



Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

RAFAEL FERREIRA DE LIRA
108110271

**Influência Dos Sistemas de Transporte Inteligente no
Consumo Energético Dos Carros Híbridos e Puramente
Elétricos**

Campina Grande - PB
Dezembro de 2013

RAFAEL FERREIRA DE LIRA

Influência Dos Sistemas de Transporte Inteligente no Consumo Energético do Carros Híbridos e Puramente Elétricos

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eficiência Energética

Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa, Dr.
Orientador

Campina Grande - PB
Dezembro de 2013

RAFAEL FERREIRA DE LIRA

Influência Dos Sistemas de Transporte Inteligentes no Consumo Energético do Carros Híbridos e Puramente Elétricos

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eficiência Energética

Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa, Dr. - UFCG
Orientador

Gutemberg Gonçalves Dos Santos Júnior
Professor Convidado

Aprovado em 17 \ 12 \ 2013

Campina Grande - PB
Dezembro de 2013

Resumo

Nas últimas décadas, a população mundial aumentou sua preocupação acerca dos impactos ambientais causados por gases poluentes emitidos através do transporte terrestre. Para tentar solucionar esta problemática, muitos governos ao redor do mundo estão regulamentando novos e restritos níveis de emissão para o transporte terrestre. A imposição de políticas de emissão veicular severas tendem a contribuir para acelerar a penetração dos carros híbridos e elétricos no mercado mundial durante os próximos anos. Porém, estes tipos de carros ainda apresentam uma autonomia relativamente baixa e longos períodos de recarga. Com intuito de solucionar estes problemas muitas técnicas estão sendo estudadas e desenvolvidas para aumentar a eficiência energética e a vida útil das baterias destes automóveis. Uma destas novas técnicas prevê a instalação de uma rede de comunicação veicular, composta pela comunicação entre veículos (*vehicle-to-vehicle*, *V2V*) e pela comunicação entre veículos e infra-estrutura viária (*vehicle-to-infrastructure*, *V2I*). Esta rede seria capaz de prover uma troca de informações entre pontos finais objetivando estender o horizonte de conhecimento de tráfego do condutor. Ainda, esta informação poderia ser usada para controlar os sistemas de controle dentro do veículo com o intuito de economizar combustível, aumentando a eficiência energética. Este projeto visa mostrar através de simulações como este novo sistema de comunicação poderia aumentar a autonomia e a vida útil das baterias dos carros híbridos e elétricos. Para alcançar o resultado final foram desenvolvidos dois diferentes ciclos de condução (os chamados *driving cycles*): o primeiro é considerado mais agressivo sem a presença das comunicações *V2V* e *VSI*, o segundo é considerado mais suave e assume a existência de uma rede de comunicação veicular. Este artigo apresentará resultados quantitativos, considerando as duas situações anteriormente descritas, para dois modelos bastante comuns no mercado mundial: o Toyota Prius Hybrid (híbrido) e o Ford Focus Electric (elétrico).

Palavras-chave: veículo híbrido, veículo elétrico, ciclo de condução, economia de combustível, eficiência energética, vida útil das baterias, rede de comunicação veicular.

Abstract

In the past decades the concern over the environmental impact caused by pollutants emitted by ground transportation has increased. In order to deal with this new scenario, many governments around the world are introducing new and restricted emission limits in which will go into effect in the next decades. The imposition of more severe policies for vehicular emission tends to accelerate the penetration of hybrid and electric cars on the global market. However, those cars experience a relatively short range and long charge times. To handle those weaknesses many new techniques are being developed to increase their energetic efficiency and battery life. One of the new techniques predicts the installation of a vehicle communication network, composed of the vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication. This network would provide an information exchange among its end-points, aiming extend the driver's horizons. Also, this information could be used by onboard control systems in order to forecast situations and save fuel, increasing energetic efficiency. The goal of this paper is to show through simulations how this communication system could increase range and battery life of hybrid and electric vehicles. It was built two different driving cycles. On the first one (heavier), the presence of the V2V and VSI communication was not assumed. On the second one (lighter), it was assumed that this system was already implemented. The article will present quantitative results for two very common models: the Toyota Prius Hybrid and the Ford Focus Electric.

Keywords: hybrid vehicle, electric vehicle, duty cycle, fuel economy, energetic efficiency, battery life, vehicular communication network.

Sumário

Lista de Abreviaturas	iv
Lista de Figuras	v
1 Considerações Iniciais	1
1.1 Carros Puramente Elétricos	1
1.2 Carros Híbridos Elétricos	3
2 Introdução	6
3 O Sistema de Comunicação Veicular	8
4 Metodologia	11
4.1 Autonomie	11
4.2 Ciclos de Condução (<i>Driving Cycles</i>)	12
5 Resultados	16
5.1 Comparação Entre os Resultados Obtidos para Ambos os Ciclos de Condução	16
5.1.1 Carro Puramente Elétrico	16
5.1.2 Carro Híbrido Elétrico	18
5.2 Comparação Entre Valores Simulados e Parâmetros Dos Modelos Reais	19
5.2.1 Modelo Elétrico Simulado x Ford Focus Electric	20
5.2.2 Modelo Híbrido Elétrico Simulado x Toyota Prius c	21
6 Conclusões	23
7 BIBLIOGRAFIA	25

Lista de Abreviaturas

VCS	<i>Veicular Communication Systems</i> (Sistemas de Comunicação Veicular)
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i> (Sistemas de Transporte Inteligente)
V2V	<i>Vehicle-to-Vehicle</i> (Comunicação Entre Veículos)
V2I	<i>vehicle-to-infrastructure</i> (Comunicação Entre Veículo e Infra-Estrutura Viária)
EV	<i>Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico)
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículo Elétrico Híbrido)
RSU	<i>Road Side Units</i> (Unidades Viárias Fixas)

Lista de Figuras

1.1	Classificação Dos Carros Elétricos	1
1.2	Esquema De um Carro Tradicional (Combustão Interna); Fluxo de Potência Unidirecional	3
1.3	Esquema de Um Carro Puramente Elétrico Com Apenas Um Motor; Fluxo de Potência Bidirecional	3
1.4	Modelo Híbrido Série	4
1.5	Modelo Híbrido Paralelo	4
1.6	Modelo Híbrido Serie/Paralelo	5
3.1	Demonstração do Sistema de Comunicação Veicular em uma Situação Real	8
4.1	Interface do Usuário do Autonomie	12
4.2	Ciclo de Condução Considerando a falta de um Sistema de Comunicação Veicular	13
4.3	Ciclo de Condução Considerando a Existência de um Sistema de Comunicação Veicular	14
5.1	Tabela de Resultados da Simulação de Um Modelo Puramente Elétrico	17
5.2	Potência de Saída na Bateria Durante a Simulação. Sem o Sistema de Comunicação (verde) e Com o Sistema de Comunicação (azul)	18
5.3	Tabela de Resultados da Simulação de Um Modelo Híbrido Elétrico	19
5.4	Consumo Cumulativo de Combustível. Sem ITS (verde) e com ITS (azul)	20

Capítulo 1

Considerações Iniciais

O veículo elétrico é aquele que utiliza, pelo menos, um motor elétrico como forma de tração para o transporte de pessoas, objetos ou cargas. Assim sendo, a classificação da figura 1.1 é usualmente utilizada por boa parte da bibliografia para subdividir as diferentes topologias de carros elétricos:

