

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Caio Kaipper Fernandes

**AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NA
OPERAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Avaliador:
Defesa: dia 02/07/2013 às 09:30 horas
Local: UFRGS / Instituto Eletrotécnico Osvaldo Aranha, 103, Salão de Eventos
Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem- vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.

Porto Alegre
Junho de 2013

CAIO KAIPPER FERNANDES

**AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NA
OPERAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Orientador: Flávio Antônio Becon Lemos

Porto Alegre
Junho de 2013

CAIO KAIPPER FERNANDES

AVALIAÇÃO DA INSERÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS NA OPERAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO ELETRICISTA e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Coordenador da disciplina Projeto de Diplomação Engenharia Elétrica (ENG4029) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 02 de Julho de 2013

Prof. Flávio Antônio Becon Lemos
Dr. Eng. – Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador

Prof. Altamiro Amadeu Susin
Coordenador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Roberto Chouhy Leborgne (UFRGS)
Ph.D. pela Chalmers Tekniska Högskola – Suécia

Prof. Sérgio Luis Haffner (UFRGS)
Dr. Eng. pela UNICAMP

Prof. Flávio Antônio Becon Lemos (UFRGS)
Dr. Eng. pela Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a meus familiares e amigos que sempre me apoiaram e, especialmente durante o período do meu Curso de Graduação, estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor orientador, Flávio Lemos, pelo apoio, paciência, conhecimentos e incentivos passados, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Luiz e Amarilis, e a minha irmã, Isabel, por todos os momentos e peripécias desfrutadas juntos, por sempre estarem ao meu lado, por entenderem e apoiarem meus momentos de ausência.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial, aos meu avós, Dirceu e Marlize, e a meu tio, Carlos Henrique, por todos os momentos de alegria compartilhados e por sempre acreditarem em mim, tornando possível o sonho de estudar 1 ano na Universidade Politecnico di Torino, na Itália.

Agradeço, por fim, aos meus amigos e amigas, por todas as viagens, aventuras, festas e histórias compartilhadas até o momento e que ainda estão por vir.

*“Into the distance, a ribbon of black
Stretched to the point of no turning back”
– David Gilmour*

RESUMO

Com a crescente preocupação pela preservação do meio ambiente, a demanda por tecnologias limpas e renováveis vêm ocupando um espaço de cada vez maior destaque na Engenharia. A poluição atmosférica tem alcançado níveis alarmantes e tem como um de seus principais contribuintes os veículos movidos a gasolina. Sob este ponto de vista, uma das alternativas mais interessantes para contornar este problema é a sua substituição pelos veículos elétricos. Por conseguinte, este trabalho versa sobre o atual nível tecnológico, custos, incentivos e desempenho dos veículos elétricos. Analisa também o impacto causado por esses veículos à uma rede de distribuição de energia elétrica e demonstra os benefícios financeiros alcançados pelos usuários.

Palavras-chave: Veículos Elétricos, Smart Grids, Sistemas de Carregamento, Impactos na Rede e aos Usuários.

ABSTRACT

With the increasing concern over the preservation of the environment, the demand for clean and renewable technologies are occupying an increasingly prominent space in engineering. Air pollution has reached alarming levels and has as one of its main contributors the gasoline-powered vehicles. In this respect, an interesting alternative to surpass this problem is their replacement for electrical vehicles. Therefore, this paper focuses on the current technological levels, costs, incentives and performance of electrical vehicles. Also, examines the impact caused by these vehicles on an electrical power grid and demonstrates the financial benefits achieved by users.

Keywords: Electrical Vehicles, Smart Grids, Charging Systems, Impacts on the Grid and benefits to Users.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carro Elétrico com apenas 1 motor	21
Figura 2 – Carro Elétrico com 2 motores	21
Figura 3 – Carro Elétrico Híbrido Série	23
Figura 4 – Carro Elétrico Híbrido Paralelo	24
Figura 5 – Carro Elétrico Híbrido Série-Paralelo	25
Figura 6 – Estado de Carga (SOC) por ciclos de vida de baterias	26
Figura 7 – Nível Tecnológico das Baterias	28
Figura 8 – Carregamento Baterias Li-Íon	29
Figura 9 – Exemplo de Curva de Carga Típica de Consumidor Residencial	31
Figura 10 – Distribuição no Tempo do <i>Peak Charging</i>	36
Figura 11 – Distribuição no Tempo do <i>Off-Peak Charging</i>	37
Figura 12 – Distribuição no Tempo do <i>Smart Charging</i>	37
Figura 13 – Viagem GM Volt a Porto Alegre/ Gramado	48
Figura 14 – Comparativo entre os Veículos	54
Figura 15 – Rede Exemplo utilizada	59
Figura 16 – Rede no horário crítico das 18h	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre Rede Elétrica atual e Smart Grid	33
Tabela 2 – Níveis de Carregamento	34
Tabela 3 – Custo Mensal de Leasing de Baterias do Nissan Leaf na Europa	41
Tabela 4 – Média de Custo de Propriedade do Nissan Leaf nos EUA	43
Tabela 5 – Média de Custo de Propriedade do Mitsubishi I-MiEV nos EUA	43
Tabela 6 – Média de Custo de Propriedade do Chevrolet Volt nos EUA	44
Tabela 7 – Média de Custo de Propriedade do VW Gol Ecomotion 1.0 no Brasil	45
Tabela 8 – Consumo dos Veículos	54
Tabela 9 – Custo Total dos Veículos por ano	55
Tabela 10 – Modelo de Tarifas cobradas na Região residencial	56
Tabela 11 – Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 sem a inserção de Carros Elétricos	80
Tabela 12 – Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 com a inserção de Carros Elétricos e venda de 80% da energia ao escritório	82
Tabela 13 – Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 com a inserção de Carros Elétricos e venda de 60% da energia ao escritório	84
Tabela 14 – Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 com a inserção de Carros Elétricos e venda de 20% da energia ao escritório	86

LISTA DE SIGLAS

CO₂ – Gás Dióxido de Carbono

HC – Gás Hidrocarboneto

NO_x – Óxidos de Nitrogênio [x = 1, 2, 3, etc.]

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

VE – Veículo Elétrico

UC – Ultra Capacitores

SOC – State of Charge

AMI – Advanced Metering Infrastructure

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

GM – General Motors

VW – Volkswagen

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 MOTIVAÇÃO	15
1.2 OBJETIVO	15
1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
1.3.1 Trajetória dos Carros Elétricos	16
2 VEÍCULOS ELÉTRICOS	19
2.1 VEÍCULOS PURAMENTE ELÉTRICOS	20
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS	21
2.3 BATERIAS	24
2.3.1 Tipos de Baterias Disponíveis Atualmente	26
2.3.2 Reciclagem de Baterias	28
3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	30
3.1 SMART GRIDS	31
3.2 SISTEMAS DE CARREGAMENTO	33
3.2.1 Carregamento Não Coordenado (Peak Charging)	35
3.2.2 Carregamento Parcialmente Coordenado (Off-Peak Charging)	36
3.2.3 Carregamento Coordenado (Smart Charging)	37
4 ANÁLISE DE CASO E CUSTOS	38
4.1 INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS	38
4.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO VEÍCULOS	39
4.2.1 Nissan Leaf	39
4.2.2 Mitsubishi I-MiEV	40
4.2.3 Chevrolet Volt	40
4.3 CUSTO DOS VEÍCULOS	41
4.3.1 Custo Nissan Leaf	41
4.3.2 Custo Mitsubishi I-MiEV	42
4.3.3 Custo Chevrolet Volt	43
4.4 CUSTO DE PROPRIEDADE	43
4.5 CUSTO DA CARGA	46
5 SIMULAÇÕES DE CONSUMO E ANÁLISES	47
5.1 SIMULAÇÃO DE CONSUMO: VIAGEM GRAMADO	47
5.1.1 GM Volt	48
5.1.2 Nissan Leaf	49
5.1.3 Mitsubishi I-MiEV	49

5.2 SIMULAÇÃO DE CONSUMO: VIAGEM TORRES	49
5.2.1 GM Volt	49
5.2.2 Nissan Leaf	50
5.2.3 Mitsubishi I-MiEV.....	50
5.3 SIMULAÇÃO DE CONSUMO: VIAGEM URUGUAIANA	51
5.3.1 GM Volt	51
5.3.2 Nissan Leaf	52
5.3.3 Mitsubishi I-MiEV.....	52
5.4 COMPARAÇÃO DE CONSUMO	53
6 SIMULAÇÃO DE UM CENÁRIO DE CARGA (COMPRA) E DESCARGA	
(VENDA) EM UMA REDE EXEMPLO	56
6.1 IMPACTO FINANCEIRO AO USUÁRIO	57
6.1.1 Uso de 20% da Carga para Deslocamento	57
6.1.2 Uso de 40% da Carga para Deslocamento	57
6.1.3 Uso de 80% da Carga para Deslocamento	58
6.2 IMPACTO ENERGÉTICO EM UMA REDE EXEMPLO	58
6.2.1 Análise do Impacto Energético em uma Rede Exemplo	59
7 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	64
ANEXO A	68
ANEXO B	74
ANEXO C	80

1 INTRODUÇÃO

A cada dia evidencia-se mais a necessidade do desenvolvimento de novas soluções energéticas, menos poluentes e mais eficientes. A questão da preservação do meio ambiente não pode mais ser ignorada, uma vez que o aumento das emissões de gases e o uso de combustíveis fósseis têm sido a principal causa de danos à atmosfera. Dentre as fontes de emissão, os automóveis encontram-se entre as mais significativas formas de poluição.

Doenças respiratórias e cardiovasculares são as principais consequências à população de centros urbanos com altos índices de poluição. Um estudo [1] mostra que os moradores desses centros possuem uma redução da expectativa de vida. Em grandes metrópoles, os custos relacionados à poluição foram taxados a valores de $R\$/kg$, segundo relatório da Associação Nacional de Transportes Públicos em parceria com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [2]. A emissão de CO_2 foi taxada a $R\$ 0,19/kg$, enquanto a de HC a $R\$ 1,14/kg$, e a de NO_x a $R\$ 1,12/kg$, sendo que as demais partículas foram definidas com o valor de $R\$ 0,91/kg$.

Além dos problemas relacionados à emissão de poluentes de veículos automotores, a questão da mobilidade urbana e suas consequências (ruídos, congestionamentos, etc) tem sido uma constante preocupação, principalmente nas grandes metrópoles. Uma alternativa interessante para abordar esse problema é o desenvolvimento da tecnologia de veículos elétricos, mais especificamente carros elétricos. Suas vantagens vão desde a emissão zero de gases poluentes, passando pelo silêncio do motor e indo até uma economia de cerca de 80% do dinheiro gasto em combustíveis fósseis. Além disso, um motor elétrico pode apresentar um rendimento superior a 90%, enquanto um motor a combustão não ultrapassa a marca de 50%. Devido a isso, diversas montadoras de automóveis realizam, hoje, projetos e protótipos de carros puramente elétricos e/ou híbridos, a fim de conquistar esse mercado novo e emergente. Dentre os principais, encontram-se o Nissan Leaf [3], o GM Volt [4], Tesla Roadster [5], Toyota Prius Plug In [6] e o Renault Zoe [7].

No entanto, com as atuais tecnologias empregadas e economicamente viáveis, ainda existem desvantagens do carro elétrico quando comparado aos automóveis movidos a combustíveis

fósseis. A questão da autonomia não pode ser deixada de lado, assim como o atual nível tecnológico das baterias.

Portanto, observa-se que existem ainda empecilhos no caminho dos carros elétricos se tornarem uma tecnologia plenamente inserida no nosso dia a dia. O principal deles, talvez, reside no fato de como seria o comportamento dos atuais sistemas de distribuição de energia elétrica ao impacto de carros elétricos sendo carregados em suas respectivas garagens e/ou em postos de recargas nas cidades. Quais as vantagens/desvantagens de um carro elétrico ser utilizado como um “armazenador móvel de energia”? Como melhorar a vida útil das baterias? Qual a alternativa mais eficiente para amenizar estes impactos e trazer mais confiabilidade para o sistema elétrico? Perguntas como essas deverão ser respondidas através de novas pesquisas e são a chave para a popularização da mobilidade sustentável.

