compressão de ar do ciclo quanto à geração de trabalho no eixo do gerador elétrico.

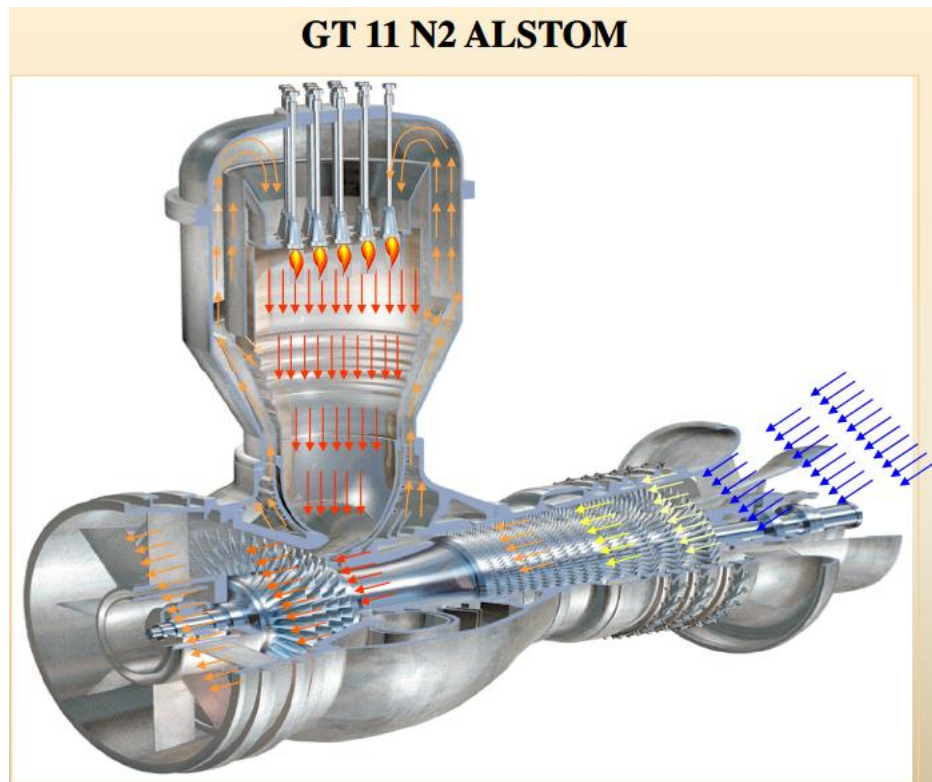
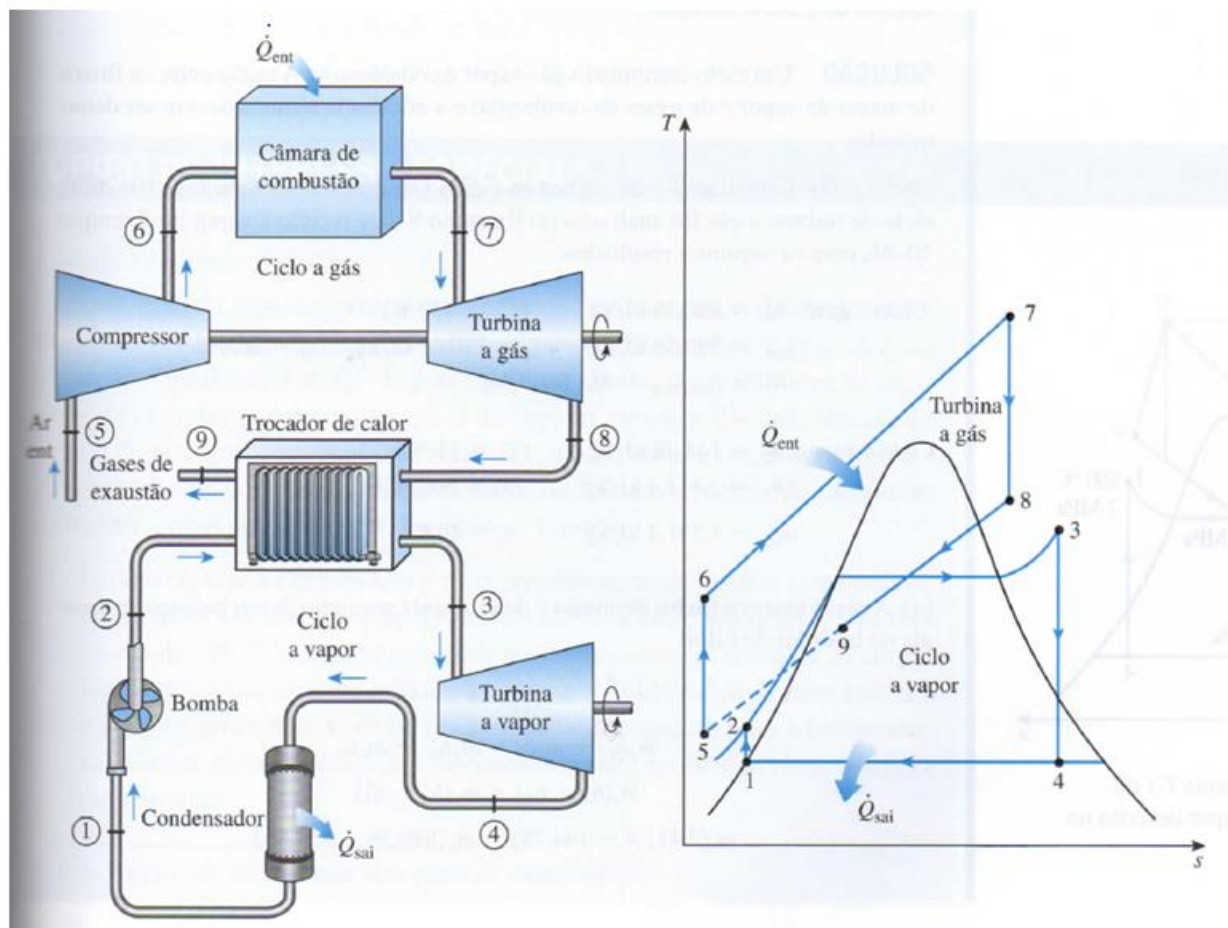


Figura 1. Turbina bicomcombustível (à Gás Natural ou Combustível Líquido).

Figura de Autoria da Alstom em apresentação do projeto da UTE Termorio.

Os gases de exaustão do ciclo Brayton, então, são encaminhados para gerar vapor por meio do ciclo Rankine. Uma caldeira de recuperação (trocador de calor) se apropria do calor dos gases de exaustão do ciclo Brayton para fazer vapor no ciclo Rankine. O vapor então é utilizado para gerar trabalho em uma turbina à vapor e depois segue para um condensador, a fim de novamente se liquefazer e seguir, novamente ao trocador de calor, reiniciando seu ciclo. Nesse caso, a potência

líquida de trabalho produzida passa a ser a soma dos dois ciclos, que nos dizeres de Michael J. Moran chega a 53% da energia fornecida inicialmente³. Neste trabalho nós utilizamos os dados empíricos da Usina Termelétrica Termorio, atualmente denominada Usina Governador Leonel Brizola, cuja potência líquida de trabalho (rendimento), ao nível do mar (situada em Macaé) é de 50% e cujo ciclo combinado é ilustrado na figura 2:



2. Figura extraída do Livro Termodinâmica, de Çengel / Boles.

³ Em Princípios de Termodinâmica para Engenharia, pág. 429.

A Figura 3 mostra o Painel de Controle de Operação do Bloco 2 da UTE Termorio, onde se destacam os dados técnicos de sua operação:

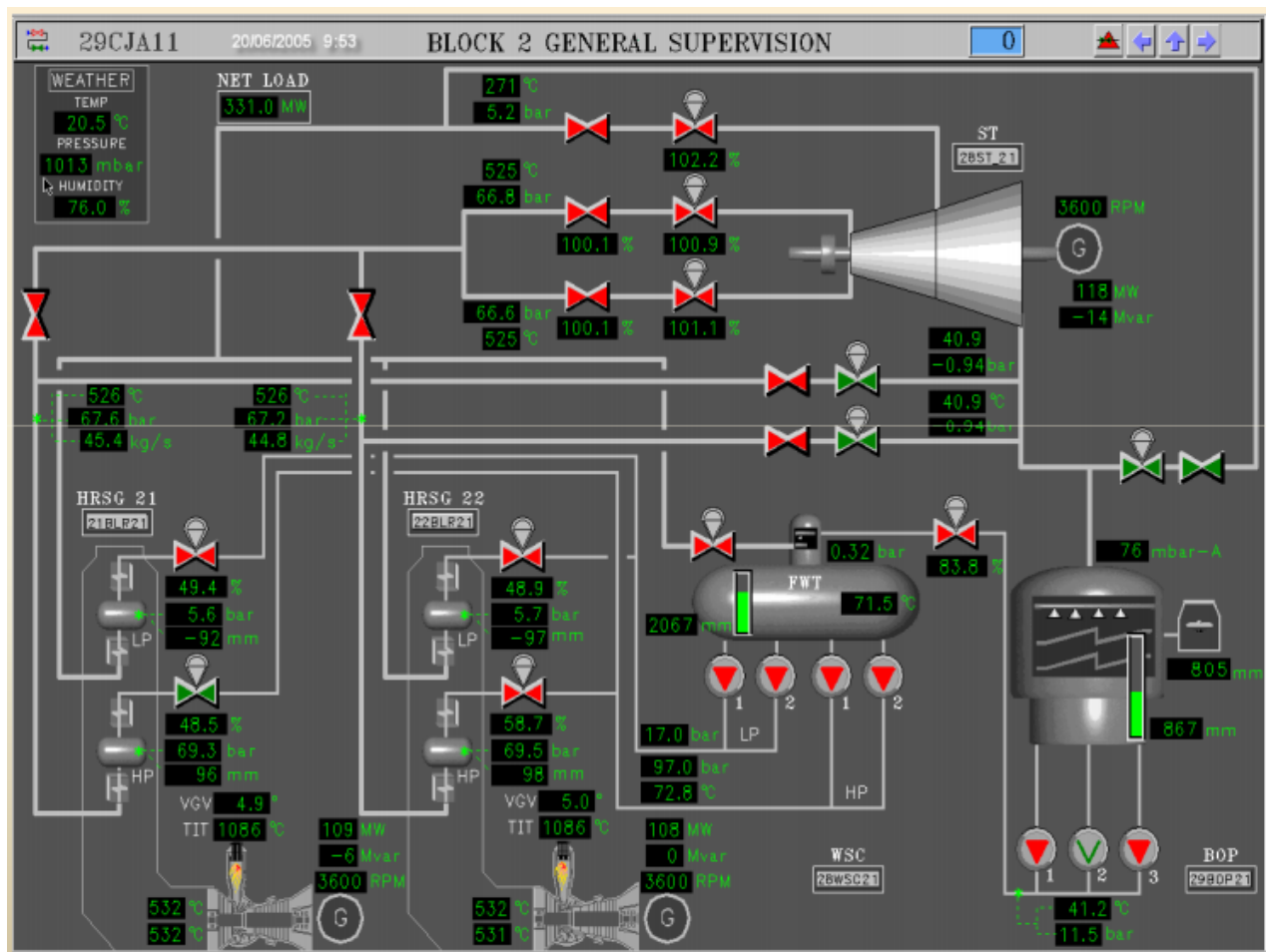


Figura 3. Print do Painel de Controle da UTE Termorio, Bloco 2.

2.3.- Eficiência do Veículo de Motor Elétrico

Nuno Miguel Diarte Lima, em sua dissertação, identifica que não existe uma data certa para a criação do veículo elétrico, mas que a ampla maioria dos estudiosos atribui a sua criação à Ányos Jedlik, inventor escocês do séc. XIX, que no ano de 1828 construiu um pequeno modelo de um carro movido por um motor elétrico que ele próprio projetou. A invenção das baterias de chumbo-

ácido em 1859, por Gaston Planté e o aperfeiçoamento das suas capacidades por Camille Faure em 1881 são pontos marcantes para a evolução do próprio carro elétrico.

