

1

Introdução

Ao longo dos últimos anos, o crescimento da indústria de fabricação e desenvolvimentos de veículos ocorreu de maneira exponencial, não só na área automotiva, também na área naval, aeronáutica e nas indústrias de extração e produção de bens e serviços. Com o passar dos anos hoje existem dois sérios problemas que põem em risco o crescimento e desenvolvimento sustentável da humanidade.

Os problemas mencionados acima são: a contaminação ambiental e a escassez dos recursos energéticos. Como consequência destes graves problemas, o homem encontra-se na procura de novas soluções que permitam e garantam a utilização mais eficiente dos recursos energéticos, a continuidade do crescimento e que os novos processos produtivos tenham um menor impacto poluente no meio ambiente.

Atualmente, no Brasil, como se mostra no Relatório do Ministério de Minas e Energia [1], o transporte (Ferroviário, Rodoviário, Marítimo e Aéreo) consome 53,61% do total de produtos derivados de petróleo, o que corresponde a 28,3% do total de energia consumida no Brasil.

Para melhor entendimento do desenvolvimento na área automotiva, pode-se fazer uma revisão do índice de crescimento da quantidade de veículos nas estradas. Em 1950, havia 70 milhões de veículos pequenos, ônibus e caminhões circulando em todo o mundo. Em março de 2008 já circulavam um bilhão de veículos no mundo.

Então é fácil de imaginar que durante todos estes anos houve um crescimento considerável na quantidade de poluentes causados pelo setor automotivo. Os veículos convencionais, com combustíveis derivados do petróleo, são responsáveis por um alto percentual das emissões de poluentes. Alexandre Pereira [2] na sua dissertação menciona que nos Estados Unidos pode-se observar que os veículos convencionais são responsáveis por o 77% das emissões de monóxido de carbono (CO), 56% das emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), 47% das emissões de hidrocarbonetos e de 28% das emissões de material particulado.

Hoje, graças aos avanços tecnológicos e às inovações nos processos

produtivos, as indústrias estão fazendo uso de sistemas elétricos e híbridos em muitas aplicações com o objetivo de ter um maior aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis e diminuir significativamente as emissões de poluentes ao meio ambiente.

Na área veicular existe muito interesse no desenvolvimento de veículos que utilizem de maneira eficiente o recurso energético e além disso sejam menos poluentes. Mehrdad Ehsani[3] menciona que nestes últimos anos o desenvolvimento de veículos elétricos (VE), veículos elétricos híbridos (VEH) e veículos elétricos híbridos ligados na tomada (Plug-In, PHEV) teve um crescimento considerável, devido às preocupações com o meio ambiente e a utilização eficiente da energia. Durante as últimas décadas, realizaram-se por todo o mundo alguns programas de investigação e projetos de demonstração com o objetivo de avaliar os VE e os VEH, com a finalidade de poder introduzir este tipo de tecnologia num mercado onde impera os veículos convencionais (VC).

Com frequência o combustível fóssil é o portador de energia num VC com motor a combustão interna. Lino Guzella[4] afirma que nos sistemas de propulsão elétrico e híbrido têm-se a presença de um sistema eletrostático ou eletroquímico de armazenamento de energia e um motor-gerador elétrico, que é o responsável pela propulsão total ou parcial do veículo.

Willard W. Pulkrabek [5] menciona que os motores de combustão interna têm uma eficiência normalmente de 30%, mas conhece-se mediante estudos que os motores de combustão interna têm uma eficiência máxima de 35% e isto acontece quando se trabalha a uma determinada RPM. Para um percurso qualquer onde a velocidade é variável, o motor do veículo trabalha a diferentes RPM, o que ocasiona que se tenha uma menor eficiência energética em relação à eficiência máxima que se poderia esperar do sistema se o motor a combustão interna deste trabalhasse à RPM de máxima eficiência.

Wanderlei Marinho[6] no seu curso de Veículos Elétricos e Híbridos, confirma a utilização de um motor a combustão interna dentro do sistema de propulsão de um veículo elétrico híbrido (VEH). Dependendo da configuração do sistema de propulsão, este pode cumprir a função de gerar energia e ajudar na propulsão do veículo, ou só a de gerar energia elétrica a uma RPM de máxima eficiência.