1.1 MOTIVAÇÃO

A realidade dos veículos elétricos está cada vez mais próxima de acontecer. Diversos profissionais espalhados por todo o planeta buscam alternativas e desenvolvem melhorias nas atuais tecnologias dos carros elétricos.

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos dos Estados Unidos (*IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers*) tem a expectativa de que dentro dos próximos 5 a 10 anos toda garagem dos Estados Unidos com 2 boxes terá um carro híbrido e/ou um carro puramente elétrico estacionados [8]. Haverá uma variedade de combustíveis para locomover os veículos híbridos e a capacidade de conectar os carros puramente elétricos na rede tornará possível a operação eficiente dos mesmos pelas pessoas.

1.2 OBJETIVO

Dentro desse contexto, este trabalho está dividido em duas partes. Inicialmente é realizada uma pesquisa bibliográfica e uma abordagem teórica de aspectos que envolvem carros elétricos, apresentando análises e comentários sobre vantagens e desvantagens. Na sequência, são avaliados aspectos da inserção de carros elétricos na rotina de operação de um sistema de distribuição de energia elétrica. São realizadas simulações e análises utilizando uma rede exemplo para ilustrar diversos efeitos da conexão de carros elétricos.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO

A tentativa de introdução de carros elétricos como meios de transporte vem sendo abordada há muito tempo. Tendo como líder histórico os Estados Unidos da América, a indústria automobilística foi moldada pelos interesses e preocupações do século passado, quando ainda não existiam questões ambientais, problemas com poluição, dependência de petróleo e déficit na balança comercial. Conforme os anos foram passando e a demanda por veículos foi aumentando, novos problemas e complexas discussões começaram a surgir. De tal forma que, hoje, é necessária uma solução inovadora e adequada para tais conflitos.

1.3.1 TRAJETÓRIA DOS CARROS ELÉTRICOS

No final do século XIX e início do século XX, a mobilidade elétrica era mais comum que a mobilidade a gasolina nos Estados Unidos e na Europa. O sucesso dos bondes elétricos e dos primeiros sistemas metroviários e ferroviários elétricos foi a base de sustentação desses veículos. A eletricidade era julgada ideal para os automóveis, pois eliminava dispositivos complexos de motores a gasolina, ruídos, vibrações e calor associado ao processo de combustão.

Contudo, não demorou muito para os veículos a gasolina passarem na frente em termos de popularidade. Devido à autonomia alcançada pelos automóveis elétricos ser inferior à metade daquela alcançada pelos concorrentes a gasolina, somado ao fato do descobrimento de grandes poços de petróleo no Texas, e além de terem um custo operacional e de investimento inicial menor, os carros à motor de explosão se tornaram muito mais atrativos ao consumidor.

A partir do surgimento do motor de arranque elétrico para veículos movidos a gasolina, os carros elétricos teriam caído no esquecimento, não fosse por Thomas Edison. Por entre os anos de 1912 e 1925, Edison aperfeiçoou a tecnologia das baterias de níquel-ferro tornando-as mais eficazes em armazenar energia [9]. A vida útil dessas baterias também aumentou, enquanto que os custos de manutenção diminuíram. Isso, no entanto, só foi significativo na área de pequenas empresas de entregas, que trabalhavam com pequenos caminhões e que podiam ter a sua disposição centrais de recarga de baterias.

Até os anos 1960, nada foi investido sobre a tecnologia de carros elétricos devido à falta de motivação. Porém, a partir dessa década, a poluição produzida pelos automóveis sobre áreas

urbanas começou a ser notada e tornou-se uma preocupação frequente. Foram lançados incentivos à produção de veículos elétricos nos Estados Unidos e Europa, com o objetivo de que esse tipo de veículo fizesse frente aos concorrentes a gasolina. Dessa forma, surgiram o Ford Comuta e o GM 512, ambos carros puramente elétricos americanos [9]. Mas ainda longe de alcançarem as velocidades típicas de uma autoestrada e com uma autonomia muito similar à do início do século, cerca de 60 km em trajetos urbanos (exceto pelo protótipo europeu da Renault que ultrapassava 100 km), essas tentativas falharam. A motivação de redução dos níveis de poluição das cidades não era suficientemente forte para justificar a utilização de uma tecnologia inferior.

Em meados de 1970, com a chegada da crise do petróleo, o desenvolvimento de carros elétricos ganhou novos incentivos. As preocupações com relação ao futuro dos transportes eram mundiais. Uma conferência internacional se propôs a discutir “O desenvolvimento dos veículos elétricos”. Entretanto, alguns argumentos contrários surgiram, conforme artigo sobre a evolução do carro elétrico [9]:

- a) *“Os efeitos dos carros elétricos sobre a poluição podem ser mistos. A redução nas emissões dos automóveis poderá ser acompanhada pelo aumento das emissões nas usinas termoelétricas que queimam combustíveis fósseis para produzir energia elétrica. Além disso, uma regulamentação mais restritiva nas emissões dos automóveis poderá fazer com que os mesmos deixem de ser os principais poluidores.”*
- b) *“O sucesso dos carros elétricos e híbridos irá afetar os custos de diversos tipos de matérias-primas, dependendo dos tipos de baterias que vierem a se tornar dominantes. Em certas circunstâncias, o aumento da importação de matérias-primas poderá ser maior que a redução na importação de petróleo.”*

Assim, apesar das iniciativas governamentais, os consumidores continuavam não vendo razões para comprar carros elétricos lentos e de baixa autonomia, mesmo após a crise do petróleo.

Embora não se tornando uma realidade ainda, a semente dos veículos elétricos havia sido plantada e crescia consideravelmente. No final da década de 80, os automóveis elétricos começaram a ter um progresso tecnológico expressivo. Ganhavam cada vez mais apoio ao redor do mundo e novos argumentos passaram a surgir [9]:

- a) *“O fato de o petróleo continuar sendo queimado nas usinas termoelétricas centrais não é necessariamente um problema, pois esta queima ocorre com maior eficiência energética do que a queima realizada em um automóvel.”*
- b) *“Outros tipos de combustíveis podem ser usados em usinas termoelétricas, tais como o carvão, o gás natural e mesmo combustíveis nucleares. Estes outros combustíveis podem diminuir a emissão global de poluentes atmosféricos (em relação ao petróleo).”*
- c) *“Existem usinas hidroelétricas que não fazem uso de combustíveis fósseis.”*
- d) *“Os controles de poluição podem ser implementados de uma forma bastante eficaz em usinas elétricas centralizadas, sendo difícil alcançar os mesmos patamares de desempenho em uma frota imensa de automóveis.”*

Dessa maneira, diversas montadoras de veículos ao redor do mundo iniciaram o desenvolvimento de novas tecnologias para carros elétricos. E, em 1997, foi lançado no Japão o primeiro automóvel híbrido, o Toyota Prius. Utilizando uma combinação entre o motor à combustão e o motor elétrico para seu funcionamento, o Prius tornou-se um ícone ao desenvolvimento de motores e à mobilidade sustentável. Seguindo o fluxo do desenvolvimento de tecnologias verdes, a Nissan, em 2010, foi a primeira montadora a fabricar em larga escala um modelo puramente elétrico, o Nissan Leaf [10].

2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Motores elétricos são, teoricamente, as unidades propulsoras ideais. Altamente eficientes, não poluidores, pequenos, silenciosos e com excelentes características torque \times velocidade. Todavia, sob o contexto de um carro, esses aspectos positivos não constituem vantagem do ponto de vista prático, uma vez que as limitações das baterias como fontes de energia são muito grandes. A gasolina possui uma densidade energética de aproximadamente 12500 Wh/kg . Em comparação, uma bateria de chumbo-ácido convencional consegue armazenar apenas 25 Wh/kg . Além disso, o tempo de carga das baterias leva cerca de 6 a 12 horas enquanto que um tanque de gasolina leva de 2 a 3 minutos para ser preenchido.

Apesar de a gasolina ser um excelente combustível, ela também traz consigo problemas. A eficiência dos motores a combustão é muito baixa, especialmente em baixas rotações. Assim, para se compensar a baixa aceleração de um veículo a motor a explosão, sobredimensiona-se o respectivo motor garantindo sua maior aceleração. No entanto, esse sobredimensionamento acentua ainda mais sua ineficiência e sua emissão de poluentes. Por conseguinte, uma das alternativas encontradas para se atender a todos os interesses desejados foi a concepção de carros híbridos, que serão abordados posteriormente.

Infelizmente, o desenvolvimento tecnológico de baterias atualmente ainda não é suficiente para garantir uma autonomia semelhante à de um automóvel movido à gasolina. Contudo, grandes descobertas vêm sendo atingidas e já é possível visualizar um futuro com carros puramente elétricos fazendo longas viagens.

Um exemplo disso é a inclusão de Ultra-Capacitores (UC) como fonte alternativa de energia [11]. A bateria de um veículo elétrico é capaz de armazenar grandes quantidades de energia, no entanto, não é capaz de fornecer uma grande quantidade de potência em um tempo curto. Ultra-capacitores possuem baixa capacidade de armazenamento de energia, contudo fornecem uma alta potência e um rápido tempo de carga e descarga. Como uma unidade ultra-capacitiva tipicamente possui $2.5 - 3.0 \text{ V}$ em modo carregado, UCs são conectados em série de modo a atingir o nível de $300 - 400 \text{ V}$ para serem utilizados em veículos elétricos.

Um aumento na eficiência energética pode ser alcançado utilizando-se baterias menores, com um menor pico de potência de saída. O banco de baterias é usado para suprir a grande quantidade de potência requerida às cargas mais leves, aumentando assim a eficiência,

enquanto que o banco de UC é usado para satisfazer as necessidades de aceleração e frenagem regenerativa do VE.

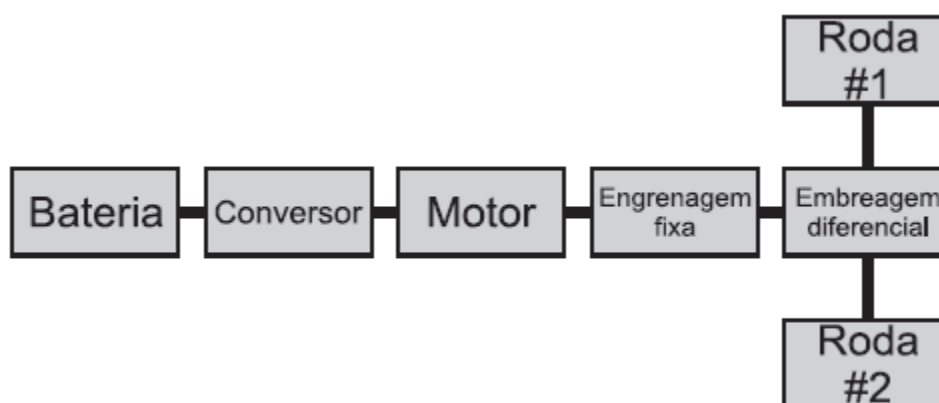
A combinação de baterias e UCs resulta na redução de tamanho e peso de todo sistema de armazenamento de energia. Juntos, eles conseguem suprir as necessidades de armazenamento e corrente de pico que veículos elétricos demandam. Esse cenário ajuda, ainda, a aumentar a vida útil das baterias. Isso é atingido pela conexão das duas fontes energéticas em paralelo.

2.1 VEÍCULOS PURAMENTE ELÉTRICOS

Automóveis elétricos são aqueles acionados por pelo menos um motor elétrico. Atualmente, esses veículos são considerados zero emissões, em outras palavras, caracterizam-se por zero ruído, zero emissões de poluentes, zero vibrações.

Uma das configurações mais simples de um automóvel elétrico é mostrada na figura 1.