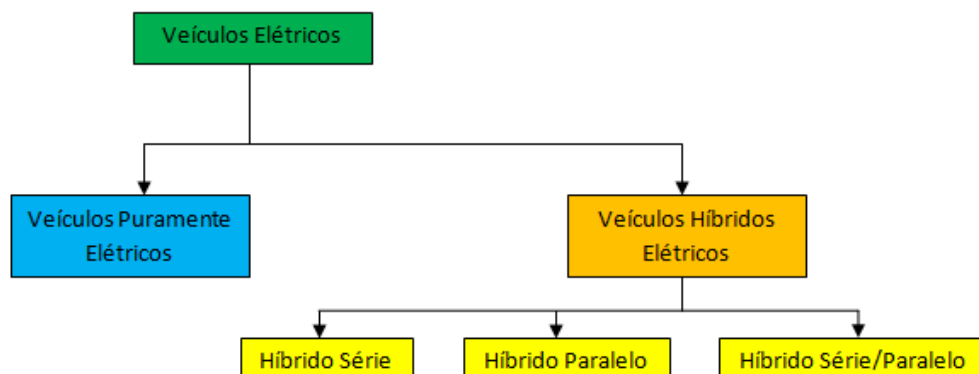


Figura 1.1: *Classificação Dos Carros Elétricos*

1.1 Carros Puramente Elétricos

No começo do século XX os veículos elétricos dominavam o cenário automobilístico norte-americano. Fatores como a inexistência de marchas, ausência de ruídos e vibrações foram cruciais para a manutenção da existência deste tipo de automóvel durante alguns anos; a autonomia era um atributo menos valorizado, já que a maioria dos carros circulavam apenas dentro das pequenas cidades da época. Com o passar dos anos, a diminuição do preço dos derivados do

petróleo associada com a falta de tecnologia apropriada para as baterias fez com os carros a combustão interna aparecessem mais fortemente no mercado automobilístico e acabasse roubando toda a fatia anteriormente voltada para a frota eletrificada; por volta de 1910 os veículos elétricos já estavam quase que totalmente superados[13].

A crise energética entre 1970 e 1980 trouxe consigo novamente o interesse pela tecnologia de veículos elétricos, por parte dos governos e institutos de pesquisa em vários lugares do mundo. Vários outros fatores vêm impulsionando o ressurgimento cada vez mais latente deste tipo de carro, sejam estes: a preocupação com questões ambientais (considerando que o setor de transportes é um dos maiores responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa em todo mundo), preocupação com a questão energética e a volatilidade do petróleo (segundo a Agência Internacional de Energia a média anual da demanda de energia crescerá 1.5% entre 2007 e 2030, enquanto que a produção de petróleo expandirá anualmente apenas cerca de 1%[14]) e o elevado desenvolvimento tecnológico (que propicia o surgimento de novas tecnologias que podem ser incorporadas aos atuais avanços no campo das baterias, levando ao aumento da autonomia e da vida útil das mesmas).

A diferença entre um carro a combustão interna e um veículo puramente elétrico pode ser notada nas figura 1.2 e 1.3. O carro tradicional é alimentado por um reservatório de combustível seja este gasolina ou álcool e movido através de um motor à explosão interna; ao mesmo tempo existe um alternador (gerador elétrico) que converte uma parte da energia mecânica produzida pelo motor em energia elétrica para alimentar alguns periféricos do carro como o sistema de ignição ou a recarga das baterias[15]. Por outro lado, o carro puramente elétrico é alimentado unicamente por um conjunto de baterias que alimenta um conversor usado para acionar o motor elétrico, o conjunto por sua vez aciona o conjunto de rodas; o conversor pode ser do tipo DC-DC ou do tipo DC-CA, tudo depende da topologia utilizada em cada veículo (sendo o conversor DC-DC o mais utilizado). Em alguns casos, quando existe o chamado KERS (sistema de recuperação da energia liberada na frenagem), o conversor é capaz de controlar o fluxo de potência em ambos os sentidos ora da bateria para o motor e ora do motor para a bateria, aumentando a eficiência energética do conjunto.

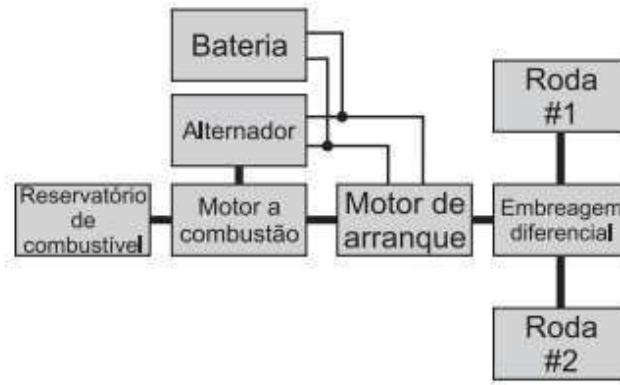


Figura 1.2: Esquema De um Carro Tradicional (Combustão Interna); Fluxo de Potência Unidirecional

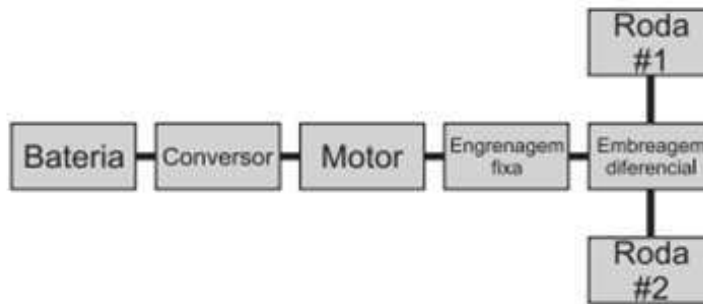


Figura 1.3: Esquema de Um Carro Puramente Elétrico Com Apenas Um Motor; Fluxo de Potência Bidirecional

1.2 Carros Híbridos Elétricos

Enquanto os carros elétricos utilizam como fonte de energia apenas um conjunto de baterias, os carros híbridos elétricos são alimentados por duas fontes de energia, sendo a primeira um conjunto de baterias e a segunda um combustível como gasolina ou álcool. Neste tipo de modelo os motores a combustão interna são novamente utilizados, porém com certas modificações para se alinhar às novas necessidades deste tipo de carro. O carro híbrido elétrico, como mostrado anteriormente, pode ser subdividido em três categorias: híbrido série, híbrido paralelo e híbrido série/paralelo; cada uma destas categorias apresenta uma topologia (fluxo de potência, dimensionamento e posicionamento de seus componentes) diferente.

No carro híbrido série, figura 1.4, a tração do veículo é obtida a partir de um motor elétrico; a energia para acionar este motor é proveniente da carga presente no conjunto de baterias e um reservatório de combustível. A energia armazenada no reservatório de combustível pode seguir dois fluxos distintos: acionar diretamente o motor elétrico que movimenta as rodas ou ainda

recarregar o conjunto de baterias; o ponto de operação deste fluxo de potência será sempre governado pelo sistema de controle do carro que tentará sempre manter o processo no ponto de máxima eficiência energética (em situação onde se deseja mais potência, por exemplo, ambas as fontes de energia podem ser utilizadas).

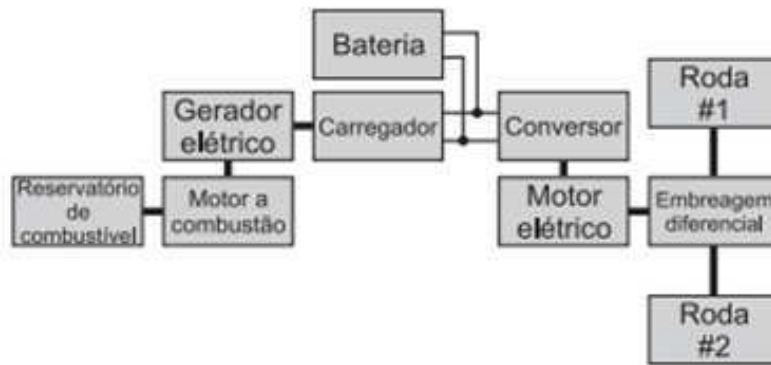


Figura 1.4: *Modelo Híbrido Série*

No modelo híbrido paralelo, figura 1.5, tanto o motor elétrico como o motor a combustão atuam através das embreagens de modo a tracionar o veículo. Uma das principais vantagens deste tipo de modelo é que, para uma mesma performance, tanto o motor elétrico quanto o motor a combustão são significativamente menores quando comparados com aqueles utilizados no modelo híbrido série. Esta característica permite a montagem de um veículo significativamente mais barato, de outro modo, a lógica de controle se torna muito mais complexa neste modelo.