E conclui Nuno Miguel Diarte Lima que não obstante todos os desenvolvimentos do veículo elétrico ao longo desses anos, o primeiro automóvel elétrico de sucesso só foi construído em 1891 nos EUA por William Morrison of Des Moines. A evolução do veículo elétrico a partir desse momento fez dele um dos veículos de eleição do final desse século e início do seguinte. Na virada do século XIX, 40% dos automóveis americanos eram movidos a vapor, 38% pela eletricidade, e 22% à gasolina. As vendas de carros elétricos atingiram o pico em 1912. De fato, em 1912, cerca de 34.000 veículos elétricos de passageiros estavam registrados na América e, em 1915, os serviços postais nas grandes cidades Americanas eram dominados por caminhões elétricos devido à sua confiabilidade e ao seu funcionamento silencioso.

O desenvolvimento do veículo elétrico para lançamento comercial em larga escala ficou estacionado durante anos em decorrência da forte popularização dos veículos com motores de combustão interna. Dominique Foray atribui como um dos fatores preponderantes ao não desenvolvimento dos veículos elétricos a falta de uma bateria eficiente conjugada com a ausência de uma rede de distribuição de energia elétrica no início do século XX. Conclui o autor que o resultado em desfavor do veículo elétrico poderia ter sido diferente se a competição entre os diferentes tipos de veículos (combustão interna e elétrico) tivesse ocorrido 20 anos mais tarde, visto que nos primórdios desta batalha, uma rede de postos de combustíveis líquidos também teve de ser formada.

Claudia do Nascimento Martins disserta sobre a história de como a tecnologia do veículo a combustão interna fez o “aprisionamento” da tecnologia do veículo elétrico:

“Por volta de 1905 os automóveis a gasolina começaram a tomar a dianteira em termos de popularidade, pois a sua autonomia era o dobro da autonomia de

um elétrico... Assim, apesar das qualidades dos carros elétricos, a formação da indústria do petróleo, que passou a gerar lucros extraordinários foi, passo a passo, freando as pesquisas que possivelmente aconteceriam para solucionar as deficiências dos carros elétricos, já que o setor automotivo começou a prosperar com base no motor a gasolina. Para Freeman e Soete (2008) a principal razão para o grande aprisionamento (lock-in) aos motores de combustão interna deveu-se, de forma natural, ao sucesso das linhas de montagem de Ford que reduziram drasticamente os custos e os preços do Modelo T.”

A história da humanidade é repleta de exemplos de *lock-in* tecnológicos, onde uma tecnologia, mesmo inferior às outras, por diversas razões conjunturais, acaba por se impor às outras, bloqueando-as. Foi assim com o sistema Betamax da Sony, que colapsou diante do sistema VHS, visivelmente de qualidade inferior, mas que se espalhou rapidamente pela Europa e pelo mundo, dominando os mercados, graças à liberação de sua patente para diversos fabricantes, enquanto a Sony queria produzir com exclusividade o sistema Betamax.

2.4. – A Rede de Distribuição de Combustíveis Líquidos

Cláudia Nascimento Martins também destaca a imensa importância que a rede de distribuição de combustíveis teve para o sucesso do veículo com motor de combustão interna:

“O primeiro posto de abastecimento para carros movidos à gasolina nos Estados Unidos surgiu em St. Louis, Missouri, em 1905 e, em 1907, a Standard oil of California, atual Chevron, construiu seu primeiro posto em Seattle, Washington... A Standart Oil Company se tornou a maior empresa americana no início do século XX com a integração vertical das atividades de exploração, transporte, refino e distribuição (TIGRE, 1998). Seu nome está relacionado ao de John Davison Rockefeller que, ao construir um império, tornou-se a figura mais importante na formação da indústria do petróleo, no desenvolvimento industrial dos estados Unidos e da ascensão da moderna corporação (YERGIN, 2012).”

Hoje a frota brasileira de caminhões tanques para o transporte de combustíveis das refinarias às distribuidoras e aos postos de combustíveis equivale a 1,7% da frota de caminhões do Brasil, ou 13.014 caminhões tanques⁴. Nossa rede de distribuição tem mais de 300 distribuidoras de combustíveis e 99.000 postos de combustíveis⁵. Tudo isso permite, ainda hoje, uma capilaridade de distribuição de combustíveis líquido maior do que a rede de distribuição de energia elétrica.

2.5. - Redes de Transmissão de Distribuição de Energia Elétrica

O Brasil possui uma rede de transmissão, confira figura 4, e de distribuição de energia elétrica continental e quase totalmente integrada. Caberia toda a Europa Ocidental dentro da rede de transmissão elétrica do Brasil. Essa imensa rede permite que se utilize de forma ótima nosso principal sistema de geração de energia elétrica, o hidrelétrico, que corresponde a 72,85% da potência instalada para a geração de energia elétrica⁶. Se isso favorece a geração por hidrelétricas otimizando o uso dos reservatórios, permitindo que o Operador Nacional do Sistema Elétrico possa acionar usinas hidrelétricas onde está ocorrendo um regime pluviométrico melhor e economizar água onde o regime pluviométrico não está favorável, por outro lado obriga a transmissão de energia elétrica por grandes distâncias, eleva as perdas técnicas e comerciais e traz insegurança ao sistema.

⁴ LOPES, Simone Saisse; CARDOSO, Marcelo Porteiro e PICCININI, Maurício Serrão. “o Transporte Rodoviário de Carga e o Papel do BNDES” in Revista do BNDES, Rio de Janeiro, V. 14, N. 29, P. 35-60, Jun, 2008.

⁵ Site ANP: <http://www.anp.gov.br/?id=2881> Acesso: maio/2016.

⁶ Segundo PDE 2024 da EPE. No site: [WWW.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br) Acesso: abril/2016 . Contudo, no último ano, devido a restrições pluviométricas para geração hidrelétrica, o efetivo consumo de energia elétrica proveniente de hidrelétricas foi de 65,2%, segundo o BEN da EPE.

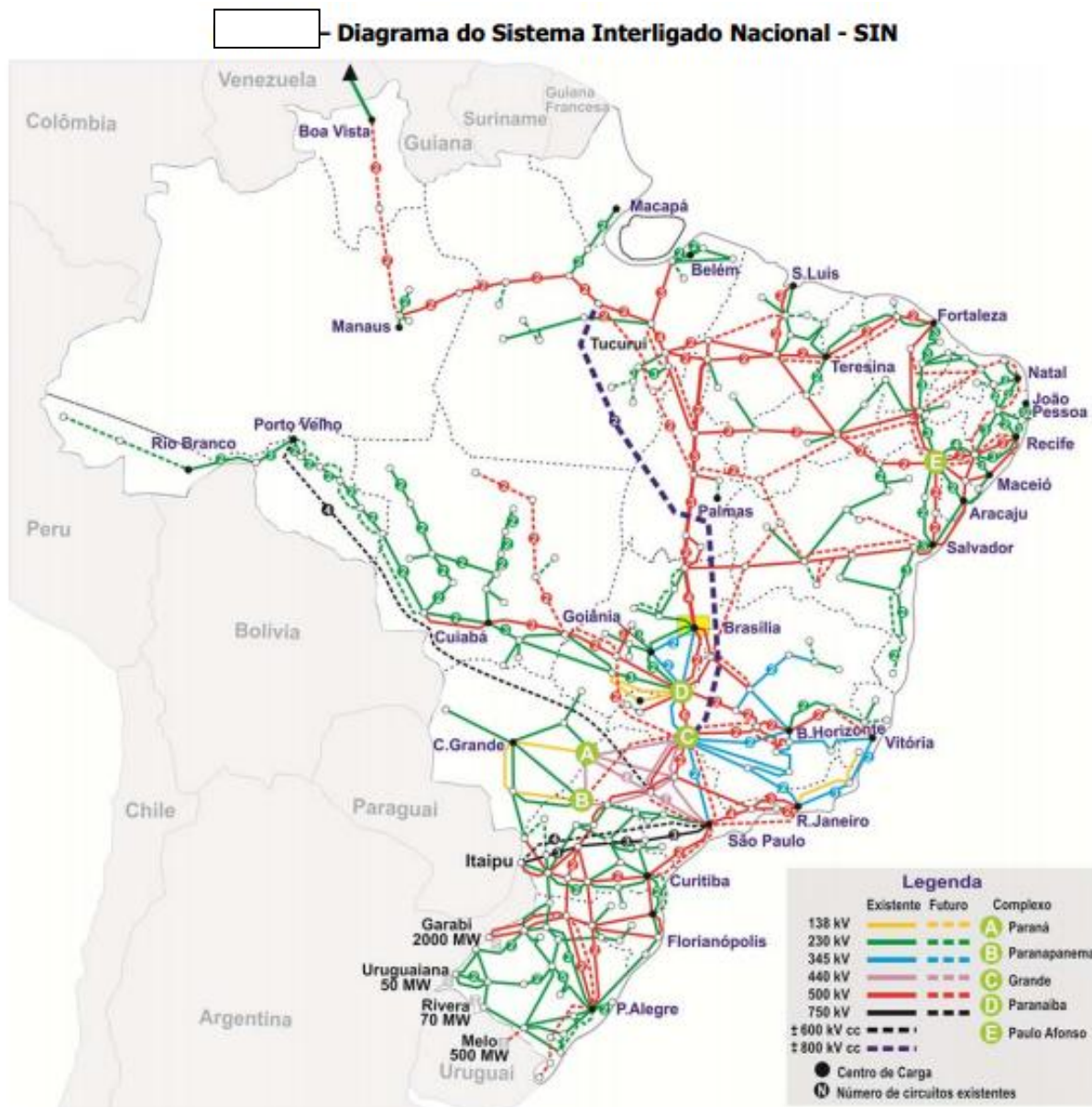


Figura 4. O SIN brasileiro. Figura elaborada pela EPE⁷

Chama-se de perdas técnicas aquelas que ocorrem pelo efeito *joule*, na transmissão da energia elétrica principalmente na alteração de voltagem. Elas chegam a 8% de todo o volume da energia

⁷ Site: C:\Users\Maury Sergio\Downloads\PDE 2024 RELATORIO FINAL.pdf.a0co0ci.partial Acesso: maio/2016.

elétrica transmitida. Já as perdas comerciais (furto de energia elétrica) variam de estado para estado, de região para região, conforme figura 5, totalizando perdas médias da ordem de 14%.

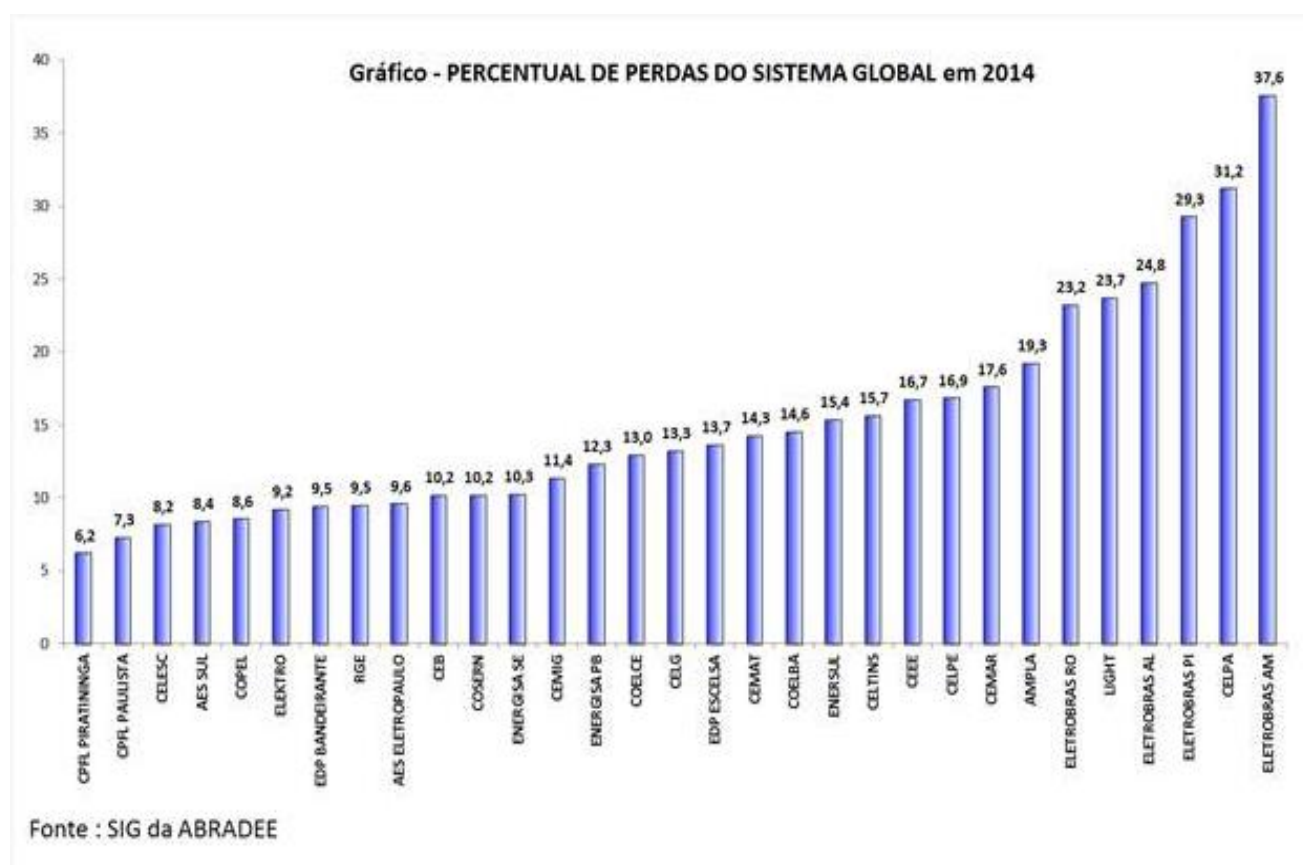


Figura 5. Perdas Comerciais. Elaborado pela ABRADÉE.