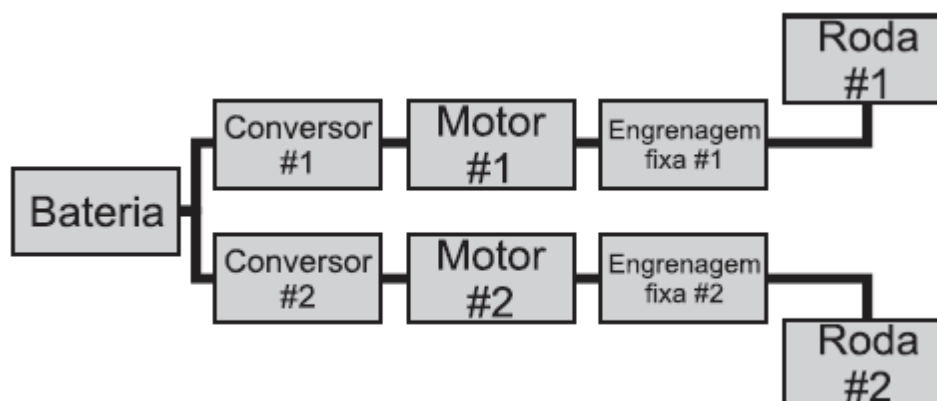
Figura 1 – Carro Elétrico com apenas 1 motor.



(Fonte: A Evolução do Carro Elétrico, 2005, p. 7)

Um grupo de baterias tem sua energia CC convertida para CA para acionamento do motor elétrico. Em seguida, um conjunto de embreagens se encarrega de passar a energia mecânica às rodas. Essa topologia pode ser alterada pela inclusão de outro motor, conforme a figura 2.

Figura 2 – Carro Elétrico com 2 motores.



(Fonte: A Evolução do Carro Elétrico, 2005, p. 7)

Em relação a automóveis elétricos, a autonomia está relacionada diretamente à capacidade de armazenamento do sistema de baterias. Sob esse ponto de vista, a frenagem regenerativa é de extrema importância. Por isso, são considerados torques de frenagem suficientemente altos associados a elevadas correntes de carga de baterias.

A capacidade da utilização de pequenos e potentes motores elétricos é recente e tem ajudado o conceito de veículos elétricos a avançar bastante. Para seu funcionamento, os VEs possuem motores de alto torque que vencem facilmente o peso total do sistema, que é mais leve que o de um carro convencional. Somando a isso, encontra-se o fato de fabricantes de motores elétricos estarem usando avançadas ferramentas de modelagem para maximizar a densidade de energética em motores menores. Arranjos de ímãs permanentes também têm auxiliado o aumento da eficiência desses motores, assim como têm diminuído seu tamanho. Através de modelagens 3-D, fabricantes de VE estão tornando seus veículos mais leves, melhorando aerodinâmica e diminuindo o arrasto. Isso tudo possibilita os carros elétricos a irem pouco a pouco mais longe [12].

Hoje temos o Nissan Leaf com um motor elétrico síncrono de 80 kW (107 hp), o Mitsubishi I-MiEV [13] com um motor síncrono de ímãs permanentes de 49 kW (66 hp).

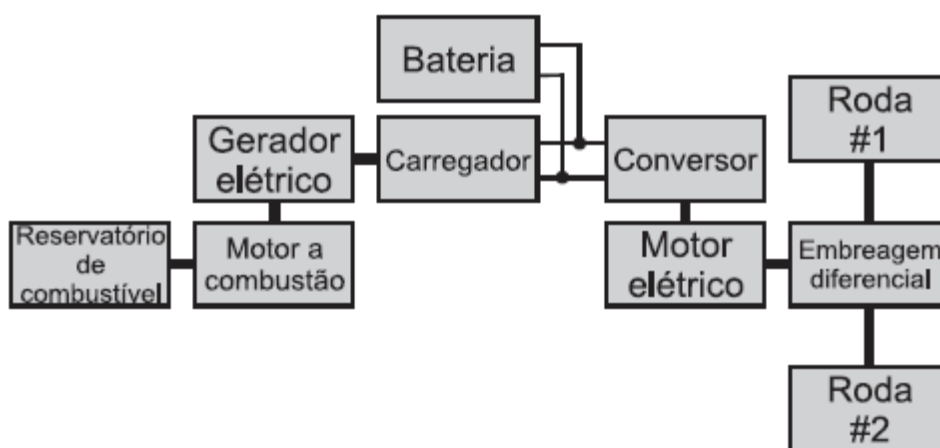
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS

Apesar de motores elétricos serem essenciais para VEs serem considerados zero emissões, é importante lembrar que ainda existem outras soluções. Diversos tipos de combustíveis estão

sendo usados para abastecer veículos que possuem motores elétricos em seu funcionamento. Não tão verdes quanto se gostaria, mas ainda assim menos poluentes, esses automóveis são chamados de veículos elétricos híbridos.

A definição “híbridos” consiste em nomear aqueles veículos que são acionados por pelo menos um motor elétrico e um motor a combustão. Existem inúmeras concepções de construção de carros híbridos. As mais utilizadas são os modelos “série”, “paralelo” e “série-paralelo”. O modelo “série” é representado pela figura 3.

Figura 3- Carro Elétrico Híbrido Série.



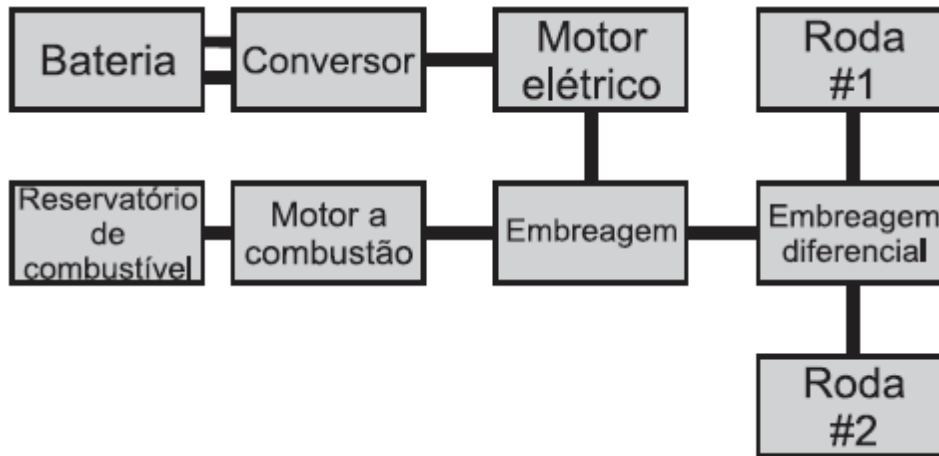
(Fonte: A Evolução do Carro Elétrico, 2005, p. 8)

Observa-se o uso de apenas um motor elétrico para tração do veículo. Um motor a combustão alimenta um gerador elétrico e esse, por sua vez, carrega as baterias e abastece por meio de um conversor o respectivo motor elétrico. Logo, nota-se que o fornecimento de energia deste motor ocorre por meio de duas fontes diferentes, um banco de baterias e um gerador elétrico.

Sistemas de controle a bordo gerenciam os fluxos de potência para o motor elétrico, conforme o modo de operação do carro. De tal modo que, sendo necessária uma alta aceleração, ambas as fontes de energia são utilizadas para a mobilidade do veículo. Em contra partida, em momentos de frenagem do automóvel, o banco de baterias será energizado tanto pelo gerador quanto pela energia cinética do carro, instante esse em que o motor elétrico passa a se comportar também como gerador elétrico.

Um outro modelo de carro híbrido, dessa vez chamado de “paralelo”, pode ser representado pela figura 4.

Figura 4 – Carro Elétrico Híbrido Paralelo.



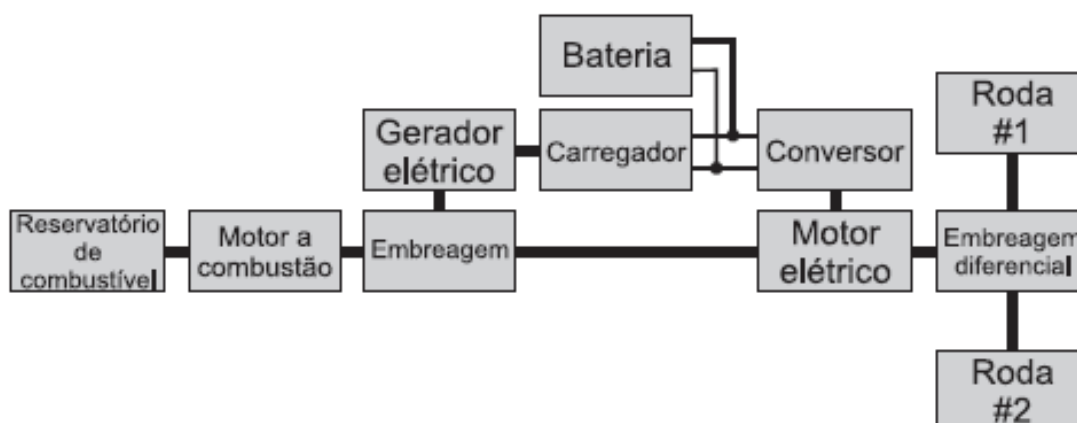
(Fonte: A Evolução do Carro Elétrico, 2005, p. 8)

Neste caso, a embreagem possui papel fundamental no meio de propulsão do automóvel. Através dela, tanto o motor a combustão quanto o motor elétrico podem ser desconectados do sistema, possibilitando uma atuação de forma alternada na tração das rodas.

Na concepção de carro híbrido paralelo também é possível recarregar as baterias através da inversão de funcionamento do motor elétrico para gerador elétrico, utilizando-se tanto a energia cinética do veículo em momentos de frenagem ou descidas quanto o motor a combustão.

Há ainda o modelo “série-paralelo”, representado pela figura 5. Seu funcionamento é análogo aos outros dois modelos. Uma embreagem permite que o motor a combustão abasteça tanto o motor elétrico quanto o banco de baterias.

Figura 5 – Carro Elétrico Híbrido Série-Paralelo



(Fonte: A Evolução do Carro Elétrico, 2005, p. 8)

Somado a esses modelos, existe ainda diversas variações de concepções para as estruturas de automóveis elétricos híbridos. Uma dessas variações é o acoplamento de motores diretamente às rodas, fazendo-se uso de 2 motores elétricos no sistema. Além disso, um detalhe a se destacar sobre os carros híbridos são seus sistemas de gerenciamento de energia. Definindo desde a eficiência total do sistema, até a emissão de poluentes, esses sistemas possuem papel fundamental para a operação do veículo.