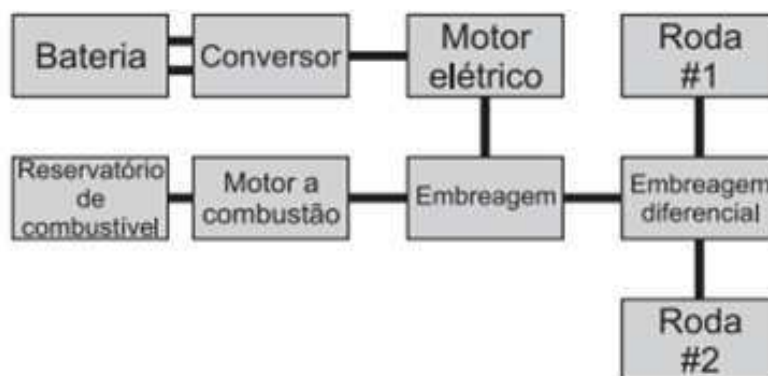


Figura 1.5: *Modelo Híbrido Paralelo*

Uma das mais novas arquiteturas, e a mesma utilizada durante as simulações deste projeto, combina as características presentes tanto no modelo série quanto no modelo paralelo, é o

chamado modelo série/paralelo, figura 1.6. Apesar de ser uma tecnologia mais cara e mais complexa é uma das mais escolhidas para construção de carros híbridos, especialmente quando as montadoras buscam excelente performance e altas velocidades. Neste modelo o maior grau de liberdade no fluxo de potência permite a atuação em diversos pontos de operação, tudo controlado pelo sistema de controle do carro e direcionado pela embreagem entre o motor de combustão, motor elétrico e o conjunto de baterias.

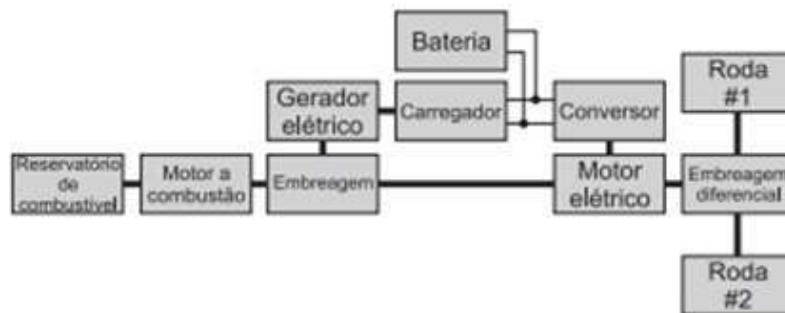


Figura 1.6: *Modelo Híbrido Série/Paralelo*

Capítulo 2

Introdução

Quase um século depois de ter sido substituído por modelos movidos à combustão interna, os veículos elétricos (EVs) e seus novos companheiros (os veículos elétricos híbridos ou HEVs) têm emergido no cenário mundial e são a mais nova aposta para o futuro do transporte terrestre. Fatores como a maior preocupação acerca de questões ambientais, segurança energética e rápido desenvolvimento tecnológico estão guiando esta idéia para um futuro cada vez mais próximo. Além disso, deve-se considerar que o setor de transporte tem consumido uma fatia cada vez maior da produção mundial de petróleo (chegando a quase 70% de todo petróleo consumido nos Estados Unidos no ano de 2012 [8]), e ainda, representa uma das maiores fontes de gases do efeito estufa. Com isso, o setor automobilístico tem se tornado um dos principais alvos para novas políticas ambientais e de energia; muitos países ao redor do mundo têm adotado ou estão adotando medidas para aumentar a disseminação de veículos híbridos e elétricos no mercado.

Em 2012, cerca de 113.000 veículos elétricos foram vendidos no mercado mundial, a maior parte nos Estados Unidos e na China [8]. Do mesmo modo, em 2012, cerca de 322.000 veículos híbridos foram vendidos só nos Estados Unidos [8]. É considerável ponderar que a maior parte destas vendas aconteceram devido à redução de taxas e incentivos governamentais, mas os números mostram uma presença cada vez mais expressiva de tais modelos no mercado internacional.

Apesar do aumento anual das vendas de veículos híbridos e elétricos, a presença global de tais modelos continua muito aquém de seu potencial, quando comparada aos veículos tradicionais à combustão interna; em 2012, tais automóveis alcançaram apenas 3% da fatia de mercado

mundial [8]. As principais razões para esta ainda inexpressiva presença global estão na baixa autonomia, longo tempo de recarga e alto custo (devido principalmente ao alto preço das baterias, que precisa ser grande o suficiente para atender às necessidades médias de autonomia dos seus consumidores).

Com o objetivo de tentar solucionar tais fraquezas presentes nos HEVs e EVs, governos e institutos de pesquisa ao redor do mundo globo estão investindo massivamente no desenvolvimento de novas tecnologias para prover aos donos de carros híbridos e elétricos uma maior liberdade de mobilidade, aumentando a segurança energética e diminuindo custos de produção e utilização. Assim, tais tecnologias vêm para incentivar as vendas e aumentar a fatia de mercado destes modelos.

Muitas pesquisas ambiciosas já foram iniciadas com o intuito de alcançar tais objetivos. Células de combustível (as chamadas Fuel Cells), materiais para baterias mais eficientes e as pesquisas relacionadas com células de hidrogênio são apenas alguns exemplos destas novas tecnologias que surgem para reforçar a confiança no setor de híbridos e elétricos. Uma destas novas tecnologias é baseada na comunicação veicular (VC). Estes sistemas são normalmente utilizados para avisos de segurança, mas também podem ser utilizados para diminuir o consumo energético dos automóveis.

Este artigo fornece um levantamento acerca de como esta comunicação inter-veicular pode aumentar a eficiência energética e a vida útil das baterias dos carros híbridos e elétricos dentro das próximas décadas. Serão explicados os principais aspectos deste tipo de comunicação, assim como os métodos de estudo que ajudaram a chegar aos números e conclusões finais deste artigo. Primeiramente será fornecida uma visão geral acerca dos sistemas de comunicação veicular. Depois, será explicada a ferramenta de simulação veicular (Autonomie) que foi utilizada, assim como, a metodologia empregada para se atingir os resultados apresentados. Finalmente, serão detalhados os resultados da simulação e será feita uma comparação entre estes resultados e os parâmetros atualmente encontrados em dois veículos: o Toyota Prius Hybrid e o Ford Focus Electric.

Capítulo 3

O Sistema de Comunicação Veicular

Os sistemas de comunicação veicular são uma tecnologia inovadora que está se tornando uma possibilidade cada vez mais forte para as próximas décadas, esta técnica prevê uma rede de comunicação entre veículos e unidades fixas (as chamadas *Roadside Units*, RSU), como antenas ou postes à beira das estradas. Este tipo de comunicação terá um papel bastante importante para os automóveis e para o gerenciamento de tráfego em geral. Dentro desta rede, cada elemento é considerado um nó que troca informações providas por ele mesmo ou por outro nós da mesma rede, como pode ser observado na figura a seguir:

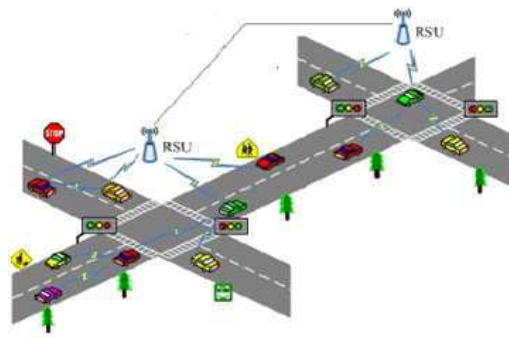


Figura 3.1: *Demonstração do Sistema de Comunicação Veicular em uma Situação Real*

O sistema VC pode conter dois tipos de nó diferentes: os próprios veículos ou as unidades de infraestrutura dedicadas (RSUs). Estes elementos podem compor duas associações distintas: a comunicação entre veículos (V2V) ou a comunicação entre veículos e infraestrutura (V2I) . O princípio básico é expandir o escopo de informações do condutor e do sistema de controle do carro, através da troca de informações dos nós dentro da rede, que pode ser advinda de seu próprio sensoriamento ou das informações coletadas de outros pontos da mesma rede.