Assim, somando-se os fatores exógenos às perdas internas do motor elétrico (2%), pode-se dizer, grosso modo, que do total de energia elétrica produzida pelo gerador 76% se transforma em movimento mecânico na roda do veículo elétrico, sendo que metade das perdas técnicas (4%) é de responsabilidade financeira do Gerador, sendo repassado ao Consumidor Final, diretamente, apenas as perdas comerciais.

2.6. – Histórico de Impactos para o Meio Ambiente

É de conhecimento geral que a Organização das Nações Unidas – ONU vem de há muito⁸ capitaneando ações para a redução da poluição atmosférica no planeta, em especial, visando à redução da emissão para atmosfera de gases que podem gerar o chamado efeito estufa. Em outras palavras, gases liberados no processo de queima de combustíveis fósseis (principalmente CO₂) e que acumulados na parte inferior da atmosfera terrestre absorvem parte da radiação infravermelha, retendo o calor da radiação solar em nossa atmosfera, elevando a temperatura média do planeta, provocando alterações climáticas, derretimento de geleiras e a elevação dos níveis médios dos mares, bem como danos ao ecossistema.

Mariana Maia de Miranda ensina que:

“o efeito estufa é um fenômeno natural e responsável pela manutenção da vida na Terra, pois regula a temperatura do nosso planeta através da manutenção de um equilíbrio entre a radiação que entra e sai da atmosfera terrestre. Basicamente, a superfície e a atmosfera da Terra são mantidas aquecidas pela energia solar. De toda a radiação proveniente do Sol, cerca de 50% é absorvida pela superfície terrestre, 30% é refletida para o espaço pelas nuvens, neves, areia e outros corpos refletivos e 20% é absorvida por gases e gotículas de água presentes na atmosfera e reemitida em todas as direções provocando um aquecimento adicional da Terra. Esse fenômeno mantém a superfície da Terra a uma temperatura média de + 15°C, em vez de -15°C, temperatura que predominaria se os gases que absorvem radiação infravermelha não estivessem presentes na atmosfera. Um aumento na concentração desses gases

⁸ A primeira conferência de âmbito mundial foi a de Estocolmo - Suécia, em 1972. Depois em 1988, em Toronto, Canadá e Sundsvall, Suécia, em 1990. Depois a ECORIO92, no Rio de Janeiro – Brasil em 1992 e Rio+10 em Joanesburgo – África do Sul, em 2002 e Rio+20, novamente no Rio de Janeiro – Brasil, em 2012. Como resultado das conferências, além de diretrizes gerais, certos compromissos são assumidos, por meio da edição de protocolos firmados pelos diversos países. Exemplo: Protocolo de Quioto – Japão – 1997. Além das iniciativas globais capitaneadas pela ONU, cada país tem internalizado regras próprias. No Brasil, desde 1998, foi criado o PROCONVE – Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores. Nos EUA, desde 1993 já existe o PNGV – Partnership for a New Generation of Vehicles, que conforme o nome indica, é um programa do Governo Americano para incentivar as indústrias de veículos a produzirem uma nova geração de veículos menos poluente.

intensificaria o efeito estufa, provocando um aquecimento ainda maior na atmosfera (BAID, 2002). E é justamente esse fato que tem causado tanta preocupação pelos impactos que as mudanças climáticas causam...”.

Daniel E. Castro destaca que o conhecido efeito estufa foi pela primeira vez identificado em 1827, pelo filósofo e biólogo Irlandês do século XIX Jean-Baptiste Fourier. E foi o cientista britânico John Tyndall que, em 1860, mediu a absorção de calor pelo dióxido de carbono e pelo vapor d'água, introduzindo a ideia de as grandes variações na temperatura média da terra, as quais produziram épocas extremamente frias, como as chamadas “idades do gelo” ou muito quentes (como a que ocorreu na época da transição do Cretácio para o Terciário) tendo por causa as variações da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, a figura 6 mostra a contribuição percentual dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa.

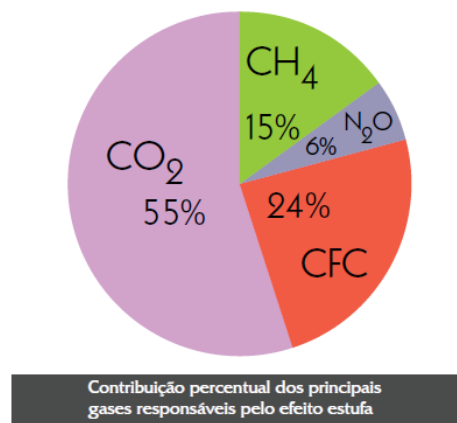


Figura 6. Principais Gases Responsáveis pelo Efeito Estufa.

Elaboração: Daniel E. Castro.

Nesse sentido, PRIMO Jr. destaca em sua dissertação apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Norte que:

“A poluição atmosférica promovida principalmente pelos meios de transporte causa maiores impactos ambientais nos grandes centros urbanos, onde o tráfego é intenso. Diversos gases oriundos das emissões veiculares como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), os hidrocarbonetos (HC), o ozônio (O3), o dióxido de enxofre (SO2), além de partículas sólidas afetam de diversas formas a saúde. O ozônio troposférico presente nas camadas mais baixas da Terra, formado a partir de mistura de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, constitui-se um dos componentes da névoa fotoquímica presente nas grandes cidades, podendo ser transportado pelos ventos para outras regiões, sendo nocivo ao sistema respiratório humano e afetando a capacidade de reprodução das plantas. Os óxidos de enxofre (SO2) e de Nitrogênio (NOx) reagem com o vapor d’água presente na atmosfera dando origem a substâncias ácidas reduzindo o pH da água da chuva, provocando danos em solos, águas e vegetações atingidas. A poluição sonora gerada a partir do ruído emitido pelos veículos também constitui outro problema ambiental principalmente nas áreas de tráfego intenso, provocando problemas de stress, dificultando a concentração em diversos tipos de atividades. A exposição a ruídos superiores à 65 dB pode causar problemas de audição a longo prazo.”

A comparação científica entre os impactos para o meio ambiente de duas tecnologias complexas implica na avaliação de todo o ciclo de vida do produto, em conformidade com o normatizado nas ISOs 14040 (Life Cycle Assessment. Principles and Framework) e 14044 (Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines).

No presente caso isso implicaria, EM PRINCÍPIO, não somente a análise do produto, mas também a análise do impacto de todos os produtos utilizados na fabricação deles e, sobretudo, os insumos necessários aos veículos de tecnologias diferentes, porque no ciclo de vida dos veículos, os insumos utilizados para movimentá-los é a maior parte da fonte geradora de poluição.

As Estruturas determinadas pelas normas ISO acima referidas são: (i) Definição de objetivo e escopo, no qual se apresenta o propósito do estudo e sua extensão, com o estabelecimento de suas fronteiras; (ii) Análise do inventário, que consiste na coleta de dados e no cálculo da entrada e saída de matéria e energia para um determinado sistema; (iii) Avaliação do impacto gerados ao meio ambiente e (iv) Interpretação com a conclusão e recomendações para a minimização dos impactos ambientais gerados pela atividade.

Definição. Por óbvio que no âmbito de uma monografia, que não pretende ser uma dissertação ou tese, muito menos um tratado do assunto, não haveria espaço suficiente para se tratar com a devida profundidade todos os aspectos necessários a serem pesquisados para um resultado preciso dos impactos ambientais. Assim, mesmo com o apoio em outros trabalhos científicos já realizados e apontados, o presente estudo deve ser analisado como um caminho, um norte e uma sugestão para quem se dispor a realizar um tratado sobre o tema. Não obstante, os resultados alcançados nesta monografia são suficientes para atingir o objetivo desta monografia.

Análise do inventário. Necessário, antes de tudo, dividir o impacto ambiental em dois momentos. Todo o impacto gerado para a construção dos veículos (de motor de combustão interna e elétrico) e todo o impacto gerado durante as vidas dos veículos em condições semelhantes de operações.

Note-se que para a presente monografia não estamos considerando a poluição evitável ou a reciclagem de materiais naquilo que não é substancialmente diferente entre os veículos elétricos e os veículos com motores de combustão interna. Nesse sentido, a composição média dos materiais presentes nos veículos atuais está retratada na figura 7:

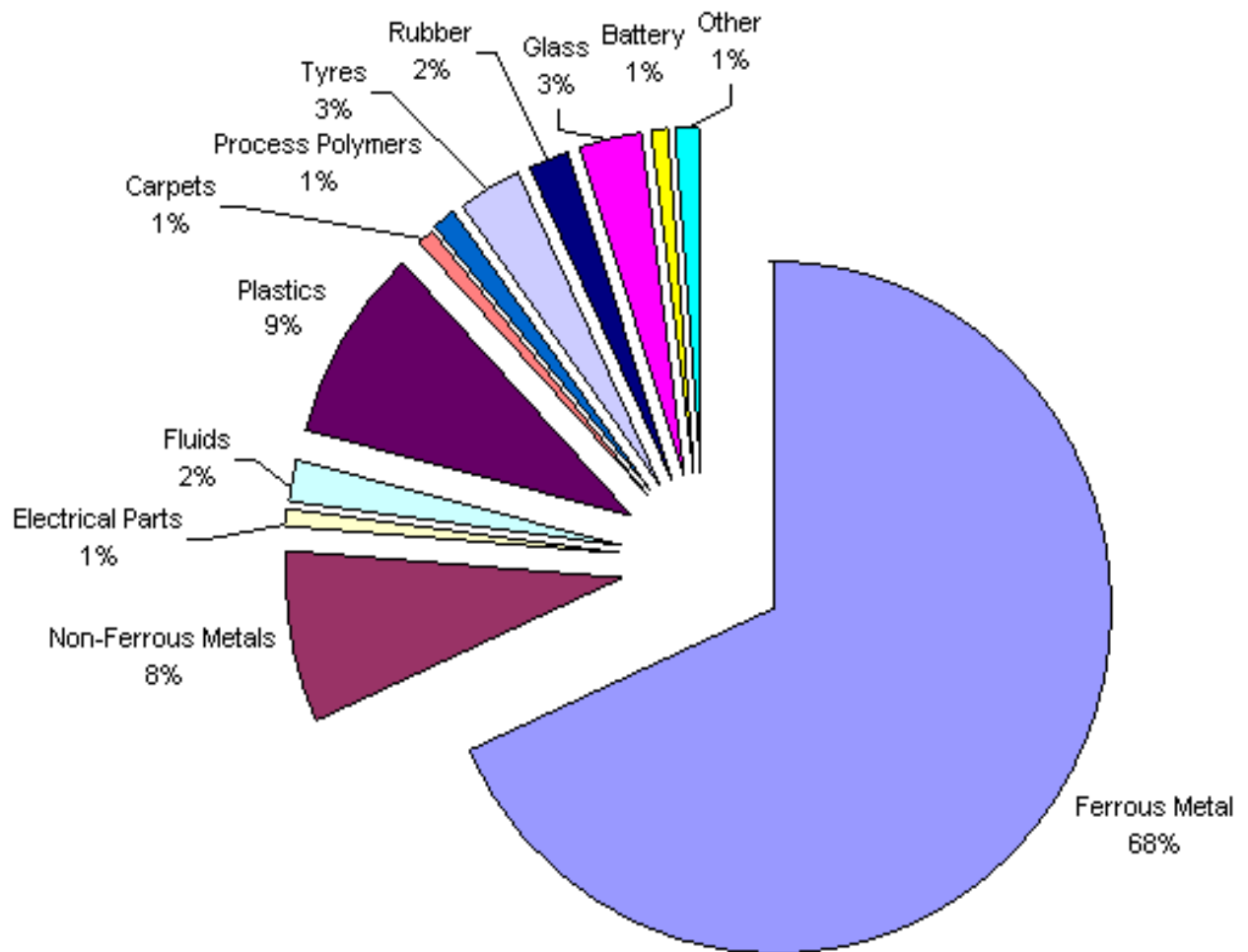


Figura 7. Composição Médias dos Materiais Presentes em um Veículo Moderno.