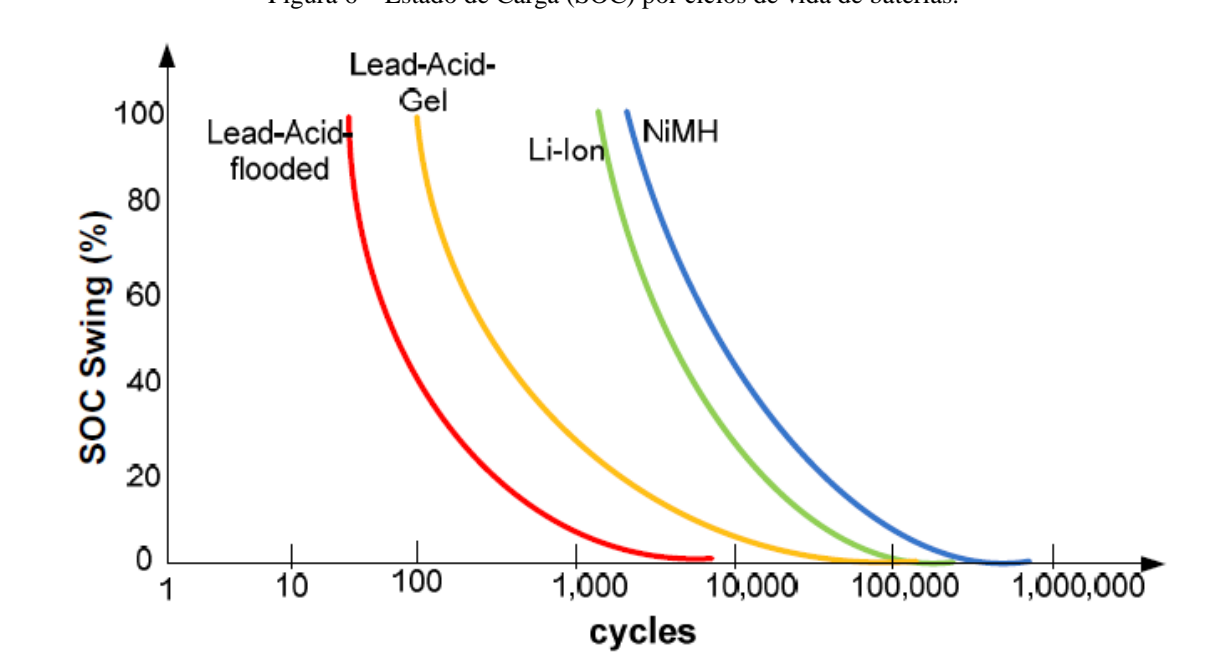
Um detalhe interessante é o funcionamento do Chevrolet Volt, que possui somente um motor elétrico CA trifásico de 111 kW (149 hp), para seu deslocamento. O carro ainda possui um gerador elétrico configurado para apenas energizar as baterias quando elas estão a 30% de sua carga total [14]. Isso o faz um carro elétrico puro enquanto as baterias possuem a carga mínima e um carro elétrico híbrido a partir do momento em que as baterias se desenergizam.

2.3 BATERIAS

A cada ano que passa o desenvolvimento de novas tecnologias para baterias vem crescendo. Mais eficientes, mais leves, menores, com maior vida útil e menor tempo de carga, elas se tornam cada vez mais adequadas ao uso em veículos elétricos. A figura 6 ilustra o estado de carga de 4 tipos de bateria, em função da duração de ciclos de sua vida útil. O estado de carga (SOC) de uma bateria é definido como o percentual de carga remanescente no veículo no momento em que ele chega a uma estação de recarga. O SOC de um automóvel é determinado

baseando-se na quantidade de quilômetros percorridos e pelo seu respectivo alcance máximo elétrico. Esta grandeza é expressa como um percentual da carga total.

Figura 6 – Estado de Carga (SOC) por ciclos de vida de baterias.



(Fonte: Smart Power Grids, 2011, p. 325)

O desafio das companhias desenvolvedoras de baterias encontra-se em aumentar a densidade energética das mesmas. A tecnologia baseada em Li-ion tem mostrado os melhores resultados até o momento, exceto em termos de custo de produção. Nos dias de hoje, o preço chega ao redor de 600 a 700 € por *kWh*, ou seja, uma bateria de 20 *kWh* pode chegar a custar 14000 €, isso muitas vezes ultrapassa o valor de produção de um carro pequeno comum. No entanto, a expectativa é de que no ano de 2020 os preços caiam à metade.

Outro avanço a se destacar é o progresso no setor de sensores para baterias. A GE está desenvolvendo um sensor de fibras óticas, do tamanho de um filme fino, que pode ser integrado a uma célula de bateria. Esses sensores conseguiriam identificar as menores variações de temperatura, que podem levar ao superaquecimento, ou ainda poderiam ajudar a estimar mais precisamente quanta carga é ainda presente na célula [12].

Para fazer o design de bancos de baterias, engenheiros precisam supercompensar os modelos devido às incertezas quanto à tensão, corrente e temperatura que se encontra o referido banco. Todas essas medidas são captadas por sensores externos às baterias. Portanto, qualquer defeito no meio do banco demoraria muito a ser percebido. Isso poderia causar danos a todo

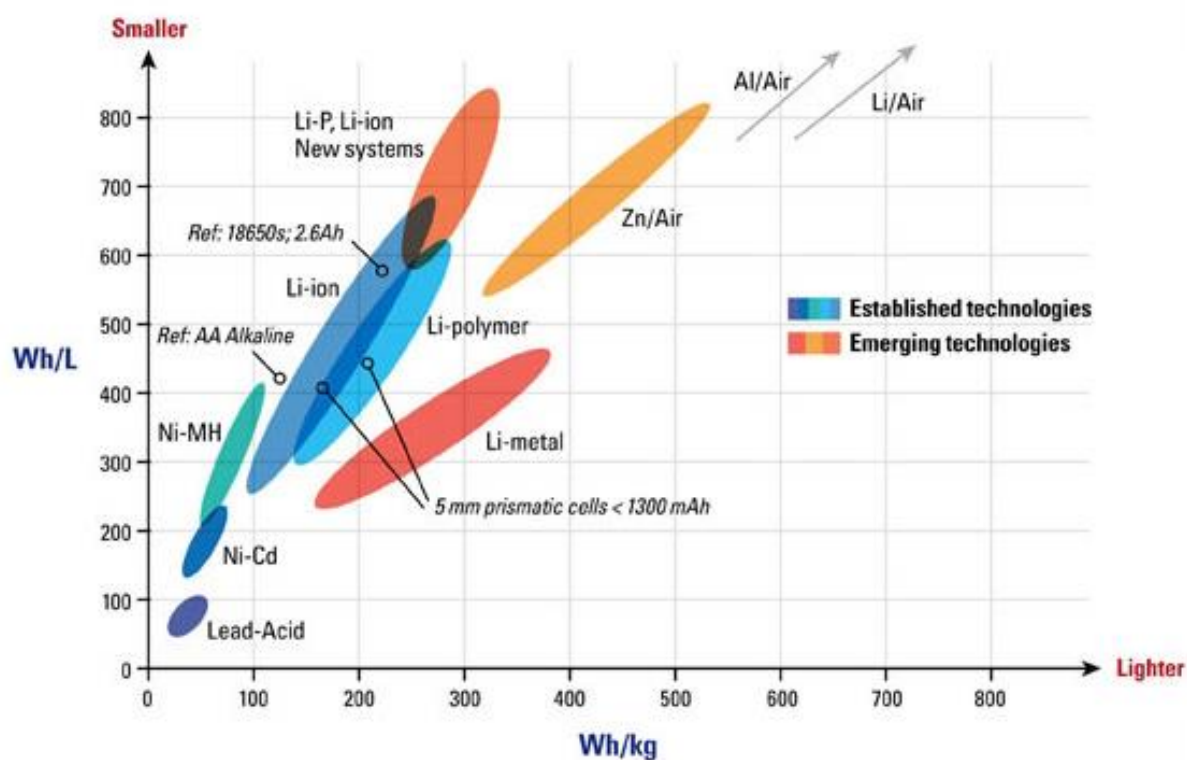
sistema. Desta forma, esses novos sensores tornariam as baterias menores, mais baratas e mais seguras.

Os mais novos VE sendo produzidos na Ford, Chevrolet e Nissan atingiram o limite de 100 milhas por carga (aproximadamente 160 km por carga). Baterias em laboratório no momento são capazes de fornecer um alcance de 300 milhas por carga para um carro convencional [15]. A partir do momento em que esses números se tornarem uma realidade, as pessoas perderão o medo por autonomia, pois saberão que poderão ir e voltar com a mesma carga das baterias.

2.3.1 TIPOS DE BATERIAS DISPONÍVEIS ATUALMENTE [16]

- **Chumbo Ácido de Ciclo Profundo:** Muito utilizada em diversas aplicações em VE, diferenciando-se da bateria de chumbo ácido comum devido ao fato de possuir vários ciclos. Dessa forma, ela pode carregar e descarregar completamente várias vezes e oferece uma corrente constante. Sua capacidade de duração é em torno de 5.000 ciclos.
- **Níquel Cádmio:** São mais caras que as de chumbo ácido devido ao custo do cádmio, carregam-se rapidamente, possuem densidade de energia maior e um ciclo de vida em torno de 10000 cargas. Contudo, tendem ao superaquecimento, possuem efeito memória e são altamente tóxicas. Alguns países da Europa e o Japão utilizam em VEs.
- **Níquel Metal Hidrado:** Possui material reciclável não tóxico, duração de até 160000 ciclos, fácil manutenção e rápido carregamento, utilizada no Toyota Prius. Contudo, sua densidade energética é baixa.
- **Lítio Íon:** Duração de até 100000 ciclos, baixo efeito memória, energia específica em torno de 200 *Wh/kg*. Esta tecnologia é a mais vantajosa do ponto de vista energético, sendo utilizadas em diversos modelos de carro elétricos, incluindo o Nissan Leaf. No entanto, possuem alto custo de fabricação e alto superaquecimento.

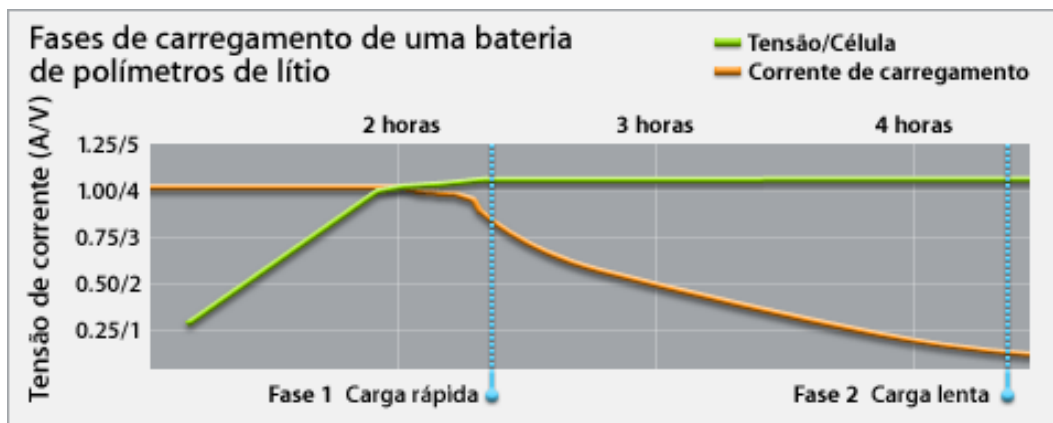
Figura 7 – Nível Tecnológico das Baterias



(Fonte: What is your battery size?, March/2011, p. 1)

Uma curiosidade sobre baterias de Lítio Íon é sobre sua forma de carregamento. Ela pode ser dividida em carga rápida e carga lenta. Os primeiros 80% de carga da bateria são carregados a uma corrente constante, enquanto os últimos 20% têm sua corrente gradualmente menor. Dessa forma, o tempo de recarga dos primeiros 80% de carga são praticamente iguais à recarga dos últimos 20%. Isso ocorre devido aos processos químicos da própria bateria, envolvendo seus eletrólitos (carga rápida) e eletrodos (carga lenta). A figura 8 ilustra o discutido.

Figura 8 – Carregamento Baterias Li-Íon.



(Fonte: <http://www.apple.com/br/batteries/>, 2013, p. 1)

2.3.2 RECICLAGEM DE BATERIAS

Um assunto muito importante a se tratar é o descarte de baterias. Uma vez que o ciclo de vida das células em uso terminarem, serão necessárias novas células para reposição e funcionamento dos veículos. Isso implica na necessidade de métodos de reciclagem que diminuam este impacto ambiental negativo dos carros elétricos. A seguir são listados os atuais métodos de reciclagem, segundo a companhia *Battery Solutions Smart Recycling Made Easy*[17].