O sistemas de comunicação veicular são parte dos Sistemas de Transporte Inteligente (do inglês, *Intelligent Transportation System - ITS*). Os ITSs são definidos como um conjunto de poderosas aplicações que objetivam o desenvolvimento de serviços inovadores relacionando diferentes modos de transporte e gerenciamento de tráfego [1]. Este sistema torna possível um futuro mais eficiente, mais efetivo e mais seguro do transporte terrestre, através de comunicação com ou sem fio entre os elementos presentes na rede de transporte.

Os sistemas de comunicação veicular podem variar de acordo com a tecnologia aplicada, desde sistemas básicos de gerenciamento até complexas redes de controle de tráfego. Esta estrutura virtual pode ser usada simplesmente para informar o sistemas de controle do carro sobre algumas condições específicas da estradas, mas também para antecipar e evitar situações com ou sem perigo eminente (como batidas, paradas não desejadas ou temporização de sinais de trânsito) para o condutor ou sistema de controle interno do carro. Alguns tipos de informação trocadas entre nós dentro de uma rede deste tipo podem ser: informações acerca de condições climáticas à frente, alertas de batidas à frente, avisos anti-colisões, informações sobre temporização de semáforos, instruções de estacionamento, avisos de limites de velocidade permitida e alertas de paradas bruscas e/ou cruzamentos à frente.

A conexão entre nós desta rede (veículos e unidades de infraestrutura dedicada) é estabelecida através de dispositivos de comunicação de curto e médio alcance. Estes equipamentos habilitam uma comunicação sem fio bidirecional e pequeno ou curto alcance especificamente para uso automobilístico. Estes dispositivos serão parte da plataforma computacional do sistema de comunicação inter-veicular, dedicados exclusivamente para os propósitos de comunicação veicular, sendo ainda responsáveis pela troca destas informações com o sistema de controle do veículo e com o próprio condutor. Tais plataformas computacionais irão rodar os protocolos de comunicação V2V e V2I e as aplicações suportadas por estes.

Alguns padrões para este tipo de comunicação já foram implementados. Como exemplo, em Novembro de 2006, o rascunho 1.3 do IEEE 802.11p *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE) foi aprovado. O WAVE é uma extensão da especificação IEEE 802.11 *Wireless LAN Medium Access Layer (MAC) and Physical Layer (PHY)*. Ele habilita os dispositivos IEEE 802.11 para serem usados em ambientes onde as propriedades da camada física mudam rapidamente e onde trocas de informação de curta duração são necessárias. O WAVE permite o uso

da banda 5.9GHz (8,850 - 5,925 GHz) para ser usada como base para comunicações dedicadas de curto alcance com um alcance máximo de 1000 metros. Além disso, a Agência de Comunicação Federal dos Estados Unidos alocou 75MHz de espectro na banda 5.9GHz para os sistemas de comunicação inteligentes (ITSs), enquanto a Europa alocou apenas 30MHz para o mesmo propósito. [2]

Atualmente, muitas instituições e companhias ao redor do mundo, que lidam com o estudo e implementação destes sistemas de transporte inteligente, estão trabalhando nestes novos padrões para tornar os conceitos de comunicação veicular uma realidade cada vez mais sólida. Muitas novas aplicações estão sendo desenvolvidas em parceria com governos e institutos de pesquisa. Como exemplo, alguns projetos podem ser relacionados como: o "CyberCars2" (custeado pela União Européia de 2006 a 2008, objetivando a cooperação entre veículos trafegando à pequenas distâncias e intersecções) e o "COOPERS" (custeado pela União Européia entre 2006 e 2010, objetivando aplicações de telemática para unidades de infraestrutura em estradas e gerenciamento de tráfego cooperativo envolvendo veículos e unidades de infraestrutura). [1]

Este sistema de comunicação foi desenvolvido primeiramente com objetivo de melhorar dois aspectos chave: segurança e gerenciamento de tráfego. Porém, a implementação desta rede de comunicação pode levar à várias outras vantagens em termos de transporte terrestre. A troca de informações em tempo real pode ser usada para reforçar e aumentar o espectro de dados aos quais o sistema de controle do carro tem acesso e isto pode levar facilmente à melhores orientações (como cálculo de melhores rotas) ao motorista. Isto poderia aumentar a eficiência energética dos carros, resultando em vantagens econômicas e ambientais, salvando tempo e combustível.

Neste trabalho será explicado como os Sistemas de Comunicação Veicular poderiam ser usadas para diminuir o consumo energético dos veículos elétricos e híbridos no mundo real, aumentando assim sua aceitação e alargando sua fatia de mercado.

Capítulo 4

Metodologia

Para obter os resultados deste trabalho foram desenvolvidos dois diferentes ciclos de condução (*driving cycles*). O primeiro emula as circunstâncias atuais, onde o sistema de comunicação veicular não está presente. O segundo *driving cycle* emula uma situação onde um Sistema de Transporte Inteligente está disponível. Para realizar as simulações a mais nova ferramenta de simulação veicular foi utilizada, chamada de Autonomie.

4.1 Autonomie

O Autonomie é uma das mais novas e mais avançadas ferramentas de simulação veicular do mercado atualmente; ele foi desenvolvido pelo Argonne National Laboratory com a colaboração da General Motors e protegido através de direitos autorais pela University of Chicago. O software foi desenvolvido dentro do Programa de Tecnologia Veicular (do inglês Vehicle Technology Program, VTP) do Departamento de Energia dos Estados Unidos com o intuito de fortalecer e melhorar a eficiência energética e a redução na emissão de gases tóxicos do transporte terrestre. O Autonomie vem para substituir o velho PSAT (*Powertrain System Analysis Toolkit*), visando acelerar a prototipagem e o desenvolvimento de novas e avançadas tecnologias através da tecnologia *plug-and-play*. O programa é uma nova ferramenta desenvolvida a partir do PSAT, mas com um código inteiramente novo; ele é baseado no MATLAB e Simulink e fornece uma amigável interface gráfica para o usuário (GUI), figura 4.1. [4]

Através de simulações o usuário pode integrar diferentes níveis de abstração e realizar simu-

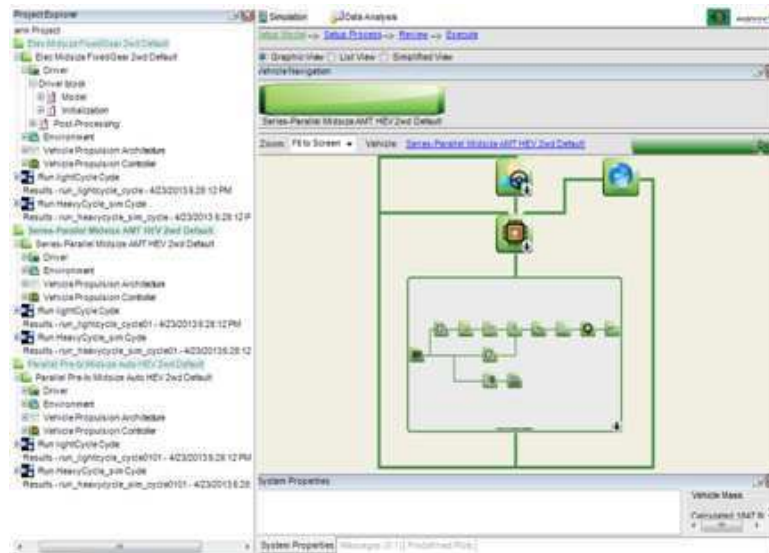


Figura 4.1: Interface do Usuário do Autonomie

lações simultâneas considerando diferentes parâmetros e/ou diferentes partes isoladamente do automóvel. Atualmente, mais de 140 companhias e institutos de pesquisas, incluindo as maiores montadoras e desenvolvedores de peças automotivas, utilizam o Autonomie no desenvolvimento dos seus programas de desenvolvimentos mais avançados.