Fonte: ACORD, Annual Report, 2001⁹

Também, para fins desta monografia, não é relevante a quantidade de recursos naturais utilizados igualmente na fabricação dos veículos elétricos e veículos com motor de combustão interna. Por exemplo, embora para extração do minério de ferro e produção do aço se utilize em média 10,5 mil litros de água por tonelada de aço-bruto produzida¹⁰, fora a energia elétrica gasta que em sua maior parte provém de hidrelétricas também, em termos de comparação entre veículos elétricos e

⁹ <https://dl.dropboxusercontent.com/u/21130258/resources/InformationSheets/vehicle.htm> Acesso abril/2016.

¹⁰ http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P32_RT58_Perfil_do_Axo.pdf/27f7f328-260b-415b-8fb1-47435b68aeec Acesso 11.4.2016.

veículos com motores de combustão interna, a grande diferença encontra-se no uso do veículo (combustível) e não na fabricação do veículo cujo percentual de aço no produto final é semelhante.

Lógico que, embora intuitivamente possa ser consenso que o veículo elétrico quando em funcionamento polui menos do que o veículo de combustão interna, não se pode creditar veracidade científica a esta afirmação sem antes avaliar todo o ciclo de vida do processo, com a análise da poluição necessária tanto para a produção de cada um dos veículos, quanto para a produção de cada um dos combustíveis neles utilizados (energia elétrica, etanol ou derivados do petróleo). Só com a avaliação global do impacto poluidor que se poderá afirmar, com base científica, a melhor opção para o meio ambiente.

2.7. – Histórico de Impactos na Saúde Pública

Karla Ribeiro de Castro relata que em Londres, em 1952, cerca de 4 mil pessoas morreram devido a forte poluição por queima de combustíveis fósseis para a indústria e transporte e em decorrência do agravamento dos efeitos por uma inversão térmica. Em resposta a esta tragédia, em 1956, o parlamento inglês aprovou a *Clean Air Act*.

Cristina Lau Chu relata que, em 1946, o estado da Califórnia instituiu o *State Air Pollution Control Act*, legitimando a autoridade do *County Board of Supervisor* (HAAGEN-SMIT, 1970). As pesquisas atmosféricas estavam em andamento na Califórnia quando em 1948: “*ocorreu um episódio de poluição atmosférica de proporções desastrosas na cidade de Dora (Pensilvânia), que foi vinculado à causa de 20 óbitos e o adoecimento grave de aproximadamente 50% dos cidadãos (BRESLOW, GOLDSMITH; 1958)*”.

Francisco Eduardo Mendes, em sua tese, esclarece que nos idos dos anos 50, na Califórnia, EUA, apresentaram-se as primeiras evidências científicas de que os veículos automotores representavam

uma significativa fonte de poluição do ar e que isto provocava efeitos danosos sobre a saúde o bem estar da população. A partir de 1963 passou a existir legislação, na Califórnia, para controlar a emissão de poluentes produzidos por veículos. Em 1966 foi a vez do Japão, em 1970 dos E.U.A (em legislação federal – *Clean Air Act*) e a partir de 1971 os países da Comunidade Econômica Europeia. Abaixo destaca os efeitos do controle de emissões veiculares na Califórnia.

Tabela 1. Evolução do controle de poluição atmosférica no Estado da Califórnia.

Ano	Frota (10 ⁵ veículos)	Km Percorrida (10 ⁹ km)	Emissão de Escapamento (g/km)			Concentração Máxima de Ozônio em LA (1 hora - ppb)
			CO	HC ^a	NOx	
1965	10,5	145	52	6,8	2,5	580
1995	26	436	1,2	0,2	0,2	260
Redução relativa (%)			98%	97%	92%	55%

Fonte: California Air Resources Board, 2000

Nota (a): Hidrocarbonetos Totais

No Brasil, as primeiras discussões sobre o controle da poluição automotiva começaram em 1977 e em 1981 foi elaborada a primeira norma (Norma NBR 6601). Conforme demonstra a tabela da CETESB¹¹ (Tabela 2) de contribuição das fontes poluidoras na Região Metropolitana de São Paulo, os maiores poluidores são automóveis movidos à gasolina e ônibus urbanos.

¹¹ http://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/rqar_2014.pdf Acesso: abril/2016.

Tabela 2

– Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP.

Categoria			Combustível	Poluentes (%)					
				CO	HC	NO _x	MP ₁₀ ¹	SO _x	
MÓVEIS	Automóveis		Gasolina C	43,86	29,91	12,73	0,97	13,66	
			Etanol Hidratado	8,26	5,90	1,53	nd	nd	
			Flex-Gasolina C	4,79	4,96	1,18	0,41	6,48	
			Flex-Etanol Hidratado	5,06	5,41	1,05	nd	nd	
	Comerciais Leves		Gasolina C	7,22	3,68	1,67	0,18	2,92	
			Etanol Hidratado	0,54	0,39	0,11	nd	nd	
			Flex-Gasolina C	0,63	0,73	0,19	0,06	1,20	
			Flex-Etanol Hidratado	0,86	0,84	0,20	nd	nd	
			Diesel	0,66	0,66	6,41	4,86	2,03	
	Evaporativa de abastecimento			na	12,95	na	na	na	
	Caminhões		Semi-Leves	Diesel	0,14	0,22	1,79	1,52	0,75
			Leves		0,61	0,83	7,96	6,09	3,73
			Médios		0,41	0,58	5,42	4,85	2,17
			Semi-Pesados		0,53	0,54	6,90	3,72	3,98
			Pesados		0,47	0,57	6,78	3,73	4,02
	Ônibus		Urbanos	Diesel	1,56	1,51	18,95	10,50	0,12
			Micro-ônibus		0,11	0,11	1,36	0,65	0,01
			Rodoviários		0,17	0,23	2,55	0,68	0,71
	Motocicletas		Gasolina C	21,28	12,20	1,48	1,73	1,23	
			Flex-Gasolina C	0,21	0,11	0,03	0,05	0,07	
			Flex Etanol Hidratado	0,07	0,05	0,02	nd	nd	
FIXA	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (2008)			2,54	10,22	21,67	10,00	56,91	
	BASE DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO (2009)				7,40				
	RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS						25,00		
	AEROSSÓIS SECUNDÁRIOS						25,00		
TOTAL				100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

1. Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis. A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre todos os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis.

nd: não disponível.

na: não aplicável.

Obs.: Ano de referência do inventário de fontes móveis: 2013.

Os efeitos desses poluentes são também segundo a CETESB os indicados na Tabela 3¹²:

Tabela 3 – Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc, que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade, contaminação do solo e água.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol, marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Diante da comprovação científica dos malefícios da poluição atmosférica provocada pela queima de combustíveis fósseis, a discussão hoje resume a como contornar seus efeitos maléficos e como reduzir os gases de efeito estufa.

¹² <http://cetesb.sp.gov.br/qualidade-ar/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/relatorio-op-inverno-2012.pdf>
Acesso: abril/2016, corroborados pela tabela da California Environmental Protection Agency, em <http://www.arb.ca.gov/research/health/fs/fs1/fs1.htm> Acesso: abril/2016.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DA SITUAÇÃO PROBLEMA

3.1 – Condição Necessária à Implantação dos Veículos Elétricos:

a) O Renascimento do Veículo Elétrico

Foi a partir dos anos 80, com a transferência de tecnologia aeroespacial (modernas baterias) para o setor automotivo, que voltou a haver o desenvolvimento de protótipos de carros elétricos, até que em 1990 a General Motors lançou o Impact no L.A. Auto Show (SHNAYERSON).

Esclarece Cristina Lau Chu que a General Motors continuou o desenvolvimento da tecnologia de baterias NiMH, utilizada por ela na segunda geração de veículos elétricos. Em 1997, a Toyota lança o Prius e a Nissan o Altra. Conclui a autora que houve por parte dos Estados envolvidos uma: coordenação de políticas públicas que levaram a uma abordagem inicialmente *technology-forcing*, evoluindo para uma abordagem *market-driven* nas ações governamentais.

A pressão iniciou-se por questões ambientais (poluição), contra-atacada por questões sindicais e econômicas que viam na legislação ambiental um entrave ao desenvolvimento do mercado. A pressão prosseguiu com o apoio ao desenvolvimento tecnológico, por intermédio de incentivos por parte do Estado (P&D) e depois passando pela crise do petróleo e hoje se dá pela aprendizagem tecnológica da bateria e do desenvolvimento do mercado do veículo elétrico.

Atualmente se pode dividir em ao menos três as tecnologias dos veículos elétricos. Veículos Puramente Elétricos, os quais possuem apenas baterias para o armazenamento da energia

necessária para suprir os motores elétricos. Veículos Híbridos, que possuem um motor a combustão interna como gerador para fornecer a energia elétrica necessária aos motores elétricos e às vezes para trabalhar conjugado com os motores elétricos na movimentação do automóvel. E o Veículo de Célula de Combustível, que se utiliza do hidrogênio para, por meio de uma reação química com o oxigênio gerar energia elétrica que suprirá os motores elétricos. Nesta monografia trabalharemos apenas com os Veículos Puramente Elétricos.

Almeida Silva de Castro em sua monografia estimou o consumo energético de dois veículos puramente elétricos, o Fiat Palio Weekend Elétrico e o do Tesla Modelo S, com baterias de Lítio-íon e Panasonic 18650, chegando a um consumo médio de 7,331 km/kWh para um carro pouco potente e equipado (o Fiat Palio) e 4,930 km/kWh para o Tesla (um carro mais potente e com muitos equipamentos eletrônicos). Já Joana Maria Rocha Balsa mediu 6,25 km/kWh para um Nissan Leaf 2013.

Tomando-se por base a pior avaliação de consumo medido nos carros (4,93 km/kWh) e considerando-se o gasto energético necessário para a produção de um MWh, como sendo o gasto da UTE Termorio, qual seja, de 193,66 m³ de Gás Natural para produção de 1 MWh¹³, tem-se:

$$1 \text{ kWh} \Rightarrow 4,93 \text{ km} \quad 1 \text{ MWh} \Rightarrow 4.930 \text{ km}.$$

Em outras palavras, um Tesla pode rodar 4.930 km gastando 1 MWh de energia elétrica. Considerando que um sedã médio do mercado faz por volta de 13 km¹⁴ com um litro de gasolina, pode-se concluir que se gastariam 379,23 litros de gasolina para percorrer com um motor de

¹³ Dados empíricos da produção da Usina Termelétrica Leonel Brisola, em Macaé, Bloco 2, com produção de 7.920 MWh/dia e consumo de 1.533.788 m³ de GN/dia.

¹⁴ Dados do Nissan Sentra em teste realizado. Site: <http://www.icarros.com.br/nissan/sentra/opinioes> Acesso: maio/2016.

combustão interna a mesma distância que se percorreria com 1 MWh de energia elétrica, para o qual foi gasto como insumo 193,66 m³ de Gás Natural (na UTE Termorio).