- **Reciclagem de Baterias de Chumbo Ácido:** As baterias são quebradas em diversos pedaços por uma máquina e colocadas em um tonel preenchido com um líquido. O chumbo e os materiais pesados caem ao fundo do recipiente enquanto os plásticos flutuam. Nesse momento, os pedaços de polipropileno são recolhidos e o líquido é extraído do tonel, restando somente o chumbo e os metais pesados. Cada material é então separado e tem o seu processo individual de reciclagem.
- **Reciclagem de Baterias de Íon Lítio:** *Essas baterias são 100% recicladas* em um ambiente de alta temperatura livre de oxigênio. O objetivo é transformar os componentes da bateria em 3 produtos específicos finais. São eles: *Concentrado de Sal de Lítio Cobalto, Aço Inoxidável e Cobre, Alumínio e Plástico*. Esses produtos, então, são colocados de volta ao mercado para serem reusados em novos produtos.

- **Reciclagem de Baterias de Níquel-Cádmio e Níquel Metal Hidrado:** Antes do processo de derretimento, separam-se os plásticos dos metais. Os metais são, então, reciclados por meio de um processo de alta temperatura em que os metais pesados (níquel, ferro, manganês e cromo) são fundidos e depois solidificados para serem reusados em novos produtos. Os metais mais leves (zinco e cádmio) separam-se durante o derretimento. *Essas baterias também são 100% recicladas.*

3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

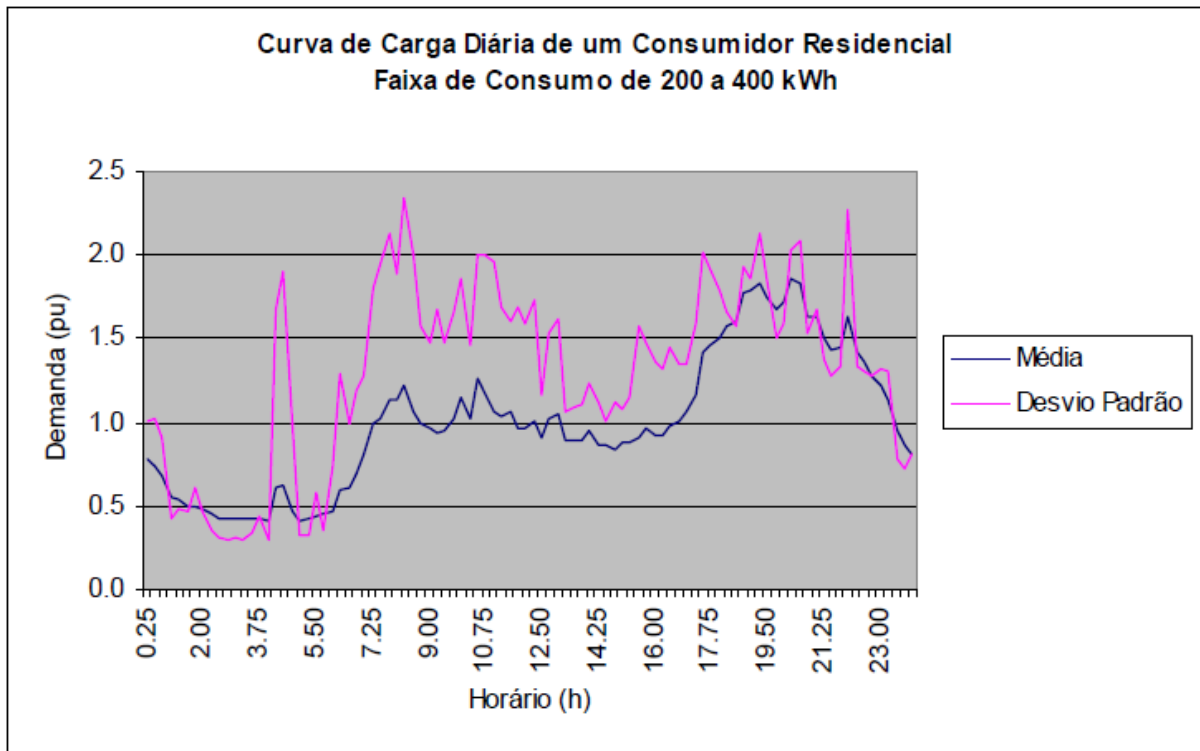
Uma consideração muito importante sobre a implantação de automóveis elétricos nos dias de hoje é o impacto que eles causarão na operação da rede elétrica. Grandes fabricantes de automóveis como Nissan, Mitsubishi e General Motors se preparam para produzir em massa carros elétricos plug-in. A sociedade não pode se basear na promessa de que milhares de veículos elétricos irão simplesmente se acomodar na rede elétrica de seus países apenas através de um carregamento noturno e da melhor utilização das usinas e plantas geradoras de energia ociosas. É preciso garantir que os circuitos sejam robustos o suficiente para suportar essas cargas adicionais, o que inclui condutores e transformadores.

Carros elétricos necessitam de muita potência, especialmente quando carregados em modo rápido. Cada carregamento de nível 2, como será apresentado em seguida, consome até 6.6kW. Ligar 2 ou 3 carregamentos de nível 2 poderiam sobrecarregar transformadores de distribuição de média/baixa tensão, cortando a energia local de abastecimento. Isto seria o equivalente a ligar 3 novas casas ao abastecimento elétrico de uma vizinhança, com luzes, máquinas de lavar e ar condicionado ligados.

Dessa forma, a inclusão de VEs precisa ser estudada e analisada, pois há a preocupação de que o seu carregamento traria dificuldades à atual rede de distribuição, causando, no mínimo, sérios problemas locais. Cabe ressaltar ainda a imprevisibilidade de onde e quando este tipo de veículo irá efetuar o carregamento das suas baterias.

Uma curva de carga típica para consumidores residenciais com consumo mensal entre 200 e 400 kWh é apresentada na figura 9. Nota-se que a média de maior consumo diária ocorre no horário que abrange das 18h às 22h, enquanto que o menor consumo estende-se pelo período noturno.

Figura 9 – Exemplo de Curva Carga Típica de Consumidor Residencial.



(Fonte: Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição, 2001, p. 50)

Dessa forma, existem diferentes impactos que a inserção de automóveis elétricos pode causar ao sistema de distribuição, de acordo com a hora em que eles são conectados à rede e de acordo com a forma com que são carregados.

3.1 SMART GRIDS

Outro assunto importante de se destacar são as soluções que a evolução da atual estrutura da rede elétrica para a estrutura de rede inteligente (Smart Grid) trará aos sistemas de energia elétrica. A tecnologia energética tem um papel central na economia e no desenvolvimento da sociedade. A rede de eletricidade está em uma era de transição de uma rede de distribuição passiva e unidirecional para uma rede ativa e bidirecional. A reestruturação da atual rede elétrica irá facilitar a integração eficiente do comportamento e das ações de todos seus usuários, assegurando um sistema de energia sustentável de baixas perdas e de alta qualidade e eficiência energética. Além disso, as preocupações com o aquecimento global aceleraram o mercado de exploração de energias limpas e renováveis. De tal forma que, hoje, a tecnologia

se move na direção em que qualquer consumidor de energia pode, também, tornar-se fornecedor dela. Existe até um conceito para esta situação, chamado de Prosumer [18].

É sob este contexto que entra o conceito de Smart Grids. O uso de Smart Grid tornaria possível para seus usuários priorizarem o uso de sua energia baseados em suas rotinas, necessidades e preferências, sem deixar de lado o valor do custo da energia mitigando, assim, despesas. Os benefícios dessa nova rede trariam também a otimização de sistemas de controle para gerenciamento da energia comercial e industrial, através da identificação de horários mais apropriados para operação de certos equipamentos e sistemas. Assim, seria possível diminuir picos de demanda quando o custo da energia é mais caro [19].

Contudo, para assegurar segurança e confiabilidade, é necessário primeiro planejar e administrar efetivamente as instalações e recursos energéticos. A atual rede elétrica é composta de muitos elementos que incluem unidades geradoras, linhas de transmissão, transformadores e disjuntores. Com a chegada de novas unidades geradoras limpas e a implementação da Smart Grid, outros elementos necessitarão serem inseridos e programados para operação, como tecnologias que incluem unidades de carregamento bidirecionais, comunicação entre veículo e centros de administração de energia, unidades inteligentes on board de potência, centros inteligentes de distribuição de energia e unidades medidoras bidirecionais (Smart Meters) [19].

Do ponto de vista dos carros elétricos, o papel da tecnologia de Smart Meters é promover o suporte para a integração dos VEs com a infraestrutura da rede elétrica, provendo controle e monitoração.

A Infraestrutura Avançada de Medição inclui sistemas de hardware e software que conseguem medir, armazenar e processar informações de energia para ambos os consumidores de energia (como por exemplo, cargas de carros elétricos) e produtores de energia (como carros elétricos abastecendo a rede). Isso torna possível a possibilidade de abastecer eventuais picos de demanda com a energia dos carros elétricos. A tabela 1 mostra um comparativo entre as redes discutidas.

Tabela 1: Comparação entre Rede Elétrica atual e Smart Grid

	Rede Elétrica Atual	Smart Grid
Sistemas de Comunicação	Limitado às companhias de energia.	Expandido, tempo real.
Interação com Usuários de Energia	Limitado para grandes consumidores.	Extensivo a grandes números de usuários, comunicação em 2 vias.
Operação e Manutenção	Manual e de despacho.	Monitoramento e diagnósticos distribuídos, preditivos.
Geração	Centralizado.	Centralizado e distribuído, recursos renováveis, armazenamento de energia.
Controle de Fluxo de Potência	Limitado.	Expandido.
Confiabilidade	Baseado em modelos estáticos, off-line e simulações.	Proativo, previsões em tempo real, mais informações dos sistemas.
Restauração	Manual.	Automatizada com controle descentralizado.
Topologia	Majoritariamente radial.	Radial e Malhado.

(Fonte: Smart Power Grids, 2011, p. 12)

3.2 SISTEMAS DE CARREGAMENTO

Os sistemas de carregamento são a interligação entre os veículos elétricos e o sistema de distribuição de energia. São os meios de abastecimento para a nova frota elétrica de carros que está surgindo, o que dá importância crucial a estes sistemas, já que a baixa autonomia de VEs ainda não possibilita sua grande mobilidade. Por conseguinte, devem ser espalhados estrategicamente por todas as cidades e estradas do país.

A tabela 2 apresenta 2 padrões para 3 níveis de carregamento de veículos elétricos, segundo *Electric Power Research Institute em Smart Power Grids 2011* [19].

Tabela 2: Níveis de Carregamento

Nível Padrão	1	2	3
EPRI-NEC	120 VAC, 15 A (12 A), 1.44 kW	240 VAC, 40 A, single-phase	480 VAC, three-phase, 60 to 150 kW
SAEJ1772	120 VAC, 12 A, single- phase, 1.44 kW	208-240 VAC 32 A, single- phase, 6.66-7.68 kW	208-600 VAC, 400 A, three-phase, > 7.68 kW

(Fonte: Smart Power Grids, 2011, p. 333)

- **Nível 1:** Este nível é composto por uma tomada com apenas uma fase, 120 V, 15 A (1.44 kW), principalmente para casas e escritórios de trabalho. Desse modo, a instalação dos equipamentos de carregamento envolvem apenas cabos portáteis com conectores domésticos padrões de 3 pinos em uma das extremidades e um conector para o veículo elétrico na outra extremidade. Este é o nível de carregamento mais lento considerado.
- **Nível 2:** A tensão e corrente para este nível é maior que para o nível 1, porém ainda é composto por uma única fase. Este nível envolve o carregamento em casa ou em pontos públicos de recarga para fornecer 208-240 V, 30-40 A e 6.0-9.6 kW de potência. Os cabos para este caso são semelhantes aos do nível 1. Este é considerado o modo rápido de carregamento.
- **Nível 3:** É considerado o modo ultra rápido de carregamento, pois opera com 3 fases 208-600 V, fornecendo de 60 a 150 kW de potência. Este nível é aplicável a estações públicas e o carregamento dura em torno de 30 minutos. Esse carregamento garante apenas 80% da carga total das baterias de lítio íon, como discutido no item 2.3.1.

Além disso, esses carregamentos podem ocorrer conforme as seguintes maneiras:

- **Carregamento CC:** Este nível é de aplicação ao carregamento rápido em estações públicas, em 480 V CC.