O Autonomie fornece uma boa interface com o usuário onde é possível simular cada um dos seus mais de 50 modelos predefinidos em associação com um infinito numero de condições distintas. É possível por exemplo simular o mesmo modelo considerando apenas uma ou diversas condições que os diferencia, sejam estas condições climáticas ou de *driving cycles*, por exemplo. Com esta visão, foi possível a utilização de modelos predefinidos que se equivaliam tanto ao Toyota Prius Hybrid quanto ao Ford Focus Electric para obtenção dos resultados existentes neste artigo. A modelagem dos sistemas simulados foi realizada em alto nível, de tal forma que o foco da problemática foi apenas direcionado para a diferenciação dos parâmetros dos modelos simulados durante as simulações.

4.2 Ciclos de Condução (*Driving Cycles*)

Para emular os padrões de condução com e sem o Sistema de Comunicação Veicular, dois diferentes *driving cycles* - neste artigo *driving cycle* ou ciclos de condução se referem ao histórico de um ou mais períodos de condução diário, representado por uma curva *velocidade(milhas/hora)-vs-tempo(s)* - foram propostos e usados como parâmetros de simulação no Autonomie. Os

resultados das simulações considerando os dois padrões de condução foram analisados e correspondem ao ponto chave deste artigo. Foi crucial garantir que as simulações fossem realizadas nas mesmas condições para os diferentes *driving cycles*. Além disso, a distância percorrida nos dois casos foi exatamente a mesma para garantir a independência dos resultados em relação a esta variável. É importante considerar que os dois padrões de condução apresentados neste trabalho foram desenvolvidos hipoteticamente baseados nos principais princípios de uma futura presença dos Sistemas Inteligentes de Transporte; nenhum foi desenvolvido com base em medições coletadas em veículos reais devido à restrições de material, orçamento e tempo.

O primeiro ciclo de condução, como pode ser visto na figura 4.2, representa uma situação atual, sem a presença do Sistema de Comunicação Veicular. É possível visualizar na figura 4.2 uma série de aproximadamente 13 (treze) momentos de frenagens e acelerações bruscas, algumas destas freadas atingindo inclusive 0 (zero) milhas/hora. Além disso, é fácil perceber as acentuadas inclinações do padrão tanto no momento das frenagens como no momento das acelerações.

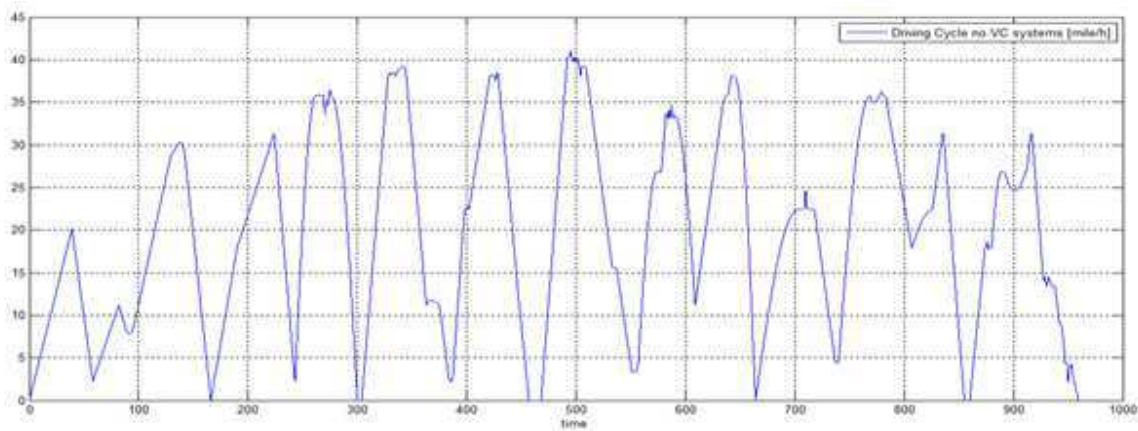


Figura 4.2: *Ciclo de Condução Considerando a falta de um Sistema de Comunicação Veicular*

O segundo padrão de condução é mostrado na figura 4.3. Como é possível observar, o número de frenagens bruscas é menor quando comparado ao mesmo número presente no primeiro padrão. Além disso, os padrões de aceleração e desaceleração apresentam um grau de inclinação bem inferior quando comparados com aqueles presentes no primeiro ciclo. Finalmente, é possível visualizar que nesse hipotético *driving cycle* o veículo nunca chega a parar completamente; ele desacelera gradualmente até atingir uma "velocidade alvo" e então volta a acelerar gradualmente até atingir uma segunda "velocidade alvo".

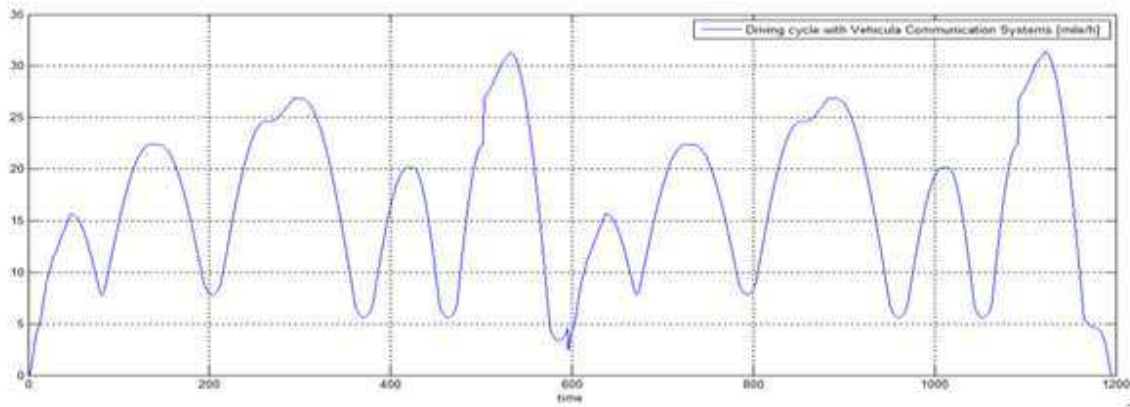


Figura 4.3: *Ciclo de Condução Considerando a Existência de um Sistema de Comunicação Veicular*

Um cenário cotidiano, uma pessoa necessitando se deslocar de casa para o trabalho, foi imaginado com o objetivo de desenvolver estes ciclos de condução. Será considerada uma situação fora do horário de pico, assim não haverá um forte congestionamento. Além disso, será considerado um número de cerca de 16 possíveis pontos de parada neste trajeto, podendo variar entre semáforos, faixas de pedestre ou cruzamentos.

Se o condutor não estiver munido de informações de tráfego e agir por si só, é possível que ele saiba a exata posição de pontos de cruzamento ou faixas de pedestre, por exemplo, mas é improvável prever a qual velocidade ele deve trafegar com o intuito de passar pelo próximo quando este se apresentar "aberto" ou quando a faixa de pedestres estará livre para ele trafegar. Assim, ele irá trafegar, tentando chegar ao trabalho o mais rápido possível, se utilizando de desordenados momentos de aceleração e desaceleração, como é possível observar no diagrama número 4.2. É altamente improvável que ele consiga "pegar" todos os sinais "abertos". Assim, ele será forçado a parar completamente seu veículo em alguns momentos do seu trajeto (podemos ver alguns momentos de parada, 0 milhas/hora, no diagrama).