Mesmo a diferença em valores monetários, considerado o pior cenário, e ainda considerando o valor da energia elétrica no Brasil (a segunda tarifa mais cara do Mundo), em 2 de abril de 2016, teríamos que a diferença em reais entre os dois tipos de insumos para percorrer o mesmo percurso, adotando-se a tarifa residencial (B1) da Eletropaulo (Resolução ANEEL nº 1.920/2015), com impostos, R\$ 531,84 por MWh e o preço médio da gasolina sem aditivo (R\$ 3,10) para o volume gasto (379,13 litros) seria de R\$ 1.175,61, teríamos como resultado o gasto a mais com a gasolina seria de 121,04% do que o gasto com a energia elétrica!

Em outras palavras, deve-se considerar que do preço pago na bomba de gasolina, de cada R\$ 100,00 reais gastos, somente R\$ 20,00 servem para mover o carro flex¹⁵. Ou ainda, considerando o volume de combustíveis vendidos nos postos em 2015¹⁶, chegaríamos aos valores de 17,86 bilhões de litros de etanol hidratado; 41,13 bilhões de litros de gasolina e 57,21 bilhões de litros de Diesel, totalizando a preços médios R\$ 342,5 bilhões de reais gastos com combustíveis líquidos para o transporte terrestre, dos quais, apenas R\$ 92,5 bilhões de reais¹⁷ serviram para movimentar pessoas e cargas, outros R\$ 250 bilhões de reais foram queimados em vão, serviram apenas para criar os vários tipos de poluições e aumentar a quantidade de gases que geram o efeito estufa.

Para se ter ideia do volume de recursos desperdiçados, basta comparar com o orçamento da União Federal para 2016. A soma dos orçamentos do Ministério da Educação (R\$ 95 bilhões); da Saúde (R\$ 109 bilhões); da Justiça (R\$ 12,7 bilhões); da Agricultura, pecuária e abastecimento (R\$11,3

¹⁵ No caso da gasolina, considerando no valor 17% de distribuição e revenda; 16% custo do etanol misturado à gasolina, 28% de ICMS, 9% de CIDE, PIS/PASEP e COFINS e 30% do custo Petrobrás. Informação site: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos/gasolina/> acesso: maio/2016.

¹⁶ Site: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2016/02/1737259-etanol-bate-recorde-de-vendas-em-2015-mas-nao-ameniza-crise-no-setor.shtml> Acesso: maio/2016.

¹⁷ Adotando 20% para eficiência dos veículos flex e 35% para os veículos à diesel.

bilhões) e das Justiças Federal e Eleitoral (17,67 bilhões)¹⁸ não alcançam o valor queimado em combustível sem qualquer proveito econômico!

Assim, a princípio, estamos diante de uma tecnologia que poupa 54,8% dos recursos econômicos do proprietário do veículo, não gera poluição sonora, particulada e de gases tóxicos ou do aquecimento global! Por outro lado, estamos diante de uma tecnologia que ficou submetida à preponderância de outra, menos eficiente, basicamente por uma questão essencial: autonomia! Em grande parte, como visto, a autonomia do veículo com motor de combustão interna proveio da rede de distribuição de combustíveis. Vejamos, então, o que a nova tecnologia tende a impactar neste mercado.

b) Impactos na Demanda por Combustíveis Líquidos e sua Distribuição

É intuitivo que a demanda por veículos elétricos irá impactar a demanda de combustíveis líquidos. Não será mais necessário levar o automóvel a um posto de combustível para ser abastecido, o automóvel poderá ser abastecido na garagem do imóvel do seu proprietário ou em qualquer lugar que exista uma conexão própria ao sistema elétrico, como vemos na figura 8. Em algumas cidades, como Londres, tivemos a oportunidade de certificar a existência nas ruas de vagas exclusivas para carros elétricos e com pontos de cargas operando com cartões de crédito¹⁹.

¹⁸ Site: http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/sof/orcamentos-anuais/2016/volume_i.pdf
Acesso: maio/2016.

¹⁹ Foto da internet: <http://www.veiculoeltrico.blog.br/2015/11/eua-quer-que-carros-eletricos-sejam.html>



Figura 8. Fotografia de veículos elétricos carregando em vagas especiais nas ruas.

Além do ganho proporcionado pela eficiência energética da troca do veículo de combustão interna pelo veículo elétrico, teríamos ainda a economia na distribuição dos combustíveis líquidos, que segundo pesquisa de Daniel Alexandre Flórez-Orrego significa economia de gastos equivalentes em volume de combustíveis a 1,37% para gasolina distribuída e 2,30% para o Etanol²⁰.

Renato Baran em sua tese de Doutorado apresentada à COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro²¹ concluiu que:

“... a utilização de energia elétrica por automóveis permitiria uma redução do consumo de gasolina de 40,7% em 2031, acompanhado por um aumento do consumo de eletricidade de 42,1% em relação às projeções oficiais. Isto equivale a uma redução de 27,5% no consumo total de energia pela frota nacional, ou cerca de $31,6 \times 10^6$ tep/ano.”

Concordamos em parte com seus números, apenas atualizamos para os dados de 2014 (último dados do BEM da EPE) e cingimos os transportes a rodoviário, excluindo ferroviário, aéreo e hidroviário, chegando então a um consumo anual de $79,9 \times 10^6$ tep/ano de combustível. Nessas condições, teríamos com o ciclo Otto um consumo útil de $21,6 \times 10^6$ tep/ano. A total substituição da frota de veículos de motores de combustão interna por veículos elétricos significaria atualmente um consumo de $21,6 \times 10^6$ tep/ano / 0,74 = $29,2 \times 10^6$ tep/ano ou uma economia de $79,9 - 29,2 \times$

²⁰ Gastos com a distribuição: gasolina (0,0137kJ/kJ) e etanol (0,023 kJ/kJ).

²¹ In “A introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade.”

10^6 tep/ano = $50,7 * 10^6$ tep/ano ou a redução de 63,5% do combustível que consumimos hoje com o transporte terrestre de cargas e passageiros.

Devido à eficiência do veículo elétrico, precisaríamos gerar apenas mais 24.960,91 MW médios para cobrir a mesma distância em Km que todo o combustível líquido nos proporciona hoje. Isso significaria um aumento no consumo de energia elétrica existente de 41,18% para atender a todo o gasto com transporte terrestre de passageiros e cargas no país. O que nos daria uma redução de consumo energético da ordem de 27,5% do nível atual de demanda energética! Em reais, ao custo médio dos combustíveis vezes o valor do MWh seria uma economia anual de 217,48 bilhões de reais / ano!

No veículo elétrico, também se exige abastecimento (ou recarga), mas uma dúvida que imediatamente surge é se a rede de abastecimento pode ser a mesma rede elétrica de transmissão e distribuição já existente?

c) Impactos nas Redes de Transmissão de Distribuição de Energia Elétrica

A pergunta que naturalmente ocorre é se o aumento da demanda de energia elétrica necessária para a recarga de todos os veículos elétricos seria um impacto positivo ou negativo no sistema elétrico e se o sistema elétrico estaria preparado para absorver tamanho impacto?

Aumentar o consumo de energia elétrica em aproximadamente 41,18% da demanda atual para atender a demanda dos veículos elétricos não significa, obrigatoriamente, ampliar a rede de transmissão e de distribuição em 41,18% acima do planejamento já existente. Nem ao menos ampliar a rede de transmissão e distribuição em 30,8%, que é a diferença entre os 41,18% do acréscimo e os 10,38% do crescimento de demanda planejado para os próximos anos. Nesse

sentido, importante destacar que o consumo de energia elétrica obedece a determinados padrões culturais e geográficos que não se alteram em curto prazo.

A figura 9 ²² corresponde ao consumo médio de energia elétrica no Brasil em um determinado dia do ano. Pode-se observar que existe um período do dia, conhecido como horário de ponta, em que o consumo de energia elétrica é mais intenso, chegando à demanda quase atingir a capacidade total de disponibilização de energia elétrica do sistema.

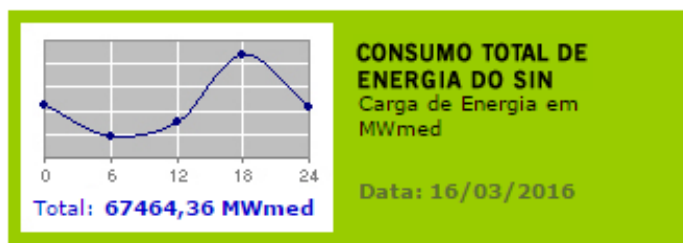


Figura 9. Consumo total de energia elétrica no SIN.

Contudo, na metade do dia, entre 24hs e 12hs, o consumo médio não chega a 42% da demanda total suportada pelo Sistema Integrado Nacional. Assim, existe espaço para a implantação do Veículo Elétrico sem a necessidade de alteração, muito significativa, da estrutura hoje já existente.

Além disso, existem ao menos quatro formas de recarga de energia elétrica nos veículos e, cada uma, possui um impacto diferente na rede de transmissão e de distribuição de Energia Elétrica. São elas: (i) Carregamento convencional ou não inteligente. Consistem em simplesmente ligar o carro à rede elétrica sem qualquer planejamento, deixando o veículo conectado até que a carga atinja seu estágio de carga completa. (ii) Carregamento horosazonal ou multitarifa. Consiste na aplicação de medidores inteligentes para que se possa impor tarifas diferenciadas para horários diferenciados, induzindo o consumidor a realizar a recarga de seu automóvel em horários fora de

²² Fonte: site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Acesso: março/2016.

ponta, assim considerados os horários que a demanda é normalmente baixa o suficiente para que o aumento do consumo com a recarga dos veículos elétricos não danifique as instalações elétricas. (iii) Recarga Inteligente. Dependem de investimentos nas chamadas *Smart Grid* (redes inteligentes). A própria rede elétrica gerencia a quantidade de usuários a ela conectados, liberando ou não a recarga dos veículos elétricos e selecionando o momento e a intensidade da recarga. (iv) *Smart Grid* com medidor inteligente e bidirecional. Possibilita além da recarga inteligente tratada no item anterior, que o veículo passe a atuar como se fosse um gerador de energia elétrica, permitindo que o veículo não só receba energia elétrica da rede, mas também possa injetar (ceder, vender) energia elétrica para a rede elétrica, nos momentos em que a rede elétrica mais precisa de geração, como nos horários de ponta tratados na figura 9.

Denisson Queiroz Oliveira, com apoio em DE NIGRIS e SORTOMME, assumindo que os veículos tenham capacidade de até 70 kWh e sejam capazes de despachar uma potência de 25 kW e recarregar com uma potência de 16 kW conclui em sentido semelhante ao nosso, que não haverá maiores impactos nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, desde que haja um controle ativo por parte do operador do sistema de distribuição, ou seja, desde que a recarga ocorra em horários fora de ponta e que haja a instalação de capacitores em determinados pontos da rede e sistemas imunológicos artificiais, estes que nada mais são do que a chamada rede inteligente (*“Smart Grid”*). Destaca o autor:

“Algumas possibilidades para aplicação de sistemas imunológicos artificiais são reconhecimento de padrões; aproximação e otimização de funções; detecção anômala; segurança de redes de computadores; aplicações que exijam geração de diversidade e tolerância a erros; robótica; controle adaptativo; abordagens com sistemas multi-agente.” (CASTRO, L. N. et. al., 2000).

No mesmo sentido, Victor Alberto Gracia OSORIO, que ao fazer simulações computacionais, observou que até uma penetração de 30% de veículos elétricos, o SIN atenderia a recarga das

baterias com a recarga convencional, mas acima disso, em um cenário não controlado (sem rede inteligente), o risco de violação dos limites de tensão e sobrecarga de alguns transformadores de baixa tensão seria grande.

No caso de violações, alega Chris Farmer que consequências serão: sobrecarga nos transformadores de média tensão em subestações e de distribuição; diminuição na vida útil dos transformadores, sobretudo devido às frequentes sobrecargas; violações térmicas que atingem a isolação do equipamento; formação de gases no óleo isolante; aumento das distorções harmônicas.

Importante destacar, como consta da figura 10, que enquanto a projeção da Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE²³, do crescimento da frota de veículos no Brasil é de 18 milhões de veículos em 10 anos, ou 3,7863% ao ano a projeção de crescimento do consumo de energia elétrica é de 3,9% ao ano e da demanda de energia elétrica de 3,7 ao ano²⁴, ou seja, são números próximos, que devem manter a paridade dos possíveis problemas já identificados.