Quando a função do motor a combustão interna é a de gerar energia elétrica conjuntamente ao gerador, ele trabalha à RPM de máxima eficiência. Quando a função do motor é a de ajudar na propulsão do veículo, ele trabalha a uma RPM variável, mas isto acontece só quando o motorista deseja ultrapassar outro veículo ou também em subida de um plano inclinado. Em outras

condições quem é responsável pela propulsão do veículo é o motor elétrico. Então a combinação de um sistema térmico à máxima eficiência com um sistema elétrico permite ter uma alta eficiência no uso do recurso energético.

A autonomia de um VE, está condicionada pela quantidade de energia armazenada nas baterias. Dan Lauder[7], na sua apresentação de Veículos Híbridos no Massachusetts Institute of Technology, afirma que se for necessária uma maior autonomia o veículo elétrico terá que levar uma maior quantidade de baterias, lembrando que 135 MJ de energia são equivalentes a um galão de combustível que pesa aproximadamente 2,7 kg, então se um usuário precisasse desta quantidade de energia armazenada nas baterias, teríamos que ter um arranjo considerável de baterias de Ion-Lítio com um peso aproximado de 310 kg.

O sistema de propulsão puramente elétrico tem aquela desvantagem, mas com o transcorrer dos anos os cientistas estão descobrindo novas formas de armazenamento e geração de energia tais como as células de hidrogênio, que atualmente ainda não são comerciais devido ao alto custo, mas no futuro espera-se que sejam a nova forma de geração de energia elétrica para os VE.

Quando se fala sobre os VEs e VEHs, a vantagem mais óbvia está na quantidade de emissões provenientes diretamente do próprio veículo. Dependendo da forma de produção de eletricidade no país, as emissões atmosféricas resultantes da produção da eletricidade utilizada pelo veículo elétrico poderão ser maiores ou menores em diferentes países ou regiões. No caso do Brasil, a maior quantidade de energia elétrica gerada é mediante centrais hidrelétricas, mas em outras regiões, gera-se energia elétrica mediante a utilização de outras fontes.

1.1

Objetivo

Este trabalho é parte inicial do projeto de desenvolvimento de um Veículo Híbrido Elétrico financiado pelo Instituto Tecnológico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (ITUC - PUC-Rio) e desenvolvido de forma total no Laboratório de Engenharia Veicular da PUC-Rio (LEV).

Neste trabalho foram determinados o consumo energético de um veículo convencional e o consumo energético do mesmo veículo com sistema de propulsão elétrico híbrido, para diferentes tipos de percurso, seja mediante um ciclo urbano ou ciclo de estrada. A determinação de consumo energético do sistema convencional foi feito mediante um estudo experimental num dinamômetro de chassi, e a determinação do consumo energético do sistema elétrico híbrido foi feito mediante uma simulação numérica com base nos dados

fornecidos do estudo experimental e dados estimados dentro do projeto de conversão.

Com o estudo do consumo energético do veículo com sistema de propulsão térmica e com sistema de propulsão elétrica, realizou-se a comparação do consumo energético, desse modo pode-se determinar a eficiência da utilização do recurso. Finalmente, apresenta-se um modelo de arquitetura do sistema de propulsão elétrico que permite ter uma eficiência mais alta em comparação à eficiência que existe quando utiliza-se um veículo convencional.

1.2

Poluição Atmosférica

O setor dos transportes é um dos setores que mais contribuem com as emissões de dióxido de carbono (CO_2) e gases NO_X acidificantes a nível mundial. Um país que pretende reduzir as emissões de dióxido de carbono deve também analisar o padrão energético dos VE e VEH, no seu todo, e a comparação entre os VE e os VEH com os VC, para saber se o conceito é ou não é bom. As eventuais melhorias da qualidade do ar nas cidades não são um critério suficiente.

Na Alemanha e outros países com um padrão semelhante de produção de eletricidade não se têm grandes vantagens na conversão das suas frotas em frotas de VE ou VEH já que sua eletricidade é em grande medida produzida com carvão, que produz emissões significativas de dióxido de carbono. Mas quando se faz aquele estudo num país que gera eletricidade mediante a energia hídrica nota-se que no Brasil se têm vantagens, já que conta com a produção de energia elétrica mediante a utilização da energia hídrica.