Agora, considere o segundo *driving cycle*. Nesta segunda situação foi imaginada a existência do sistema de comunicação veicular como parte do ITS. Assim, o sistema de controle do carro receberia informações vindas de outros carros ou de unidades de infraestrutura às margens das rodovias através dos dispositivos de comunicação dedicados de curto alcance. Alguns destes dados poderiam ser: o exato momento onde os semáforos próximos estarão "abertos" ou o exato momento onde o próximo cruzamento estará livre para passagem (considerando para isso, que as plataformas computacionais dos nós desta rede pudessem ter acesso à velocidade de carros

naquela área e assim pudessem calcular o exato momento em que os carros próximos irão alcançar o cruzamento). Além disso (isto não é considerado neste estudo), o veículo poderia receber informações da rede de comunicação veicular sobre quais são as vias próximas mais e menos congestionadas. Assim, o sistema de controle do carro poderia traçar a melhor rota e informar o condutor sobre qual seria o melhor itinerário para chegar ao trabalho mais rápido, ao mesmo tempo que este economizaria combustível e dinheiro.

Considerando este segundo cenário, seria muito mais fácil saber qual velocidade um condutor precisa trafegar com o objetivo de aumentar a eficiência energética do seu carro. Além disso, considerando que o sistema de controle do carro iria ter acesso a temporização do sistema de semáforo mais próximo (sendo esta uma das informações que poderiam trafegar dentro da rede), seria possível calcular a velocidade necessária que o condutor precisaria trafegar com o intuito de não parar completamente naquele ponto. Assim, neste cenário seria mais provável que o motorista alcançasse apenas sinais verdes ou ao menos mais sinais verdes durante seu trajeto (dependendo da característica de cada rodovia). Este mesmo pensamento poderia se repetir tanto para cruzamentos quanto para passagens de pedestre. Finalmente, munido de todos os dados anteriormente mencionados, seria possível para o sistema de controle do carro calcular exatamente que velocidade e aceleração o condutor deveria trafegar a cada momento para aumentar a eficiência energética do processo de locomoção.

Este cenário completo foi imaginado e capturado no *driving cycle* 2. Como pode ser visto na figura 4.3, o carro nunca para completamente (o que é claramente possível dependendo da situação e das características de cada trajeto), e ainda os padrões de aceleração e desaceleração são bem mais sincronizados e leves quando comparados com o primeiro ciclo.

Como será mostrado na próxima seção, o segundo padrão poderia diminuir fortemente o consumo equivalente de combustível, ao mesmo tempo que aumenta a eficiência energética e o tempo útil da bateria para tanto o modelo híbrido quanto o modelo elétrico.

Ambos os ciclos de condução têm aproximadamente a mesma distância percorrida, 5.4 milhas. Porém, o primeiro tem uma duração de aproximadamente 16 minutos e 20 segundos enquanto o segundo tem uma duração de aproximadamente 20 minutos. Eles foram desenvolvidos com a ajuda do MATLAB, com a inserção dos parâmetros necessários para serem incluídos como *driving cycles* customizados nas simulações do Autonomie.

Capítulo 5

Resultados

Este estudo foi conduzido de duas diferentes formas. Primeiramente, foi realizada uma simulação no Autonomie de ambos os *driving cycles*; eles foram utilizados como parâmetros de simulação para o mesmo modelo de carro sob as mesmas condições. Para realizar as simulações dois diferentes modelos predefinidos foram empregados: um modelo de um carro elétrico de tamanho médio e um modelo de um veículo híbrido de tamanho médio com a configuração série/paralelo. Ambos os modelos foram simulados com cada um dos ciclos de condução apresentados. Ao final, os resultados obtidos com as simulações referentes ao segundo ciclo (aquele que considera a existência de um Sistema de Comunicação Veicular) foram comparados com os resultados reais, no que diz respeito ao consumo energético, de dois modelos reais: Ford Focus Electric e o Toyota Prius Hybrid, respectivamente um veículo puramente elétrico e outro híbrido com uma configuração serie/paralelo (assim como a do modelo simulado).

5.1 Comparação Entre os Resultados Obtidos para Ambos os Ciclos de Condução

5.1.1 Carro Puramente Elétrico

Os resultados desta primeira simulação podem ser consultados na tabela seguinte, figura 5.1.

A primeira coluna de resultados representa o que foi obtido para o padrão de condução que

Process Name		Run lightCycle Cycle	Run HeavyCycle_sim Cycle
Cycle Name		lighCycle	HeavyCycle_sim
Distance Traveled	mile	5,48	5,24
Cycle Distance	mile	5,48	5,25
Percent Time Trace Missed by 2mph	%	0	0
Electrical Consumption	W.h/mile	172,06	252,23
Initial SOC	%	90	90
Final SOC	%	88,66	88,12
Delta SOC	%	-1,34	-1,88
Percent Regen Braking at Battery	%	60,52	72,71
Percent Regen Braking at Wheel	%	98,5	97,71
Regen Braking Energy Recovered at Ba	W.h	-89,91	-621,32
Regen Braking Energy Available at Wh	W.h	-149,14	-714,96
Total Braking Energy at Wheel	W.h	-151,41	-731,73

Figura 5.1: Tabela de Resultados da Simulação de Um Modelo Puramente Elétrico

considera a existência de um Sistema de Comunicação Veicular (VCS). Já a segunda coluna apresenta os valores finais para uma simulação com o *driving cycle*, onde o SCV não está presente. É fácil observar que, na linha 6, o consumo elétrico (W.h/ milhas) do segundo padrão de condução (primeira coluna) é bastante inferior ao valor respectivo da segunda coluna. Enquanto o segundo carro (primeira coluna), aquele que considera a existência do SCV, consome cerca de 172 W.h/milha, o primeiro carro (segunda coluna), aquele que considera o transporte terrestre nos moldes atuais, consome cerca de 252.2 W.h/milha. Como pode ser visto a seguir, existe uma diferença de cerca de 32.8% entre tais resultados.

$$\% = \frac{|252.23 - 172.06|}{252.23} \times 100 = 32.8\% \quad (1)$$

Este resultado mostra que o uso do Sistema de Transporte Inteligente no futuro poderia tornar os veículos elétricos ainda mais energeticamente eficientes ao consumirem menos potência por milha rodada.

A figura 5.2 mostra o comportamento dinâmico da potência de saída da bateria do carro durante a simulação. É possível observar na figura que apesar do primeiro padrão recuperar mais energia durante os momentos de frenagem (através do sistema de recuperação de energia presente nestes tipos de veículos, chamado de KERS), o consumo de energia durante o tempo percorrido de simulação é maior neste cenário do que aquele encontrado quando o ITS é considerado. Tal comportamento se deve ao fato de que o segundo padrão (linha azul) apesar de

não recuperar tanta energia nos períodos de frenagem, gasta menos energia nos momentos de aceleração.

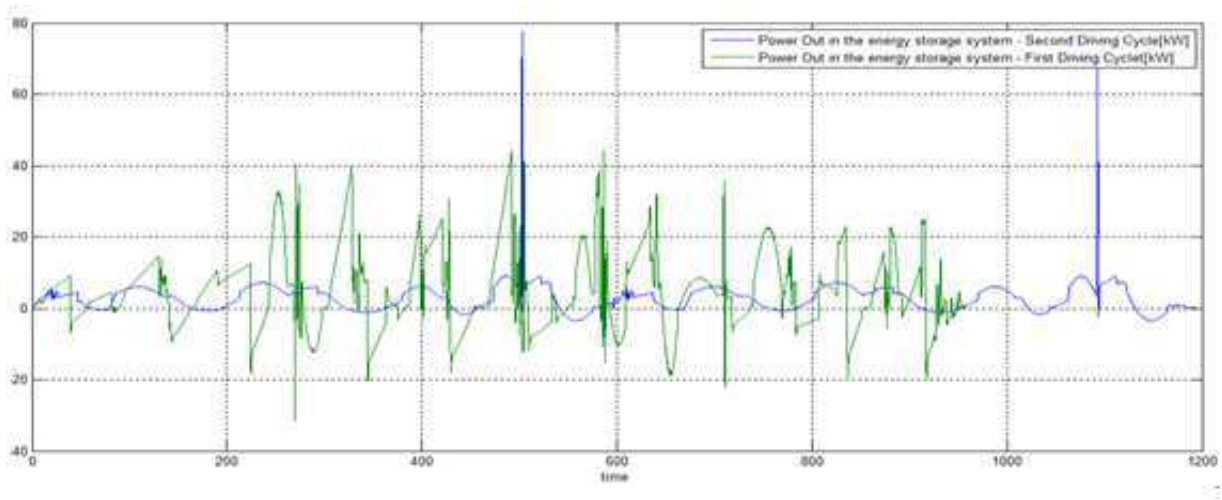


Figura 5.2: *Potência de Saída na Bateria Durante a Simulação. Sem o Sistema de Comunicação (verde) e Com o Sistema de Comunicação (azul)*