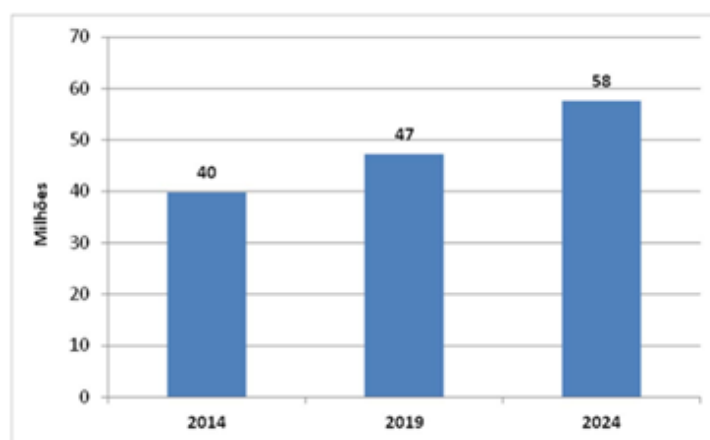


Figura 10. Projeção da evolução total da frota de veículos. Elaboração EPE.

²³ Conforme relatório Final PDE 2024 em:

<http://epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>, acesso mar/2016.

²⁴ Conforme relatório EPE em:

<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2003%20-%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202024.pdf>, acesso mar/2016.

Por outro lado, aponta Renato Baran²⁵, com quem concordamos, a penetração de 25% de veículos elétricos na frota traria uma demanda extra de energia elétrica da ordem de 14% (acreditamos em 10,3%), enquanto significaria uma redução de 25% no consumo de combustíveis líquidos para o transporte terrestre de pessoas e mercadorias.

Aqui, para fins desta monografia não iremos projetar o crescimento da geração de energia elétrica pelas chamadas alternativas (fonte eólica, solar, PCHs) ou mesmo por fontes hidrelétricas ou termonucleares, como deve ser o correto e como a EPE o faz. Se seguíssemos este caminho, a economia de combustíveis líquidos evitados seria imensamente maior do que a que estamos projetando. Haja vista que o realizado e a projeção de crescimento das chamadas fontes alternativas supera, em muito, a previsão das Termelétricas a óleo (cuja projeção é a redução absoluta de sua participação na matriz energética brasileira).

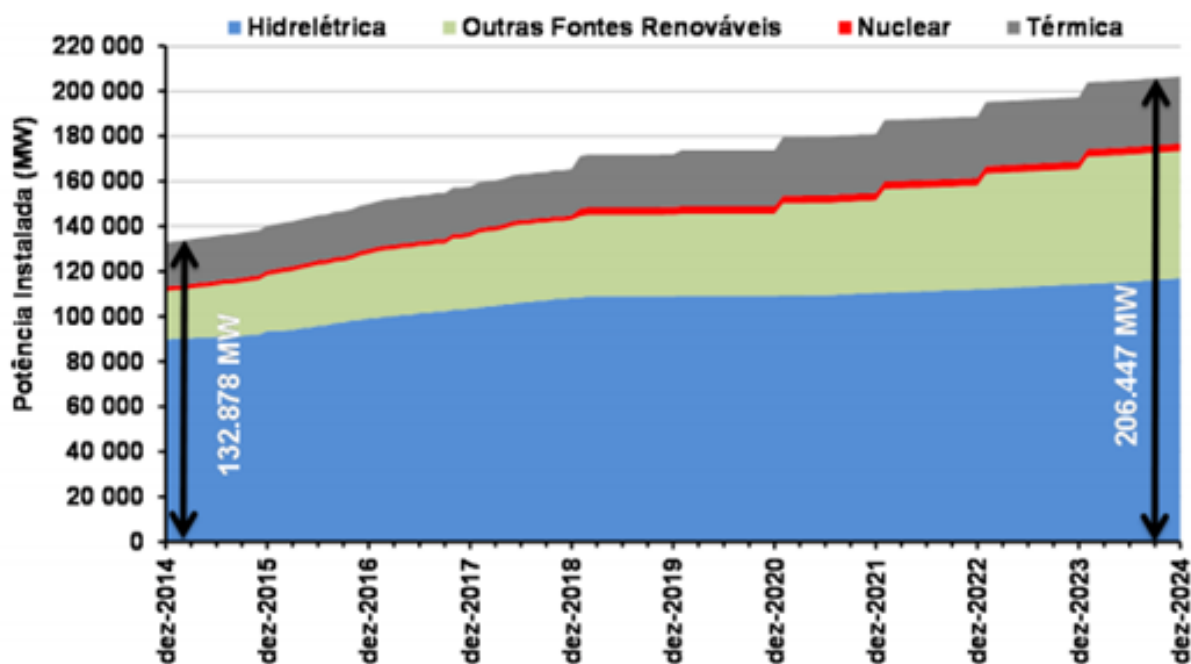


Figura 11. Projeção da evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica no SIN por fontes de geração. Elaboração EPE.

²⁵ Ob. Cit. P. 125.

A Figura 11, do Plano Decenal de Energia 2024²⁶, da EPE, retrata que a capacidade instalada do Brasil irá crescer de 133GW em dezembro de 2014 para 206 GW no final de 2023, com destaque para a grande ampliação de eólicas, solares, PCHs. Já as Hidrelétricas haverá ampliação em GW totais, mas reduzirá sua participação proporcionalmente em relação às demais fontes. Haverá a manutenção proporcional da participação das Nucleares e das Térmicas, sendo que aumentarão as Térmicas movidas a Gás Natural e diminuirá as movidas com Diesel e com óleo combustível.

Contudo, apenas para fins de estudo da substituição do combustível líquido pela energia elétrica, e apenas neste estudo do pior cenário, direcionamos neste estudo todo o potencial combustível líquido poupado nos motores de combustão interna para a queima em termoelétricas de ciclo combinado. Desta forma a comparação da economia de energia e de poluentes é realizada pelo pior cenário, sem aproveitamento de fatores exógenos à simples substituição da tecnologia dos veículos de motores de combustão interna pelos veículos elétricos.

d) Benefícios à Saúde e ao Meio Ambiente

Avaliação do impacto gerado ao meio ambiente. Hélder Alves de Almeida Júnior, em dissertação apresentada ao programa de mestrado do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais realizou esta avaliação cingida aos veículos. Adaptamos do estudo dele a tabela 4:

Tabela 4. Comparação do Impacto Ambiental de cada tecnologia de Veículo.

²⁶ EPE, site: [WWW.EPE.gov.br/Downloads/PDE 2024 RELATORIO FINAL.pdf.a0co0ci.partial](http://WWW.EPE.gov.br/Downloads/PDE%2024%20RELATORIO%20FINAL.pdf.a0co0ci.partial) Acesso: maio/2016.

Etapas do Ciclo de Vida	Veículo Elétrico		Veículo de Combustão Interna	
	Acionamento	Alimentação	Acionamento	Alimentação
	Processo		Processo	
Matéria Prima	Extração de Cobre e outros metais	Geração de Energia Elétrica	Extração de Ferro e outros materiais	Extração do Petróleo ou produção do Etanol
Fabricação	Fundição e Usinagem		Fundição e Usinagem	Destilação do Petróleo
Utilização	Manutenção, lubrificação e troca de componentes	Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica	Manutenção, lubrificação e troca de componentes	Distribuição dos Combustíveis e geração dos produtos de combustão
Disposição Final	Reciclagem de matéria prima (cobre e outros)	Reciclagem da bateria	Reciclagem da matéria prima (ferro e outros metais)	Reciclagem de materiais do tanque de combustível.

Fácil notar que a principal diferença na comparação entre as diferentes tecnologias dos veículos consiste no sistema de alimentação deles.

Diz Hélder Alves de Almeida Júnior:

“A medida que o combustível é consumido durante a vida do veículo, o seu impacto sobre o ciclo de vida requer uma análise detalhada de todas as etapas do processo de produção, distribuição até as estações de abastecimento, o armazenamento no veículo e a sua utilização onde finalmente vai ser transformado em energia mecânica ou de movimento do veículo. ”

E aponta o autor que os resultados obtidos com o método proposto [AECV - Strategic Life Cycle Assessment] para o veículo elétrico indicam a emissão de CO₂ atmosférico como o maior impacto ambiental causado pelo veículo elétrico, com um número de prioridade de risco 81. Já os resultados obtidos pela AECV para o veículo de combustão interna indicam também como maior impacto

ambiental a emissão de CO₂ atmosférico, mas com o número de prioridade 900! Confira as tabelas 5 e 6:

Tabela 5. Impacto do Veículo Elétrico.

Etapas da ACV	VE - Sistema de Alimentação Combustível (eletricidade) PROCESSOS	Impacto Ambiental								
		Categoria do Impacto	Unidade	Massa Relativa	Fatores de Peso		IG	IO	ID	RPN
					Não Renováveis	Renováveis				
Matéria Prima		(sem impactos)								
Fabricação	Geração de hidreletricidade	Emissão atmosféricas								
		CO2	kg	1,56E+00	10	5	9	1	9	81
		Resíduos líquidos								
		Alcatrão	kg	1,39E-02	10	5	6	1	7	42
		Consumo de recursos naturais								
		água	kg		10	5	5	1	7	35
		Basalto	kg		10	5	6	1	5	30
		Resíduos sólidos								
	Resíduo inorgânico	kg	3,02E-01	10	5	6	1	5	30	
Utilização	Distribuição e Transmissão da energia elétrica e fabricação e uso da bateria	Emissão atmosféricas - Distribuição								
		Sox	kg	2844	10	5	10	1	3	30
		CO2	kg	0,120654	10	5	10	1	3	30
		CO	kg	0,000063	10	5	9	1	3	27
		NO2	kg	0,000221	10	5	9	1	3	27
		Poeira	kg	0,000178874	10	5	9	1	3	27
		Poeira (SPM)	kg	0,000167	10	5	9	1	3	27
		(dados insuficientes para processamento dos impactos)								
Disposição Final	Reciclagem de bateria	(dados insuficientes para processamento dos impactos)								

Tabela 6. Impacto do Veículo com Motor de Combustão Interna.

Etapas da ACV	VCI - Sistema de Alimentação Combustível (gasolina) PROCESSOS	Impacto Ambiental								
		Categoria do Impacto	Unidade	Massa por volume Relativo	Fatores de Peso					
					Não Renováveis	Renováveis	IG	IO	ID	RPN
Matéria	Extração do petróleo	(dados insuficientes para processamento dos impactos)								
	Destilação do petróleo	Emissão atmosféricas								
		N2O	kg/bbl	4,08	10	5	9	1	9	81
		CO2	kg/bbl	161,97	10	5	9	1	9	81
		CO	kg/bbl	0,3	10	5	8	1	9	72
		MP2.5	kg/bbl	0,45	10	5	7	1	9	63
		SO2	kg/bbl	4,08	10	5	5	1	9	45
		THC	kg/bbl	4,08	10	5	5	1	9	45
		NOX	kg/bbl	0,19	10	5	4	1	9	36
Utilização	Distribuição do Combustível e geração de produtos de combustão	Emissão atmosféricas								
		CO2	kg/Km	0,2	10	5	10	10	9	900
Disposição Final	Reciclagem de metais do tanque de combustível, tubulação dentre outros	(sem impactos significativos)								

Conclui Hélder Alves de Almeida Júnior sua monografia dizendo que:

“comparando o veículo elétrico e o veículo de combustão interna em todo o percurso do ciclo de vida permite concluir que o VCI apresenta impactos globais muito mais significativos que o VE, e estes impactos se concentram na etapa de utilização do veículo, na geração de CO₂. Por outro lado, o veículo elétrico apresentou impactos bem menores, mas deve ser ressaltado que o sistema de geração de energia elétrica considerado é hidroelétrico, predominante do Brasil. Para outras matrizes energéticas é necessário aplicar novamente a ferramenta AECV para verificar o impacto real na geração da energia elétrica.”