1.2.1

Fatores de Emissão

Um veículo automotor emite gases e partículas pelo tubo de escapamento (emissões de exaustão), vapores através do sistema de alimentação, gases e vapores pelo respiro, juntas e conexões (emissões evaporativas) e partículas originadas do desgaste de pneus e freios. O Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa feito pelo Ministério de Ciência e Tecnologia[8] em 2009, quantifica dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_X), óxido nitroso (N_2O) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC).

Normalmente o estudo compreende o campo energético onde são estimadas todas as emissões antrópicas devidas à produção, à transformação e ao consumo de energia. Inclui as emissões resultantes da queima de combustíveis e

também as emissões resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo de energia.

1.2.2

Sumário das Emissões por Tipo de Gás

A seguir apresentam-se as diferentes emissões por setor dos dois principais gases que contribuem no efeito estufa. Em cada tabela observa-se a contribuição na emissão de gases de efeito estufa decorrente de cada setor produtivo no país. É importante destacar estes dois gases, que são muito conhecidos no mundo, e visualizar como cada fonte industrial contribui de forma significativa para a produção destes.

Tabela 1.1: Emissões e Remoções de CO₂ no Brasil

Setor	1990	1994	2000	2005	Δ 90/05
	(Gg)				(%)
Energia	203.217	245.672	316.451	346.990	70,7
Queima de CH _x	195.766	238.097	305.889	333.077	70,1
Setor Energético	22.176	30.643	40.861	48.454	118,5
Setor Industrial	64.903	81.913	105.466	114.620	76,,6
Ind. Siderúrgica	26.441	38.253	40.618	46.418	75,6
Ind. Química	8.610	9.099	14.056	14.746	71,3
Outras Ind.	29.853	34.560	50.792	53.456	79,1
Setor Transporte	82.235	94.256	124.197	136.155	65,6
Trans. Aéreo	5.824	6.210	9.424	7.689	32,0
Trans. Rodoviário	71.339	83.224	110.604	123.175	72,7
Outros Meios	5.072	4.821	4.169	5.291	4,3
Setor Residencial	13.817	15.212	17.015	15.429	11,7
Setor Agricultura	10.052	12.527	14.051	14.808	47,3
Outros Setores	2.584	3.546	4.300	3.611	39,7
Emissões Fugitivas	7.451	7.575	10.562	13.913	86,7
Mineração e Carvão	1.654	1.355	1.581	1.792	8,3
Extração de CH _x	5.797	6.220	8.981	12.121	109,1
Proc. Indústrias	19.456	19.038	26.235	25.438	30,7
Prod. de Cimento	11.062	10.086	16.047	14.349	29,7
Prod. de Cal	3.688	4.098	5.008	5.356	45,2
Prod. de Amônia	1.683	1.689	1.663	1.922	14,2
Prod. de Alumínio	1.184	1.502	1.604	1.846	55,9
Outras	1.840	1.663	1.913	1.966	6,8
Mudança na Terra	709.073	747.785	1.183.081	1.202.134	69,5
TOTAL	931.746	1.012.496	1.525.767	1.574.562	69,0

Copia da Tabela 2.1.1 Emissões e remoções de CO₂.

Fonte: Ministério de Ciência e Tecnologia[8].

Na Tabela 1.1, pode-se observar que o subsetor transporte teve um crescimento na quantidade de emissões de CO₂ de quase 66% em 15 anos, enquanto para o ano 2005 o Transporte Rodoviário representava 90% do total do subsetor, relação incrementada em 4% com relação a 1990.

Assim também podemos dar conta que entre 2000 e 2005, as emissões de CO₂ provenientes do Transporte Rodoviário cresceram 11%. Este incremento pode ser relacionado com o aumento do parque automotivo e sua má manutenção.

Mas deve-se levar em conta que a quantidade de emissões produzidas nas cidades que têm maior índice de engarrafamento é maior que naquelas cujo índice seja menor, já que quando um veículo se encontra num engarrafamento a eficiência térmica é baixa e além disso a quantidade de poluentes aumenta. Portanto é necessária uma maior quantidade de combustível para gerar uma mesma potência a uma eficiência mais baixa em comparação com um veículo que se encontra na estrada.