5.1.2 Carro Híbrido Elétrico

A figura 5.3 mostra os resultados obtidos na segunda simulação, agora considerando um modelo híbrido elétrico. Novamente, a primeira coluna representa uma situação em que existe um Sistema de Transporte Inteligente (segundo ciclo de condução) e a primeira coluna representa o primeiro ciclo de condução, que tenta representar um atual ciclo de condução. Na linha 6 é possível observar que o indicador Milhas por Galão Equivalente de Gasolina (ou Fuel Economy Gasoline Equivalente, FEGE) das duas simulações. Este indicador é maior quando considerado o segundo driving cycle (76.75 milhas/ galão) do que se considera o primeiro (63.16 milhas/ galão). O FEGE é uma medida (em milhas/ galão) da distância média percorrida por unidade de energia consumida; este indicador foi desenvolvido e é vastamente utilizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para comparar veículos que usam diferentes tipos de combustíveis: elétricos, híbridos e convencionais. Esse indicador estima que um galão de gasolina é equivalente a 33.7kW.h de eletricidade.

A figura 5.3 mostra que, novamente, o uso do Sistema de Comunicação Veicular poderia aumentar a eficiência energética do veículo elétrico híbrido, assim como aconteceu com o veículo puramente elétrico. A diferença entre os dois cenários foi de aproximadamente 21.5%:

Distance Traveled	mile	5,47	5,23
Fuel Economy	mile/gallon	76,52	62,96
CO2 Emission	g/mile	157,74	191,7
Load Specific Fuel Economy	gallon/100mileton	1,98	2,41
Load Specific CO2 Emission	g/kmton	148,51	180,49
Fuel Economy Gasoline Equivalent	mile/gallon	76,75	63,16
Electrical Consumption	W.h/mile	21,99	10,56
Initial SOC	%	70	70
Final SOC	%	61,76	63,85
Delta SOC	%	-8,24	-6,15
Regen Braking Energy Recovered at Br	W.h	-71,55	-402,78
Regen Braking Energy Available at Whe	W.h	-107,54	-523,99
Total Braking Energy at Wheel	W.h	-111,27	-548,37

Figura 5.3: Tabela de Resultados da Simulação de Um Modelo Híbrido Elétrico

$$\% = \frac{|63.16 - 76.75|}{63.16} \times 100 = 21.5\% \quad (2)$$

Este valor é menor quando comparado com o resultado dos veículos puramente elétricos, mas continua representando um notável aumento no FEGE destes modelos.

A figura 5.4 mostra o consumo cumulativo de combustível para os dois ciclos de condução. Apesar ter levado mais tempo para completar o trajeto, o segundo padrão consumiu menos combustível durante o tempo acumulado de simulação do que o primeiro *driving cycle*; enquanto o segundo ciclo de condução consumiu 0.2kg de combustível, o primeiro consumiu 0.235kg. Este resultado reafirma claramente o melhor aproveitamento energético dos modelos híbridos quando considera a existência de um Sistema Comunicação Veicular. Além disso, como no segundo o consumo de combustível é inferior, pode-se concluir que o impacto ambiental neste cenário é ainda menor que o atual.

5.2 Comparação Entre Valores Simulados e Parâmetros Dos Modelos Reais

Nesta parte do projeto será feita uma comparação entre os resultados de consumo energético obtidos através das simulações do segundo padrão de condução para os dois modelos simulados com os resultados de consumo energético para modelos reais. É importante destacar que os

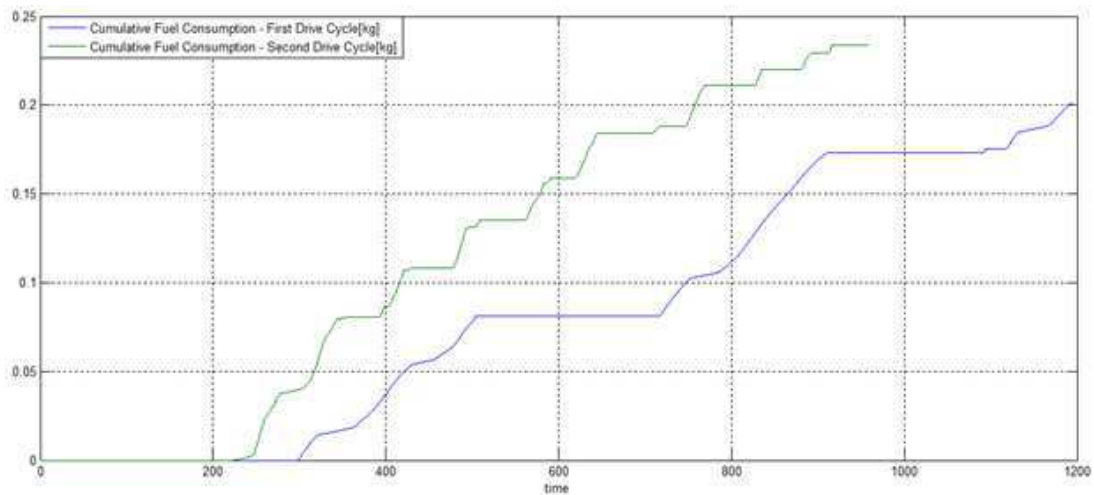


Figura 5.4: Consumo Cumulativo de Combustível. Sem ITS (verde) e com ITS (azul)

modelos simulados apresentam as mesmas topologias apresentadas nos modelos reais aos quais serão comparados.

5.2.1 Modelo Elétrico Simulado x Ford Focus Electric

Os resultados obtidos com a simulação do segundo ciclo de condução (considerando a existência do ITS) em um modelo elétrico puro no Autonomie foram comparados com os resultados apresentados por um carro real.

O modelo escolhido para ser usado nesta seção é um dos modelos puramente elétricos mais populares do mercado mundial atualmente, o Ford Focus Electric. Baseado em informações da própria montadora (Ford), este veículo tem um conjunto de baterias de refrigeração líquida de íon-lítio com armazena cerca de 23kWh, e tem uma autonomia de cerca de 76 milhas, o que resulta em um gasto de aproximadamente 302W.h/milha.

Considerando os resultados encontrados na simulação, se um Sistema de Comunicação Veicular fosse implementado no futuro, o consumo médio de um carro elétrico seria cerca de 172W.h/milha (considerando as tecnologias atuais). Assim, levando em consideração uma bateria capaz de armazenar 23kWh (como a do Ford Focus), a nova autonomia seria de aproximadamente 133 milhas ao invés das 76 milhas anteriores, um aumento de:

$$\% = \frac{|76 - 133|}{76} \times 100 = 75\% \quad (3)$$

Este é um resultado bastante significativo que reafirma a importância de um Sistema de Transporte Inteligente para o aumento da eficiência energética dos veículos elétricos no futuro.