- **Carregamento Condutivo:** Este tipo de carregamento se baseia na conexão direta de metal com metal. Cabos com isolamento são necessários. Os níveis 1 e 2 se utilizam deste método.
- **Carregamento Indutivo:** Este método emprega uma indutância mútua que transfere energia da fonte ao veículo elétrico por meio de um campo magnético. Os níveis 2 e 3 se enquadram mais adequadamente a este caso.
- **Troca de Baterias:** Esta é uma opção alternativa para carregamento na qual as baterias descarregadas são trocadas por novas, carregadas. Isso apresenta tanto vantagens como desvantagens. Uma troca de baterias pode ser feita tão rapidamente quanto um abastecimento de tanque de combustível, o veículo poderia percorrer longas distâncias graças às rápidas trocas e a infraestrutura necessária seria relativamente fácil de ser implementada. No entanto, isso requereria uma padronização do tipo de baterias utilizadas, assim como designs e arquiteturas similares dos fabricantes de carros para o compartimento das baterias. Outro fator negativo desta alternativa seriam o elevado custo de produção para o grande número de baterias circulando, assim como os problemas ambientais relacionados ao descarte das baterias.

Como é muito difícil prever exatamente qual será a forma de carregamento diária de uma frota de carros elétricos, fazem-se suposições baseadas nos hábitos diários dos usuários, a fim de criar situações para otimização do processo. Assume-se que o carregamento rápido e ultra rápido, ou em nível 2 e 3, ocorrem durante o dia, entre as 8h e 18h, e o carregamento lento, ou em nível 1, durante a noite, entre as 20h e 6h.

Dessa maneira, serão discutidos 3 tipos de carregamento distintos: *Peak Charging*, *Off-Peak Charging* e *Smart Charging* [20].

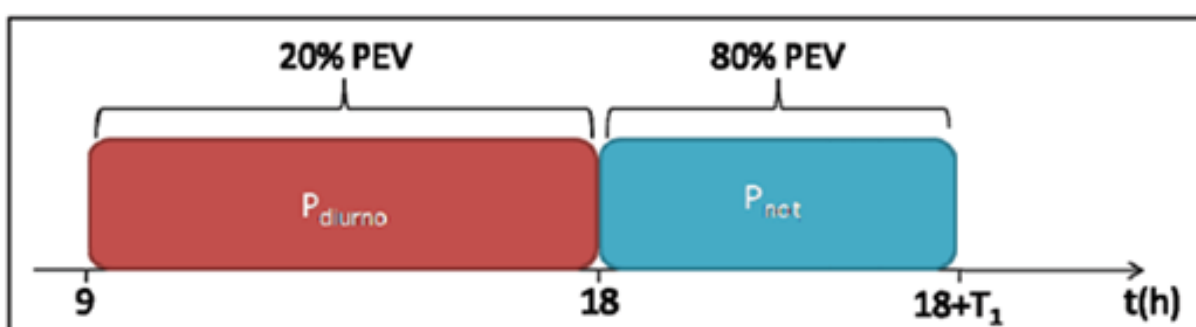
3.2.1 CARREGAMENTO NÃO COORDENADO (PEAK CHARGING)

Este tipo de carregamento é chamado de *Não Coordenado* devido ao fato de não existir qualquer supervisão pela rede distribuidora de energia. O típico usuário de VEs ligaria seu automóvel à rede assim que chegasse a sua casa, após o trabalho, por volta das 18h.

Isso aumentaria a quantidade de cargas no período mais crítico do dia para consumidores residenciais, ou seja, o período entre 18h e 22h como discutido anteriormente. Contudo, o carregamento seria da forma lenta, o qual exige menor pico de potência da rede.

Em termos percentuais, estima-se que 20% do total de usuários VEs carregariam seus veículos em modo rápido, durante o dia. Enquanto que os restantes 80% se limitariam ao carregamento lento, noturno. A figura 10 ilustra o processo, sendo T_1 o tempo de carga do veículo.

Figura 10 – Distribuição no Tempo do *Peak Charging*.



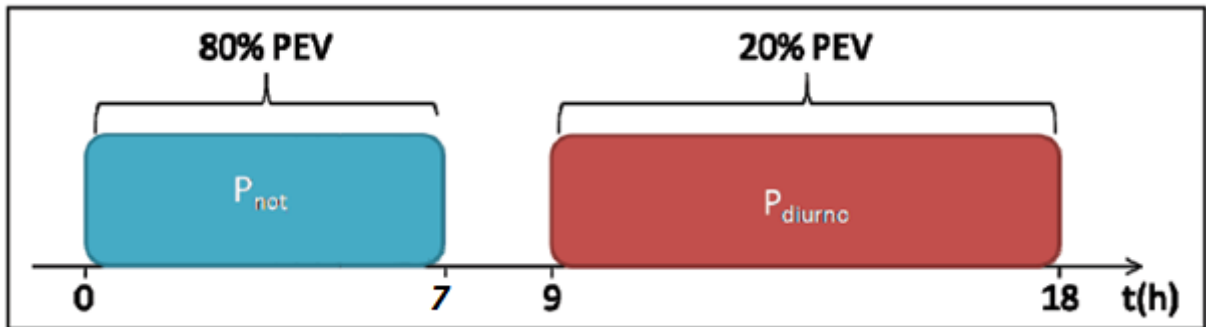
(Baseado em: Integração de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico Nacional, 2010, p. 45)

3.2.2 CARREGAMENTO PARCIALMENTE COORDENADO (OFF-PEAK CHARGING)

Neste caso existem mecanismo e incentivos que potencializam o carregamento lento durante as horas de menor consumo, ou seja, à noite. O período compreendido nesta abordagem vale-se das 0h às 7h.

O usuário terá a sua disposição um sistema de controle com temporizador que iniciará o processo durante o período desejado. Assim, mesmo chegando a sua casa em torno das 18h e colocando seu carro na tomada, o veículo somente será carregado após as 0h.

Em termos percentuais, também se estima que 20% do total de usuários VEs carregariam seus veículos em modo rápido, durante o dia. Enquanto que os restantes 80% se limitariam ao carregamento lento parcialmente coordenado, noturno. A figura 11 ilustra o processo..

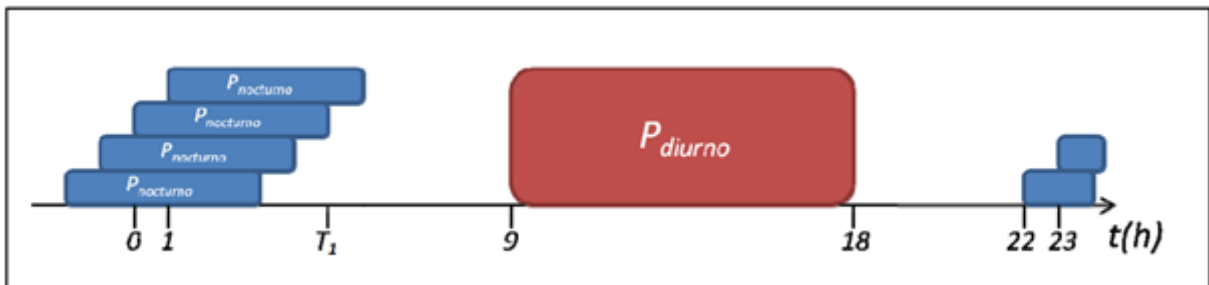
Figura 11 – Distribuição no Tempo do *Off-Peak Charging*.

(Baseado em: Integração de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico Nacional, 2010, p. 47)

3.2.3 CARREGAMENTO COORDENADO (SMART CHARGING)

O carregamento coordenado é gerenciado pela Smart Grid. Com o objetivo de não sobrecarregar a rede, há um faseamento no tempo do número de carros sendo carregados durante a noite. Os veículos são divididos em grupos de carregamento e cada grupo inicia sua operação uma hora após outro ter iniciado, tendo começado o primeiro grupo às 22h. Dessa forma, há uma linearização e otimização do processo.

Em termos percentuais, também se estima que 20% do total de usuários VEs carregariam seus veículos em modo rápido, durante o dia. Enquanto que os restantes 80% se limitariam ao carregamento lento coordenado noturno, conforme discutido. A figura 12 ilustra o processo, sendo T_1 o tempo de carga do veículo.

Figura 12 – Distribuição no Tempo do *Smart Charging*.

(Baseado em: Integração de Veículos Elétricos no Sistema Elétrico Nacional, 2010, p. 48)

4 ANÁLISE DE CASO E CUSTOS

Com o intuito de analisar financeiramente o impacto que os carros elétricos irão causar no “*bolso*” dos consumidores, esta seção abordará desde as especificações e custos dos três principais carros elétricos no mercado, passando pelos incentivos governamentais dados aos automóveis pelos principais países ao redor do mundo, até os custos de manutenção e de carga dos mesmos.

4.1 INCENTIVOS GOVERNAMENTAIS

Diversos países ao redor do mundo têm adotado algum tipo de incentivo fiscal e/ou redução de impostos sobre os carros elétricos a fim de aquecer esse importante mercado emergente. No dia 31 de janeiro de 2013, os Estados Unidos da América oficializaram um programa de incentivo ao veículo elétrico chamado *EV Everywhere* [21]. O objetivo é de, dentro de 10 anos, serem a primeira nação no mundo a produzir VE plug-in que sejam tão acessíveis financeiramente quanto os atuais carros movidos à gasolina hoje. Para isso, algumas metas específicas são:

- Reduzir o custo das baterias dos atuais \$ 500/*kWh* para \$ 125/*kWh*;
- Diminuir em cerca de 30% o peso dos veículos;
- Reduzir o custo dos sistemas de acionamentos elétricos dos atuais \$ 30/*kW* para \$ 8/*kW*;

Além disso, para aqueles carros comprados a partir de 2010 é fornecido um incentivo financeiro de até 7500 dólares de abatimento do imposto de renda pelo governo americano, dependendo da capacidade da bateria utilizada para energizar o veículo [22].

As referências [23] a [25] apresentam uma síntese dos incentivos governamentais explorados neste trabalho. A Noruega é hoje o país com mais carros elétricos per capita do mundo. Os incentivos dados pelo governo norueguês incluem a isenção do Imposto sobre Valor Agregado (IVA), a isenção de taxas rodoviárias e de pedágios em túneis e ‘ferries’, a possibilidade da utilização de corredores de ônibus para locomoção, além de estacionamentos e postos de recarga, por enquanto, gratuitos. A Estônia lançou em 2013 um programa governamental para que 10% do transporte do país se utilizassem de fontes renováveis de

energia. Os incentivos chegam a mil euros por kWh das baterias dos veículos, chegando ao um limite de 50% do valor do mesmo.

A França fornece auxílio para a aquisição de VEs, chegando a um incentivo máximo de 7000 euros e dispensa do imposto anual sobre o veículo. Em determinadas regiões do país, ainda há um incentivo extra no valor de até 5000 euros, totalizando um desconto total de até 12000 euros para a compra de um automóvel elétrico. Ainda, a Inglaterra adotou programas de incentivos financeiros para estimular as vendas de carros movidos à eletricidade, os descontos sobre o valor chegam a 6000 euros por veículo, além de isenção de pedágios em estradas e da taxa de congestionamento no centro de Londres.

Na Holanda, os carros elétricos são isentados do imposto de circulação e de registro. O país está desenvolvendo uma rede de carregamento para sua frota de veículos elétricos, além de promover incentivos ao leasing dos veículos. Somente no ano de 2012, foram vendidos 7500 automóveis movidos à eletricidade na Holanda, em detrimento aos veículos movidos à gasolina que registraram uma queda de 30% em suas vendas no mesmo período. Em contraste a tudo isso, a Alemanha apenas isenta os veículos elétricos do imposto anual de circulação por um período de 10 anos da data do primeiro registro.

A lista de países com incentivos a carros elétricos é realmente vasta e englobam desde taxas de crédito, descontos, estacionamento gratuito, até o acesso irrestrito a faixas especiais de ocupação nas vias e estradas.