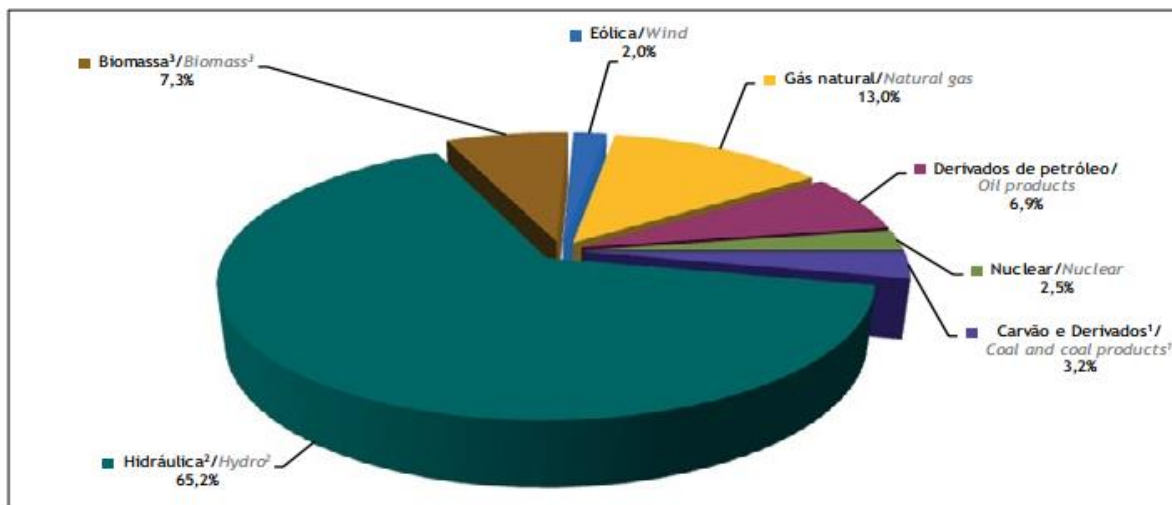
Note-se que Hélder Alves de Almeida Júnior considera que a vantagem apontada para o veículo elétrico, mais de dez vezes menos poluente do que o veículo de combustão interna, só é válida para o Brasil que tem uma matriz de produção de energia elétrica considerada limpa. No mesmo sentido aponta Mariana Maia de Miranda, para quem o fator de emissão estimado para a atual matriz brasileira de produção de energia elétrica é de 125gCO₂eq/kWh para as usinas hidrelétricas, enquanto que para as termelétricas a óleo combustível de ciclo simples o fator de emissão é de 828,96gCO₂eq/kWh e para as usinas de ciclo combinado 518,11gCO₂/kWh.²⁷

Nesse sentido, importante esclarecer que enquanto o Brasil efetivamente produz 65,2% de sua energia elétrica por fontes hidroelétricas, o E.U.A tem em sua matriz 48% a sua energia elétrica produzida pela queima de carvão e outros 5% por meio de termelétricas à gás natural e óleo combustível.

Na Figura 12 vê-se o Consumo Interno de Energia Elétrica por Fonte no Brasil, segundo o BEM 2015²⁸:

²⁷ Páginas 9, 90, 92 e 101 de sua dissertação.

²⁸ Balanço Energético Nacional em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf Elaboração EPE. Acesso abril/2016.



Notas/ Notes:

¹ Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

² Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Figura 12. Consumo Interno de Energia Elétrica por Fonte no Brasil. Elaboração EPE.

Na Figura 13 pode-se notar a Demanda Interna de Energia Elétrica por fonte nos E.U.A., segundo a EIA²⁹:

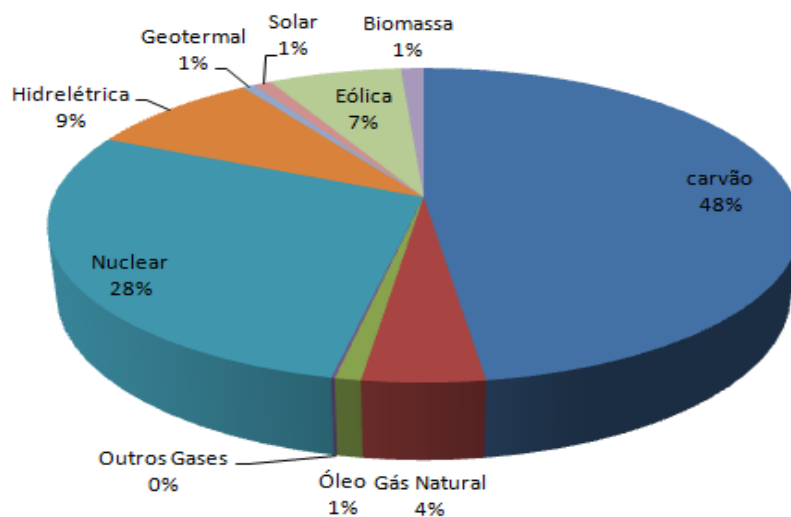


Figura 13. Demanda Interna de Energia Elétrica por Fonte nos E.U.A Elaboração Própria com base nos dados do IEA.

²⁹ Em: http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec7_6.pdf Acesso: abril/2016.

Assim, nos dizeres de Toshizaemom Noce, a emissão ao menos do dióxido do carbono sofre grande alteração a depender da fonte de produção de energia elétrica. Confira a Figura 14, por ele elaborada:

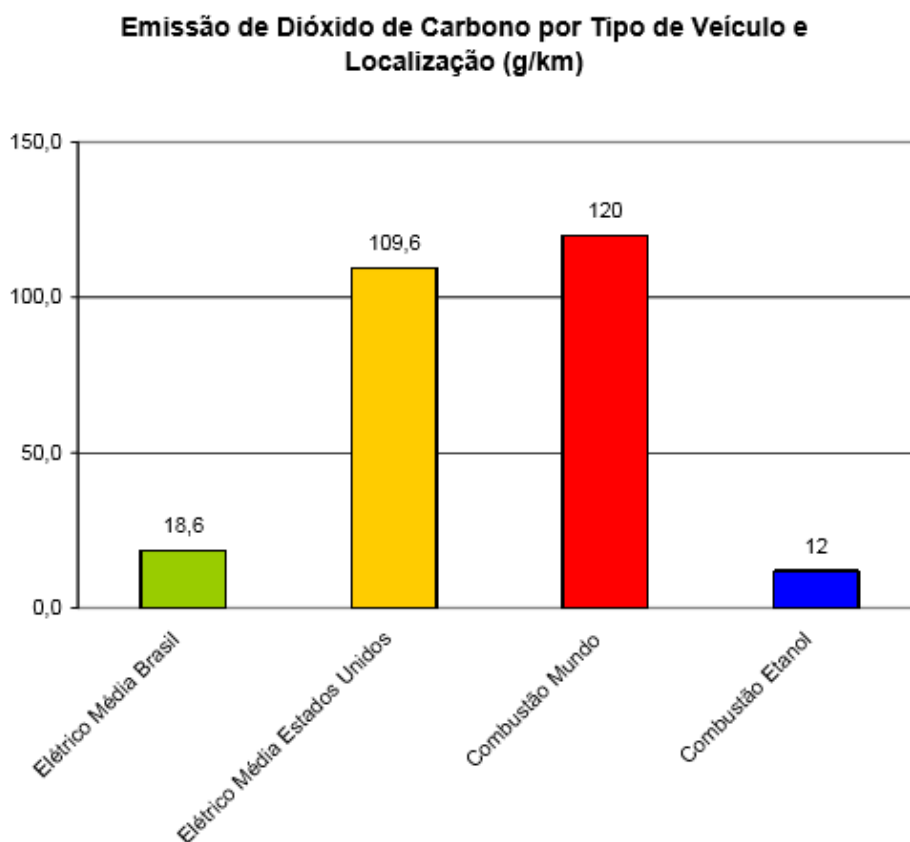
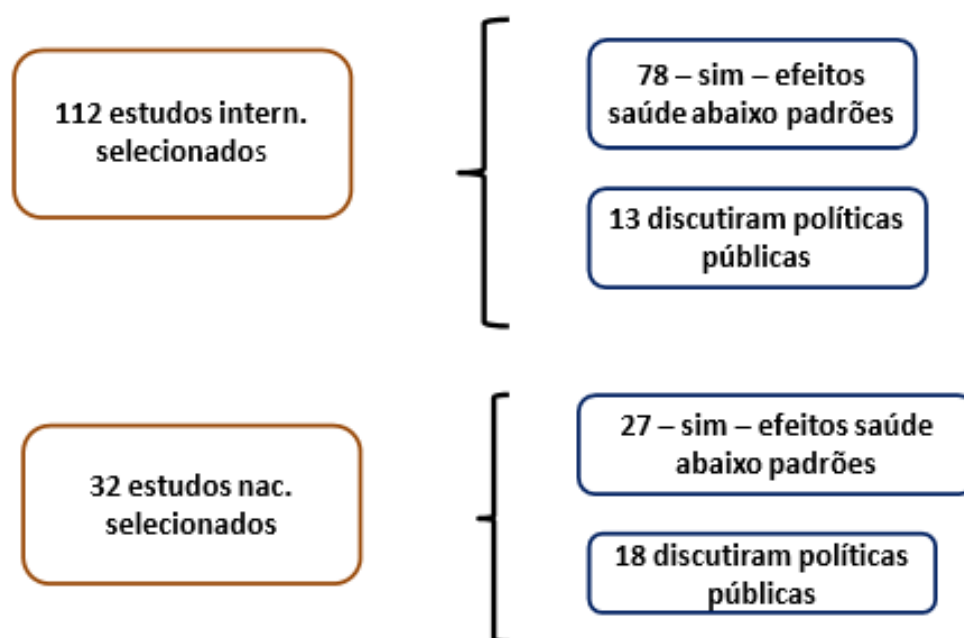


Figura 14. Emissão de dióxido de carbono em relação à fonte de produção de energia elétrica.

Contudo, mesmo que para cada país, a depender de sua matriz de geração elétrica, tenha que se recalcularem esses valores, uma máxima é imutável, o veículo elétrico será sempre menos poluente do que o de combustão interna com combustíveis fósseis porque, mesmo que a totalidade da energia elétrica excedente para o suprimento aos veículos elétricos seja produzida, exclusivamente, por produtos de origem fóssil, como visto nos capítulos anteriores, o aproveitamento energético da conversão de derivados de petróleo em movimento é, ao menos, 150% mais eficaz se considerarmos a queima do combustível fóssil em modernas termelétricas de ciclo combinado em comparação a sua queima diretamente em motores de combustão interna.

Embora seja muito difícil calcular a participação da poluição no aumento de mortes causadas por outros tipos de doença, como as cardiovasculares, um estudo de Fletcher Gouveia demonstrou que este aumento é de 4% entre os Idosos. Neide Regina Simões Olmo analisando 32 estudos brasileiros e 112 estudos internacionais determinou que 27 dos estudos brasileiros comprovam a associação da poluição atmosférica a doenças respiratórias mesmo com a poluição abaixo dos padrões legais, sendo que 7 dos estudos ligaram a poluição atmosférica a doenças cardiovasculares também. Nos estudos internacionais foram 78 que demonstraram essa ligação.

Tabela 7. Estudos Médicos. Elaborada por Olmo, Neide Regina Simões.



Além de problemas cardiovasculares e respiratórios, Karla Ribeiro de Castro e Andréa Paula Peneluppi de Medeiros relatam que estudos na Europa, China, E.U.A. e Brasil ligam a poluição atmosférica a problemas de mortalidade neonatal, baixo peso dos nascituros, partos prematuros, alterações da capacidade reprodutiva.

e) Perspectivas nos Impostos e nas Rendas e Efeitos Macroeconômicos

Como visto no item 3.1 “a” acima, estamos falando de um setor da economia que fatura só com combustíveis para veículos flex e Diesel valores da ordem de R\$ 342,5 bilhões de reais, dos quais 37% são tributos R\$ 126.725.777.000,00. Se estivermos concluindo que haverá uma redução com economia de 217,48 bilhões de reais / ano, estaremos falando que o resultado tributo cairá para R\$ 46,25 bilhões. Em outras palavras, que o Estado estará abrindo mão, a princípio, de R\$ 80,48 bilhões em impostos com a implantação dos veículos elétricos! Além disso, devemos considerar que se trata de um setor que tem, só na rede de distribuição de combustíveis líquidos, 90.000 estabelecimentos e que só a Petrobrás chegou a empregar, direta e indiretamente, 300 mil empregados!