Finalmente, um estudo conduzido pela universidade de Delaware em 2010 afirma que a média diária dirigida nos Estados Unidos é de aproximadamente 50 milhas (quando dias de não-uso são excluídos) [7]. É verdade que este valor é alcançado pelos carros elétricos atuais, mas o mesmo estudo alega que apenas uma autonomia de 100 milhas poderia satisfazer a necessidade diária de uma parcela de até 95% da população americana [7]. Este resultado não poderia ser atingido pelo modelo atual do Ford Focus considerando a tecnologia convencionalmente empregada (considera-se que este modelo é um dos mais energeticamente eficientes carros elétricos do mercado mundial atualmente), mas poderia ser atingido caso um Sistema de Comunicação Veicular fosse adotado no futuro. Este fator representa um argumento complementar para adoção desta tecnologia no futuro.

5.2.2 Modelo Híbrido Elétrico Simulado x Toyota Prius c

A segunda análise foi feita entre o modelo híbrido elétrico simulado no Autonomie e o carro híbrido elétrico mais famoso do mercado mundial, o Toyota Prius c. Este modelo foi lançado no Japão em 1997 e representa a maior parte das vendas de carros híbridos no mundo atualmente; suas vendas cumulativas no mercado internacional chega a alcançar o número de 3,67 milhões de veículos vendidos até março de 2012 [9]. Baseado em dados fornecidos pela Agência De Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), o modelo Prius c é um mais energeticamente eficientes do mercado (excluindo modelos puramente elétricos e modelos plug-in elétricos), com um consumo de combustível combinado de cerca de 50 milhas por galão [12], além de ser um dos carros mais bem conceituados ecologicamente emitindo apenas 179 CO₂ g/ milha.

Estes números foram comparados com os resultados da simulação para um carro híbrido série/paralelo (modelo idêntico ao do Toyota Prius c). Na simulação, é observado um consumo de cerca de 76.75 MPG. Este valor representa uma diminuição de cerca de 53.5% no consumo do Toyota Prius nos moldes atuais:

$$\% = \frac{|50 - 76.75|}{50} \times 100 = 53.5\% \quad (4)$$

Ainda, modelo simulado apresenta uma emissão de CO₂ de apenas 157.74 CO₂ g/milha. Este valor corresponde a uma diferença de 13.55% entre os dois cenários:

$$\% = \frac{|179 - 157.74|}{179} \times 100 = 13.55\% \quad (5)$$

Novamente, o cenário onde um Sistema de Transporte Inteligente é adotado parece ser bem mais energeticamente eficiente do que a situação atual, onde esta tecnologia ainda não foi implementada. Além de aumentar a economia de combustível, no resultado simulado, o modelo apresenta uma emissão de CO₂ consideravelmente inferior aos valores registrados atualmente, como ser visto acima.

Capítulo 6

Conclusões

Este projeto visou analisar como a adoção de um Sistema de Transporte Inteligente no futuro poderia ajudar a aumentar a eficiência energética dos carros híbridos e elétricos. Primeiramente, uma breve visão geral acerca da tecnologia foi apresentada, mostrando suas características e apresentando uma explicação sucinta sobre como essa comunicação poderia acontecer. Depois, a metodologia de trabalho foi apresentada: o uso da ferramenta de simulação (o Autonomie) e como os ciclos de condução foram idealizados e desenvolvidos com o objetivo de simular uma situação cotidiana onde o sistema de comunicação existiria e onde ele não estaria presente (circunstância atual). Por último, os resultados de simulação foram apresentados para dois diferentes modelos: um carro puramente elétricos e outro híbrido elétrico. As simulações foram realizadas no Autonomie utilizando os modelos predefinidos de automóveis do programa (um elétrico e outro híbrido), mudando apenas os parâmetros de simulação que resultaria nos dois cenários idealizados. Finalmente, os resultados do cenário mais energeticamente eficiente, onde o ITS é considerado, foram comparados com números apresentados por modelos reais: Ford Focus Electric e Toyota Prius c.

Os resultados mostraram claramente que um Sistema de Comunicação Veicular poderia otimizar a eficiência energética dos carros híbridos e elétricos atuais. O consumo combinado de combustível e energia e a emissão de CO₂ (para o caso do modelo híbrido) atingiram valores bastante consideráveis em ambos os casos (tanto quando comparadas as duas situações simuladas, quanto quando compara-se a melhor situação simulada com os valores de um modelo real).

Os números finais provaram, de maneira preliminar, que um Sistema De Comunicação Veicular poderia ajudar a economizar combustível e energia no transporte terrestre do futuro. Porém, não existe consenso sobre como essa tecnologia poderia ser implementada; se os carros iriam se mover sozinhos (sem a interferência direta do homem e sendo o sistema de controle o responsável pela movimentação) ou se os dados do ITS seriam simplesmente apresentados para o condutor e este seria o único responsável por tomar a decisão final de como agir. De qualquer modo, o processo estudado nesse projeto abre caminho para combinar os Sistemas de Transporte Inteligente com as pesquisas relacionadas com eficiência energética dos transportes terrestres.

Algumas tecnologias que permitem a introdução de um ITS ou estão em desenvolvimento ou já chegaram a ser implementadas em fase experimental. Um exemplo disso é o caso de um sistema chamado de ADAP RP (*Advanced Driver Assistance Systems Research Platform*), desenvolvido pelo NAVTEQ [1]. Este sistema pode prever o consumo energético de um veículo ao longo de uma rota real especificada pelo usuário, através do mapeamento dessa rota e informações de tráfego. Alguns parâmetros das instruções do ADAP RP são velocidades "alvo" e número de paradas .

Capítulo 7

BIBLIOGRAFIA

[1] PAPIIDIMITRATOS, Panos and De La Fortelle, Arnaud and Evenssen, Knut, **Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation** IEEE Communication Magazine, pp. 84-95, November, 2009.

[2] EICHLER, Stephan, **Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard**, 2007.

[3] WARD, Jacob. **Light-duty-vehicle fuel consumption, cost and market penetration potential by 2020**. Apresentado na Conferência EV26 em Maio de 2012. Disponível em: <<http://www.autonomie.net/docs/>>. Acessado em: 30 de Março de 2013.

[4] AZIZ, Abdul. **Performance Analysis of Power Split Hybrid Electric Vehicles Using Autonomie**. Apresentado na Conferência Estudantil de Pesquisa e Desenvolvimento do IEEE em 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/>>. Acessado em: 30 de Março de 2013.

[5] KARBOWSKI, Dominik (2012, May). **Energy Consumption Prediction of a Vehicle along a User-Specified Real-World Trip**. Apresentado na Conferência EV26 em Maio de 2012. Disponível em: <<http://www.autonomie.net/docs>>. Acessado em: 30 de Feve-

reiro de 2013.

[6] ROUSSEAU, Aymeric (2010, November). **Using Modeling and Simulation to Support Future Medium and Heavy Duty Regulations**. Apresentado no 25o Simpósio Mundial de Baterias, Híbridos e Células de Combustível em Novembro de 2010.

[7] S. PEARRE, Nathaniel and Kemptona, Willett and L. Guensler Randall and V. Elango, Vetri, **Electric vehicles: How much range is required for a day?s driving?**. Dezembro de 2010.

[8] Agência de Energia Internacional. **Global EV Outlook ? Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020**. Abril de 2013.

[9] C. DAVIS, Stacy and W. Diegel Susan and G. Boundy Robert. **Transportation Energy Data Book** 31o Edição. Oak Ridge, Tenesse. Oak Ridge National Laboratory, 2012.

[10] Departamento de Transporte dos Estados Unidos. **ITS Strategic Research Plan 2010-2014**.

[11] <http://corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2012-13/environment-products-plan-migration-bev>. Acessado em: 15 de Outubro de 2013.

[12] <http://www.epa.gov/fueleconomy/overall-high.htm>. Acessado em: 15 de Outubro de 2013.

[13] CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro, Ferreira, Tiago Toledo. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES SETORIAL 32, pag 267 - 310.

[14] Agência de Energia Internacional (IEA). **World Energy Outlook**. Paris: IEA, 2009.

[15] <http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/CarroEletrico2005.pdf>.

Acessado em: 16 de Outubro de 2013.

- [16] <http://cdn.intechopen.com/pdfs/18661.pdf>. Acessado em: 17 de Outubro de 2013.