Na Tabela 1.2, pode-se observar que o subsetor transporte emite uma quantidade significativa de CH₄, isto se deve principalmente à quantidade de veículos que utilizam gás natural (GNV) e em pouca percentagem aos veículos que utilizam gás liquefeito de petróleo (GLP). Além disso, podemos notar que o percentual de emissões de CH₄ por parte do setor transporte em 2005 é de 0,1% do total, mas deve-se ter em conta que o efeito nocivo do Metano é aproximadamente 21 vezes o efeito do CO₂.

1.3 Descrição da Dissertação

O presente trabalho é composto por seis capítulos. Focado no estudo da eficiência térmica de um veículo convencional e um veículo elétrico híbrido. Para a realização deste estudo se escolheu como veículo de teste o Peugeot 3008 - 1.6. O primeiro capítulo refere-se à introdução, o contexto atual do estudo e à apresentação dos objetivos da dissertação.

A continuação, no capítulo dois, revisa-se o contexto que engloba o desenvolvimento do Veículo Elétrico Híbrido, especifica-se os índices de contaminação ambiental originado pelo parque automotivo, menciona-se a economia do recurso energético e descreve-se, de forma detalhada, o desenvolvimento de um Veículo Elétrico Híbrido e os componentes principais do sistema de propulsão elétrica.

O aparato experimental empregado é apresentado no capítulo três. No capítulo quatro descreve-se o modelo teórico do Peugeot 3008 - 1.6 com um sistema de propulsão híbrido elétrico. Neste, também são detalhadas as

Tabela 1.2: Emissões e remoções de CH₄ no Brasil

Setor	1990	1994	2000	2005	Δ 90/05
	(Gg)				(%)
Energia	425	379	416	546	28,5
Queima de Combustíveis	334	293	269	349	4,5
Setor Energético	169	148	124	164	-3,0
Setor Industrial	57	55	53	71	24,6
Ind. Siderúrgica	37	33	31	41	10,8
Outras Ind.	20	22	22	30	50,0
Setor Transporte	18	13	18	22	22,2
Setor Residencial	76	64	62	77	1,3
Outros Setores	15	13	12	15	0,0
Emissões Fugitivas	91	86	147	197	116,5
Mineração e Carvão	50	42	69	49	-2,0
Extração e Hidrocarburos	41	44	77	148	261,0
Processos Industriais	3	3	4	4	33,3
Agropecuária	9.869	10.571	11.144	13.465	36,4
Fermentação Enterica	8.733	9.314	9.920	12.017	37,6
Gado Bovino	8.318	8.898	9.576	11.659	40,2
Gado de Leite	1.200	1.262	1.198	1.401	16,8
Gado de Corte	7.118	7.636	8.378	10.258	44,1
Outros Animais	415	416	344	358	-13,7
Dejetos de Animais	780	839	872	1.044	33,8
Gado Bovino	219	234	250	307	40,2
Gado de Leite	37	39	34	40	8,1
Gado de Corte	182	196	216	267	46,7
Suínos	272	286	274	318	16,9
Aves	48	61	78	92	91,7
Outros Animais	22	23	19	20	-9,1
Cultura de Arroz	240	289	250	269	12,1
Resíduos Agrícolas	117	130	103	135	15,4
Mudança na Terra	1.615	1.805	2.762	2.843	76,0
Tratamento de Resíduos	1.146	1.333	1.739	2.113	84,4
TOTAL	13.058	14.091	16.065	18.971	45,3

Copia da Tabela 2.1.2 Emissões e remoções de CH₄.

Fonte: Ministério de Ciência e Tecnologia[8].

equações empregadas na redução de dados e os cálculos das variáveis de interesse.

A apresentação dos resultados experimentais e de simulação, cada um com sua respectiva análise, constituem o capítulo cinco do presente trabalho.

A dissertação é concluída com o capítulo seis, onde apresenta-se as conclusões e recomendações. As curvas de eficiência do motor elétrico, a análise das incertezas experimentais e o software de simulação, são mostradas nos apêndices A e B e C, respectivamente.