Açodadamente, poder-se-ia concluir, analisando apenas pelo lado da arrecadação de tributos, não haver motivo para que o Estado queira incentivar o desenvolvimento do veículo elétrico. Contudo, analisando o impacto em termos macroeconômicos, não teríamos apenas a injeção de mais R\$ 217,48 bilhões na economia, como também, um gasto bem mais eficiente desses valores, visto que ficariam diretamente na mão da população (particulares) e não na mão do governo! Além disso, esses valores sofreriam o efeito multiplicador de Keynes (PMgC) e uma vez gastos em bens e serviços, gerariam mais tributos, diminuindo ou anulando as perdas tributárias iniciais do Estado. Assim, cessaríamos com a nossa dependência de importação de combustíveis e com o gargalo das refinarias, além de melhorar nossa balança comercial e os níveis de poluição.

Claudia do Nascimento Martins destaca ainda que a indústria automobilística provocou inovações tecnológicas incrementais à própria criação do automóvel, como por exemplo, inovações organizacionais: como o modelo *taylorista-fordista* e o modelo *just-in time* da Toyota, paradigma não apenas para o setor automotivo, como também para a indústria mundial. Além dos efeitos macroeconômicos decorrentes da redistribuição de valores com a economia a ser gerada com a nova tecnologia, há ainda, a possibilidade de a tecnologia do veículo elétrico e, principalmente, das baterias de longa duração e potência, abrirem oportunidade para novos processos e novas formas de organização da produção.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

4.1 – Conclusões

Como se pode observar, a tecnologia do veículo elétrico é contemporânea à do veículo com motor de combustão interna. Contudo, em decorrência de fatores limitativos da autonomia do veículo elétrico, como: falta de rede de distribuição de energia elétrica; inexistência de baterias de alta capacidade; introdução do modelo T da Ford, que baseado em um novo método de produção baixou sensivelmente o custo de produção do carro com motor de combustão interna; e o próprio monopólio do combustível líquido, que também, com a verticalização das atividades, baixou sensivelmente o custo do combustível líquido, a tecnologia do veículo com motor de combustão interna acabou por se firmar como dominante e o veículo elétrico deixou de ser um competidor.

Só com a comprovação científica dos malefícios da poluição provocada pela queima de combustíveis fósseis, agravada pela crise do petróleo e com o desenvolvimento de novas tecnologias de baterias advindas da tecnologia aeroespacial e, por fim, com a ajuda dos Governos por intermédio de subsídios e políticas indicativas, que foi possível renascer o desenvolvimento e a produção do veículo elétrico.

A comparação da eficiência de aproveitamento energético do veículo elétrico comprova que ele é efetivamente superior ao do veículo de combustão interna. Enquanto para cada quilo de combustível utilizado no motor de combustão interna, se tem um aproveitamento líquido de trabalho (na roda do automóvel) da ordem de 20% do valor de energia, a mesma quantidade de combustível tem um aproveitamento líquido de trabalho de 50% no eixo do gerador de energia elétrica de uma termoelétrica de ciclo combinado. Essa eficiência de 150% a mais na termelétrica de ciclo combinado transfere-se para o veículo elétrico como ganho de eficiência desta tecnologia em comparação com o veículo de combustão interna, e isso com a utilização do mesmo combustível de origem fóssil.

É claro que para que a energia elétrica seja disponibilizada ao veículo elétrico, ela precisa ser transmitida e distribuída pelas redes de transmissão e de distribuição. No Brasil e essa transmissão e distribuição implicam também perdas, que são divididas em perdas técnicas e comerciais. Vimos, contudo, que essas perdas totalizam 24%, com um efeito econômico imediato de 20%, o que dá ao veículo elétrico uma eficiência mínima de 74% de aproveitamento energético (computado os 2% de ineficiência interna do veículo elétrico).

Em termos monetários, vimos que isso significa um ganho de eficiência que economiza 27,5% do nível total atual de demanda energética. Em reais, ao custo médio dos combustíveis vezes o valor do MWh seria uma economia anual de 217,48 bilhões de reais / ano que ficará nas mãos dos consumidores, irrigando a economia.

Além disso, podemos comprovar que a queima de combustíveis em um ambiente controlado como uma termelétrica de Ciclo Combinado é 37,49% menos poluente do que a queima deste mesmo combustível em Usinas de Ciclo Simples ou 51,22% menos poluente do que diretamente no Ciclo Otto dos automóveis com motores de combustão interna movidos à gasolina, reduzindo drasticamente a produção de gases do chamado efeito estufa, mesmo sem considerar a atual matriz de produção de energia elétrica do Brasil. Se considerássemos a matriz Brasileira, a redução de poluição seria de 88,23%.

E, muito embora não se possa dimensionar de imediato o montante de recursos financeiros que adviriam com a redução dos gastos em saúde pública decorrentes, diretamente, da redução da poluição, há estudos que indicam que as mortes de Idosos reduziriam por volta de 4%.

4.2 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Na presente monografia não se teve por objetivo aprofundar os estudos a respeito do ganho financeiro advindo do ganho da redução de poluição, mas certamente isso é um desafio que deve ser vencido por uma tese ou dissertação.

De semelhante forma, vale a pena aprofundar os impactos econômicos que o montante de recursos salvos, com o volume de combustíveis cuja queima sem proveito econômico foi evitada, trará para a economia do país e expandi-la a nível global.

Capítulo 5 – Bibliografia

ALMEIDA Jr., Hélder. A. A. **Análise Comparativa de Veículos Elétricos e Veículos com Motor de Combustão Interna**. 2014. 115 p. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Belo Horizonte. 2014.

ALMEIDA, Silvio Carlos de e Felipe Lourenso Angelim Vieira. **Simulação de Veículos de Alto Desempenho**. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Engenharia Mecânica. 2015.

BALSA, J. M. R. **Avaliação do Impacto da Introdução de Veículos Elétricos na Procura de Combustíveis em Portugal**. 2013. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Coimbra. 2013.

BARAN, Renato. A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. 2012.

BEZERRA, C. A. **Desempenho Ambiental de Combustíveis em Veículos Automotores**. 2004. 33p. Dissertação – Programa de Especialização em Gestão Ambiental, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

BORELLI, Samuel José Sarraf. Método para análise da composição do custo da eletricidade gerada por usinas termelétricas em ciclo combinado a gás natural. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. São Paulo. 2005.

CASTRO, Daniel E. **Reciclagem & Sustentabilidade na Indústria Automobilística**. 1º Ed. Belo Horizonte. 2012.

CASTRO, Karla Ribeiro de. **Efeitos da exposição crônica à poluição urbana sobre a receptividade uterina: estudo morfofuncional do remodelamento celular do endométrio e expressão de fatores envolvidos na preparação para a implantação embrionária**. Dissertação. Universidade de São Paulo – Faculdade de Medicina. 2010.

CASTRO, L. N. DE; VON ZUBEN, F. J.; “**Artificial Immune Systems: Part I – Basic Theory and Applications**”. Technical Report, DCA-RT 01/99, UNICAMP, Brasil, 1999.

CHU, Cristila Lau. “**Batalha Tecnológica do Veículo Elétrico: Uma Análise da Corrida Automobilística da GM Pelo Projeto Dominante**”. Dissertação. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. São Paulo. 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Relatório anual da qualidade do ar do Estado de São Paulo 2014**. Ano base 2013. São Paulo, in <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/> acesso jan/2016.

ÇENGEL, Yunus A., BOLES, Michael A.; “**Termodinâmica**”. 7ª Edição Mc Graw Hill. AMGH Editora Ltda., Porto Alegre. 2013.

DE NIGRIS, M.; GIANINONI, I.; GRILLO, S.; MASSUCCO, S.; SILVESTRO, F.; “**Impact Evaluation of Plug-in Electric Vehicles (PEV) on Electric Distribution Networks**”, In: 2010 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP, pp. 1-6, Bergamo, Itália, 2010.

FARMER, C.; HINES, P.; DOWDS, J.; BLUMSACK, S.; “**Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure**”, In: Proc. Of 43rd Hawaii International Conference on System Sciences 2010, pp. 1-10, Hawaii, EUA, 2010.

FORAY, Dominique. “**The dynamic implications of increasing returns: technological change and path-dependence inefficiency**”. In International Journal of Industrial Organization, Vol. 15, 1997, p. 733-52.

GOMES, L. M. M. **O Veículo Elétrico e a sua integração no Sistema Elétrico**. 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

GOUVEIA, N. C. Fletcher. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. Occup Environ Med. 57(1):477-83. 2003.

JUNIOR, O. M. A; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P.S. **Emissões atmosféricas**. Brasília:SENAI/DN, 2002. 373p

KESSELS J., KOOT M., BOSCH, P. **Online Energy Management for Hybrid Electric Vehicles**. IEEE, vol 57. Pp 3428-3440, 2008.

LAZZARI, Márcio Alessandro de. **Avaliação Ambiental de um Veículo Elétrico Coletor de Resíduos Sólidos Urbanos Recicláveis**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Engenharia Mecânica e de Materiais. Dissertação. Curitiba. 2010.

LIMA, Nuno Miguel Duarte. **Comparação de Estratégias de Carregamento de Veículos Elétricos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Dissertação. Porto. 2012.

MARTINS, Claudia do Nascimento. “**Condicionantes da difusão do carro elétrico no Brasil: análise dos fatores institucionais, econômicos e técnicos**.” Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. Rio de Janeiro. 2015.

MEDEIROS, Andréa Peneluppi de. **Poluição do ar e mortalidade na Região Sul do Município de São Paulo: um estudo caso-controle com dados georeferenciados**. Tese. Universidade de São Paulo – Faculdade de medicina. 2008.

MENDES, Francisco Eduardo. **Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

MIRANDA, Mariana Maia de. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. Dissertação. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Ciências da Engenharia Ambiental. São Carlos. 2012.

MORAN, Michel J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Deisie D.; BAILEY, Margaret B. “Princípios de termodinâmica para engenharia”. 7ª edição. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro. 2013.

N. Künzli, S. Medina, R. Kaiser, P. Quénel, F. Horak, Jr., and M. Studnicka. **Assessment of Deaths Attributable to Air Pollution: Should We Use Risk Estimates based on Time Series or on Cohort Studies?** American Journal of Epidemiology. U.S.A., in <https://aje.oxfordjournals.org/content/153/11/1050.full.pdf> acesso fev/2016.

NOCE, Toshizaemom. Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Aperfeiçoamento. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Engenharia Mecânica. Belo Horizonte. 2009.

OLIVEIRA, Denisson Queiroz. **Otimização da recarga de Veículos Elétricos e Híbridos Recarregáveis em Sistema de Distribuição**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Elétrica da Universidade de Itajubá – MG - 2012.

OLMO, Neide Regina Simões. **Poluição atmosférica e exposição: a evolução científica epidemiológica e sua correlação com o ordenamento jurídico**. Tese. Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. São Paulo. 2010.

OSORIO, Victor Alberto Gracia. **Carregamento Ótimo de Veículos Elétricos Considerando as Restrições das Redes de Distribuição de Média Tensão**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Elétrica da UNESP – Ilha Solteira – SP – 2013.

PRIMO JÚNIOR, Arlindo Ricarte. **Regulação da Demanda de Energia em Um Sistema de propulsão para Um Veículo Elétrico Híbrido Série**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – RN – 2002.

ROVERE, E. L. et al. **Avaliação do PROCONVE programa de controle da poluição do ar por veículos automotores**. Rio de Janeiro: BR, MMA/UFRJ/FEEMA, 2001.

SÁNCHEZ, F Z. **Eficiência Energética de Veículos Elétricos Híbridos em Série**. 2012. 147p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

SORTOMME, E.; HINDI, M. M.; MACPHERSON, S. D. J.; VENKATA, S. S.; **“Coordinated Charging of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Minimize Distribution System Losses”**, IEEE Transactions on Smart Grid, V.2, No.1, pp.198-205, março 2011.

VAN WYLEN, G. Sonntag, R., Borgnakke, C. **“Fundamentos da Termodinâmica Clássica”**, tradução da 4a Ed Americana. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo – 1995.

VILLANNUEVA, L. Z. D. **Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro**. 2002. 166p. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

WESTBROOK, M. H. The electric car: **Development and Future of Battery, Hybrid and Fuel-Cell Cars**. Canada: The Institution of Electrical Engineers, 2001.