4.2 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS VEÍCULOS

As características de interesse neste trabalho envolvem os tipos de motores, os tipos de baterias e os tipos de carregamento dos carros elétricos Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV e GM Volt.

4.2.1 NISSAN LEAF [26]

- Motor CA de 80 kW síncrono;
- Baterias de 24 kWh lítio-íon (Li-ion);
- Tempo de Carga Padrão em Casa – Nível 1 (120V / 8A): 26h;

- Tempo de Carga opcional em Casa – Nível 2 (240V / 15A): 7h;
- Tempo de Carga Rápida Pública – Nível 3 (208-600V/ 400A): 30 minutos para 80% da carga;
- Alcance máximo médio de uma carga: 150 km.

4.2.2 MITSUBISHI I-MIEV [27]

- Motor CA de 49 kW síncrono de ímãs permanentes;
- Baterias de 16 kWh, 330 V, lítio-íon (Li-ion);
- Tempo de Carga Padrão em Casa – Nível 1 (120V / 8A): 22h;
- Tempo de Carga opcional em Casa – Nível 2 (240V / 15A): 7h;
- Tempo de Carga Rápida Pública – Nível 3 (208-600V/ 400A): 30 minutos para 80% da carga;
- Alcance máximo médio de uma carga: 180 km.

4.2.3 CHEVROLET VOLT [28]

- Motor CA de 111 kW;
- Gerador 1.4L a gasolina de 54 kW;
- Baterias de 16 kWh, lítio-íon (Li-ion);
- Tempo de Carga Padrão em Casa – Nível 1 (120V / 8A): 12h;
- Tempo de Carga opcional em Casa – Nível 2 (240V / 15A): 4h;
- Tempo de Carga Rápida Pública – Nível 3 (208-600V/ 400A): 30 minutos para 80% da carga;
- Alcance máximo médio de uma carga: 60 km no modo puramente elétrico, e mais 550 km com o gerador abastecendo as baterias.

4.3 CUSTO DOS VEÍCULOS

Baseados nos valores dados pelas montadoras, serão apresentados os custos de 3 carros novos, 100% elétricos, nos EUA, na Europa e no Brasil. São eles: o Nissan Leaf, o Renault Zoe e o GM Volt. Todos os preços pesquisados foram obtidos em Junho de 2013, esses valores podem sofrer alterações ao longo do tempo. Os modelos de carros avaliados são todos do ano de 2013.

Para permitir uma comparação monetária, os valores de câmbio do Banco Central do Brasil [29], na data de 14/06/2013, foram utilizados. São elas:

- Taxa Real/Dólar: 2,1367 REAL-BRASIL (790) = 1 DOLAR-DOS-EUA (220)
- Taxa Dólar/Euro: 1,3327 DOLAR-DOS-EUA (220) = 1 EURO (978)
- Taxa Dólar/Libra Esterlina: 1,5684 DOLAR-DOS-EUA (220) = 1 LIBRA-ESTERLINA (540)

4.3.1 CUSTO NISSAN LEAF

Na Europa, a Nissan revelou um novo modo de estruturar os preços do Leaf através do leasing das baterias. No Reino Unido, o comprador pode escolher comprar o carro e as baterias por £20.990,00 ou somente o carro por £15.990,00, acrescido de no mínimo £70,00 mensais, dependendo do modelo das baterias. Os valores já incluem os descontos fornecidos pelo governo. Na França, o preço do Leaf chega a €25.990,00, somando-se os incentivos do país. Enquanto na Alemanha, o preço do carro parte de €33.990,00 e na Holanda, gira em torno de €32.590,00. Os valores de compra dos veículos são descontados de €5.900,00 para o caso em que o leasing das baterias é optado. A tabela 3 ilustra os valores mensais de leasing.

Tabela 3: Custo Mensal de Leasing de Baterias do Nissan Leaf na Europa, valores convertidos em dólares.

	Até 12.500 km	Até 15.000 km	Até 17.500 km	Até 20.000 km	Até 25.000 km
36+ meses	US\$ 105,28	US\$ 114,61	US\$ 125,27	US\$ 135,93	US\$ 162,59
24 meses	US\$ 118,61	US\$ 127,94	US\$ 138,60	US\$ 149,26	US\$ 175,92
12 meses	US\$ 131,94	US\$ 141,27	US\$ 151,93	US\$ 162,59	US\$ 189,24

(Fonte: New Nissan Leaf customers in Europe now have option to Lease vehicle battery, 2013)

Isso deixa o Nissan Leaf com a faixa de preço em €33.000,00, desprezando-se os incentivos financeiros na hora da compra e o leasing de baterias, na Europa. Isso, em dólares, equivale a US\$43.979,10, segundo a cotação utilizada [29].

Nos Estados Unidos, o modelo S – mais simples e barato – custa US\$27.800,00 sem os descontos de crédito dados pelo governo norte americano, segundo informações da própria montadora. O preço após o abatimento é de US\$21.300,00. Ainda, só a opção de leasing do veículo por US\$199,00 por mês durante 36 meses e com um pagamento inicial de US\$1.999,00. Os valores incluem os incentivos do governo.

No Brasil ainda não é feita a comercialização desses veículos devido ao alto custo da tecnologia e pela falta de infraestrutura do país para o suprimento das necessidades desses automóveis. O prognóstico dado pelo possível valor do carro varia entre R\$80.000,00 e R\$110.000,00 [30]. Isso, em dólares, equivale a US\$37.440,91 e US\$51.481,26, utilizando a cotação referenciada.

4.3.2 CUSTO MITSUBISHI I-MIEV

Nos Estados Unidos da América, o modelo ES Trim custa US\$29.125,00 sem os descontos de crédito dados pelo governo. O preço após o abatimento é de US\$21.625,00. O leasing concedido pela Mitsubishi é de US\$221,00 por mês durante 36 meses, mais US\$3.445,00 pagos na assinatura do contrato.

No Reino Unido, o valor é de £23.990,00, incluindo o subsídio de £5.000,00 de veículos elétricos do governo. Na França, o preço mínimo é de €28.800,00, sem descontos. Na Alemanha, €29.300,00. Na Holanda, €28.460,00. Por conseguinte, a média de preço do i-MiEV na Europa é de €28.850,00, o que em dólares equivale a US\$38.448,39.

No Brasil, o i-MiEV chega a ser vendido por encomenda para grandes empresas, como Petrobrás e Light, pelo valor de R\$200.000,00, ou US\$93.602,28. Diretores da Mitsubishi relatam que a falta de redução tributária e de incentivos por parte do governo brasileiro dificultam muita a produção de veículos elétricos no país [31].

4.3.3 CUSTO CHEVROLET VOLT

Nos Estados Unidos o preço do carro é de US\$39.145,00, com a possibilidade de abatimento para US\$31.645,00. Além disso, a GM oferece a possibilidade do leasing dos veículos por US\$350,00 por mês durante 36 meses, ou 12.000 milhas (19.300 km).

O preço do carro no Reino Unido é de £35.255,00. Como o automóvel se enquadra à política de concessão de carros elétricos do governo britânico, esse valor cai a £30.255,00. Na França custa €43.500,00 menos os €7.000,00 de incentivos. . Na Alemanha, o valor é de €42.950,00, e na Holanda é de €43.695,00. Fazendo a média desses valores, obtemos €41.370,00 como preço médio do Volt na Europa, o equivalente a US\$55.133,80.

Com os encargos do governo brasileiro, os engenheiros da GM acreditam que o carro não chegaria por menos de R\$180.000,00, ou US\$84.242,06.

4.4 CUSTO DE PROPRIEDADE

A revista especializada americana *Motor Trend* divulgou os custos de propriedade do Nissan Leaf, do Mitsubishi i-Miev e do Chevrolet Volt, assim como os parâmetros em que se basearam o estudo [32], [33] e [34], conforme a tabela 3, 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4: Média de Custo de Propriedade do Nissan Leaf nos EUA.

	1° Ano	2° Ano	3° Ano	4° Ano	5° Ano
Manutenção	US\$ 23,00	US\$ 156,00	US\$ 251,00	US\$ 809,00	US\$ 251,00
Reparos	US\$ 0	US\$ 0	US\$ 209,00	US\$ 453,00	US\$ 499,00
Depreciação	US\$ 7.238,00	US\$ 2.701,00	US\$ 2.555,00	US\$ 2.383,00	US\$ 1.953,00
Financiamento	US\$ 988,00	US\$ 782,00	US\$ 569,00	US\$ 356,00	US\$ 127,00
Taxas Estaduais	US\$ 124,00	US\$ 84,00	US\$ 83,00	US\$ 77,00	US\$ 76,00
Seguro	US\$ 1.613,00	US\$ 1.613,00	US\$ 1.613,00	US\$ 1.613,00	US\$ 1.613,00
Total	US\$ 9.986,00	US\$ 5.336,00	US\$ 5.280,00	US\$ 5.691,00	US\$ 4.519,00

(Baseado em: Motor Trend – Ownership Costs, 2013)

Tabela 5: Média de Custo de Propriedade do Mitsubishi i-MiEV nos EUA.

	1° Ano	2° Ano	3° Ano	4° Ano	5° Ano
Manutenção	US\$ 45,00	US\$ 167,00	US\$ 349,00	US\$ 553,00	US\$ 284,00
Reparos	US\$ 0	US\$ 0	US\$ 209,00	US\$ 453,00	US\$ 499,00
Depreciação	US\$ 8.748,00	US\$ 2.427,00	US\$ 2.164,00	US\$ 1.905,00	US\$ 1.636,00
Financiamento	US\$ 941,00	US\$ 754,00	US\$ 548,00	US\$ 337,00	US\$ 122,00
Taxas Estaduais	US\$ 137,00	US\$ 95,00	US\$ 93,00	US\$ 85,00	US\$ 84,00
Seguro	US\$ 1.495,00	US\$ 1.495,00	US\$ 1.495,00	US\$ 1.495,00	US\$ 1.495,00
Total	US\$ 11.366,00	US\$ 4.938,00	US\$ 4.858,00	US\$ 4.828,00	US\$ 4.120,00

(Baseado em: Motor Trend – Ownership Costs, 2013)

Tabela 6: Média de Custo de Propriedade do Chevrolet Volt nos EUA.

	1° Ano	2° Ano	3° Ano	4° Ano	5° Ano
Manutenção	US\$ 145,00	US\$ 204,00	US\$ 145,00	US\$ 914,00	US\$ 273,00
Reparos	US\$ 0	US\$ 0	US\$ 89,00	US\$ 192,00	US\$ 212,00
Depreciação	US\$ 11.606,00	US\$ 3.753,00	US\$ 3.540,00	US\$ 3.165,00	US\$ 2.752,00
Financiamento	US\$ 1.329,00	US\$ 1.053,00	US\$ 766,00	US\$ 479,00	US\$ 171,00
Taxas Estaduais	US\$ 142,00	US\$ 98,00	US\$ 96,00	US\$ 88,00	US\$ 86,00
Seguro	US\$ 1.773,00	US\$ 1.773,00	US\$ 1.773,00	US\$ 1.773,00	US\$ 1.773,00
Total	US\$ 14.995,00	US\$ 6.881,00	US\$ 6.409,00	US\$ 6.611,00	US\$ 5.267,00

(Baseado em: Motor Trend – Ownership Costs, 2013)

As taxas de manutenção incluem os serviços realizados periodicamente nos intervalos sugeridos pelas montadoras, o custo do serviço é baseado sob os padrões de tempo da indústria e das taxas norte-americanas de trabalho. Os preços das peças são baseados na lista de preços das respectivas montadoras.

A categoria Reparos calcula a média dos valores dos contratos de diferentes serviços de reparos que excedam a garantia do veículo. O valor da Depreciação se baseia na

desvalorização anual que o veículo recebe na suposição de que o proprietário fosse vendê-lo após cinco anos. O Financiamento assume 10% de pagamento de um empréstimo de 60 meses e uma taxa anual de juros de 3,69%.

As taxas Estaduais incluem impostos de títulos e registros e são baseados em uma média de todos os estados norte americanos. As taxas estaduais variam de acordo o peso, preço e classe dos automóveis.

O item Seguro levou em consideração:

- Principal motorista possui menos de 65 anos;
- Todos os motoristas possuem mais de seis anos de experiência e nenhum acidente durante este período;
- O veículo é de uso pessoal;

Um detalhe importante é o preço de fabricação das baterias de Íon-Lítio, segundo a Nissan. O chefe de produção da montadora [35] afirma que o valor é de aproximadamente US\$ 750,00 kWh, o que totaliza US\$18.000,00 para o banco de baterias.

A revista brasileira Exame fez uma análise semelhante em relação ao preço do carro de interesse, no caso um Gol Ecomotion 1.0 modelo 2013, conforme a tabela 6.

Tabela 7: Média de Custo de Propriedade do VW Gol Ecomotion 1.0 no Brasil, valores convertidos para dólares.

	Por Ano	Por Mês	Por Dia
Manutenção	US\$ 2.136,70	US\$ 178,05	US\$ 5,92
Combustível (2000 km/mês)	US\$ 10.153,60	US\$ 846,13	US\$ 28,20
Depreciação (10%)	US\$ 5.407,99	US\$ 450,67	US\$ 15,02
Financiamento	US\$ 0	US\$ 0	US\$ 0
Seguro Obrigatório (DPVAT)	US\$ 216,15	US\$ 18,01	US\$ 0,60
Seguro (5%)	US\$ 2.703,99	US\$ 225,31	US\$ 7,52
IPVA (4%)	US\$ 2.163,19	US\$ 180,27	US\$ 6,00
Total	US\$ 22.781,62	US\$ 1898,46	US\$ 63,27

4.5 CUSTO DA CARGA

A energia elétrica no Brasil é tarifada e controlada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Cabe à ANEEL proporcionar um valor justo ao consumidor, como também garantir o equilíbrio econômico-financeiro das respectivas concessionárias de distribuição para que essas ofereçam um serviço de qualidade, confiabilidade e continuidade. As tarifas são medidas em $R\$/kWh$.

Foi aprovada, em novembro de 2011, a alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia. Atualmente, os consumidores pagam uma tarifa única, independente do horário. O novo regulamento prevê a aplicação de tarifas diferenciadas por horário de consumo, oferecendo tarifas mais baratas nos períodos em que o sistema é menos utilizado. A nova sistemática é prevista para entrar em vigor a partir de 2014 [36].

Para fins comparativos, a média brasileira de tarifas residenciais hoje, Junho de 2013, é de $0,30351 R\$/kWh$. Nos Estados Unidos da América, a tarifa residencial média anual é de $0,1172 US\$/kWh$. Na Europa, a média dos países fica em $0,1743 €/kWh$. Vale a pena lembrar que essas taxas podem variar de acordo com os horários e regiões de cada estado/país.

As tarifas de energia elétrica comerciais (classe B3) serão levadas em conta para os carregamentos em estações públicas. Para isso, consultou-se as 3 principais distribuidoras da região do Rio Grande do Sul: RGE [37], CEEE [38] e AES SUL [39]. As tarifas são, para Junho de 2013:

- RGE: $0,32956 R\$/kWh$;
- CEEE: $0,27588 R\$/kWh$;
- AES SUL: $0,26224 R\$/kWh$;

5 SIMULAÇÕES DE CONSUMO E ANÁLISES

A fim de comparar os custos de um carro movido a gasolina e um carro movido a eletricidade na estrada foi criado um cenário em que 3 carros elétricos realizam 3 viagens diferentes. De Porto Alegre a Gramado (104 km), de Porto Alegre a Torres (203 km) e de Porto Alegre a Uruguaiana (631 km). Os valores de consumo desses carros serão posteriormente comparados ao valor de consumo de um carro a gasolina.

O carro a gasolina considerado foi o VW Gol Ecomotion 1.0 2013. O carro possui um reservatório de 51 litros de combustível e tem média na estrada de 14,1 *km/L* de gasolina [55], o que resulta em uma autonomia máxima de 719,1 km por tanque de gasolina. A média do preço de gasolina nas cidades de interesse é, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível [40]:

- Porto Alegre: 2,789 R\$/L;
- Gramado: 2,930 R\$/L;
- Torres: 2,960 R\$/L;
- Uruguaiana: 3,060 R\$/L;

Isso resulta em um consumo de 0,198 R\$/*km* com o veículo sendo abastecido em Porto Alegre, 0,207 R\$/*km* em Gramado, 0,210 R\$/*km* em Torres e 0,217 R\$/*km* em Uruguaiana.

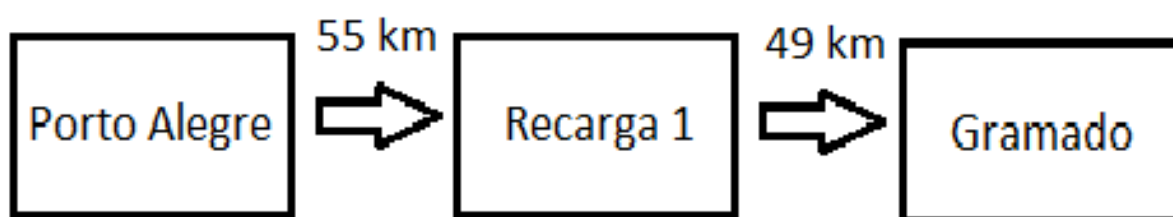
5.1 SIMULAÇÃO DE CONSUMO: VIAGEM A GRAMADO

A primeira viagem considerada é a de Porto Alegre a Gramado. O percurso compreende 104 km pela BR 116. O GM Volt possui um alcance médio de 60 km no modo puramente elétrico em uma carga completa e cerca de 48 km após a primeira recarga. O Nissan Leaf possui alcance médio máximo de 150 km inicialmente e 120 km após a primeira recarga. Já o Mitsubishi I-MiEV faz 180 km com as baterias totalmente carregadas e 144 km após as recargas. A fim de tornar essa simulação mais verossímil, as recargas foram feitas sempre a 5 km antes dos limites de alcance dos carros, por exemplo, o Nissan Leaf faz 145 km inicialmente e 115 km após a primeira parada.

Para esse cenário considera-se que há postos de recarga ao longo de toda estrada e que o carregamento rápido leva em torno de 30 minutos para abastecer 80% da carga total da bateria e que uma carga completa lenta é feita no ponto de partida.

A figura 13 ilustra a viagem percorrida pelo GM Volt, os outros carros não precisariam reabastecer. O posto de recarga 1 encontrou-se próxima da cidade de Dois Irmãos, aonde a distribuidora de energia é AES SUL.

Figura 13 – Viagem GM Volt a Porto Alegre/Gramado.



5.1.1 GM VOLT

Os cálculos de custo da viagem para o GM Volt são:

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh = R\$ 4,41$$

A recarga próxima a Dois Irmãos

$$0,26224 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh \times 0,8 = R\$ 3,35$$

Neste caso, utiliza-se o fator de recarga de 80% da recarga, pois essa é carga máxima obtida em um carregamento ultra rápido, em 30 minutos.

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 7,76. Dividindo esse valor pela distância obtemos um consumo de

$$Consumo = 0,0747 \frac{R\$}{km}$$

5.1.2 NISSAN LEAF

Os cálculos de custo da viagem para o Nissan Leaf são:

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 24 kWh = R\$ 6,62$$

Dividindo esse valor pela distância obtemos um consumo de

$$Consumo = 0,0636 \frac{R\$}{km}$$

5.1.3 MITSUBISHI I-MiEV

Os cálculos de custo da viagem para o Mitsubishi I-MiEV são:

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh = R\$ 4,41$$

Dividindo esse valor pela distância obtemos um consumo de

$$Consumo = 0,0424 \frac{R\$}{km}$$

5.2 SIMULAÇÃO DE CONSUMO: VIAGEM A TORRES

A segunda viagem considerada é a de Porto Alegre a Torres. O percurso compreende 203 km pela BR-290 e pela BR-101. As mesmas condições da primeira viagem são utilizadas aqui.

O GM Volt necessitaria fazer 4 paradas para recarga, enquanto o Nissan Leaf e o Mitsubishi I-MiEV apenas 1. Os cálculos dos custos dessa viagem são:

5.2.1 GM VOLT

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh = R\$ 4,41$$

O recarregamento próximo a Glorinha (RGE) é

$$0,32956 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh \times 0,8 = R\$ 4,21$$

As outras 3 recargas entrariam sob a mesma distribuidora (CEEE) e são calculadas como

$$3 \times 0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh \times 0,8 = R\$ 10,58$$

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 19,20. Dividindo esse valor pela distância, obtemos um consumo de

$$Consumo = 0,0946 \frac{R\$}{km}$$

5.2.2 NISSAN LEAF

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 24 kWh = R\$ 6,62$$

O recarregamento próximo a Terra de Areia (CEEE) é

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 24 kWh \times 0,8 = R\$ 5,29$$

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 11,91. Dividindo esse valor pela distância, obtemos um consumo de

$$Consumo = 0,0587 \frac{R\$}{km}$$

5.2.3 MITSUBISHI I-MiEV

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh = R\$ 4,41$$

O recarregamento próximo a Terra de Areia (CEEE) é

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh \times 0,8 = R\$ 3,53$$

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 7,94. Dividindo esse valor pela distância, obtemos um consumo de

$$Consumo = 0,0391 \frac{R\$}{km}$$

5.3 SIMULAÇÃO DE CONSUMO: VIAGEM A URUGUAIANA

A terceira viagem considerada é a de Porto Alegre a Uruguaiana. O percurso compreende 631 km pela BR-290. As mesmas condições da primeira e segunda viagem são utilizadas aqui.

O GM Volt necessitaria fazer 13 paradas para recarga, enquanto o Nissan Leaf, 5, e o Mitsubishi I-MiEV, 4. Os cálculos dos custos dessa viagem são:

5.3.1 GM VOLT

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh = R\$ 4,41$$

O recarregamento próximo a Eldorado do Sul (CEEE) é

$$0,27588 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh \times 0,8 = R\$ 3,53$$

As outras 12 recargas entrariam sob a mesma distribuidora (AES SUL) e são calculadas como

$$12 \times 0,26224 \frac{R\$}{kWh} \times 16 kWh \times 0,8 = R\$ 40,30$$

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 48,24. Dividindo esse valor pela distância, obtemos um consumo de

$$\text{Consumo} = 0,0764 \frac{\text{R\$}}{\text{km}}$$

5.3.2 NISSAN LEAF

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \times 24 \text{ kWh} = \text{R\$ } 6,62$$

O recarregamento próximo a Pântano Grande (CEEE) é

$$0,27588 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \times 24 \text{ kWh} \times 0,8 = \text{R\$ } 5,29$$

As outras 4 recargas entrariam sob a mesma distribuidora (AES SUL) e são calculadas como

$$4 \times 0,26224 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \times 24 \text{ kWh} \times 0,8 = \text{R\$ } 20,14$$

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 32,06. Dividindo esse valor pela distância, obtemos um consumo de

$$\text{Consumo} = 0,0508 \frac{\text{R\$}}{\text{km}}$$

5.3.3 MITSUBISHI I-MiEV

O carregamento em Porto Alegre custa

$$0,27588 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \times 16 \text{ kWh} = \text{R\$ } 4,41$$

Os 4 recarregamentos entrariam sob a mesma distribuidora (AES SUL) e são calculadas como

$$4 \times 0,26224 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \times 16 \text{ kWh} \times 0,8 = \text{R\$ } 13,43$$

Isso gera um total de custo para a viagem de ida de R\$ 17,83. Dividindo esse valor pela distância, obtemos um consumo de

$$\text{Consumo} = 0,0282 \frac{\text{R\$}}{\text{km}}$$

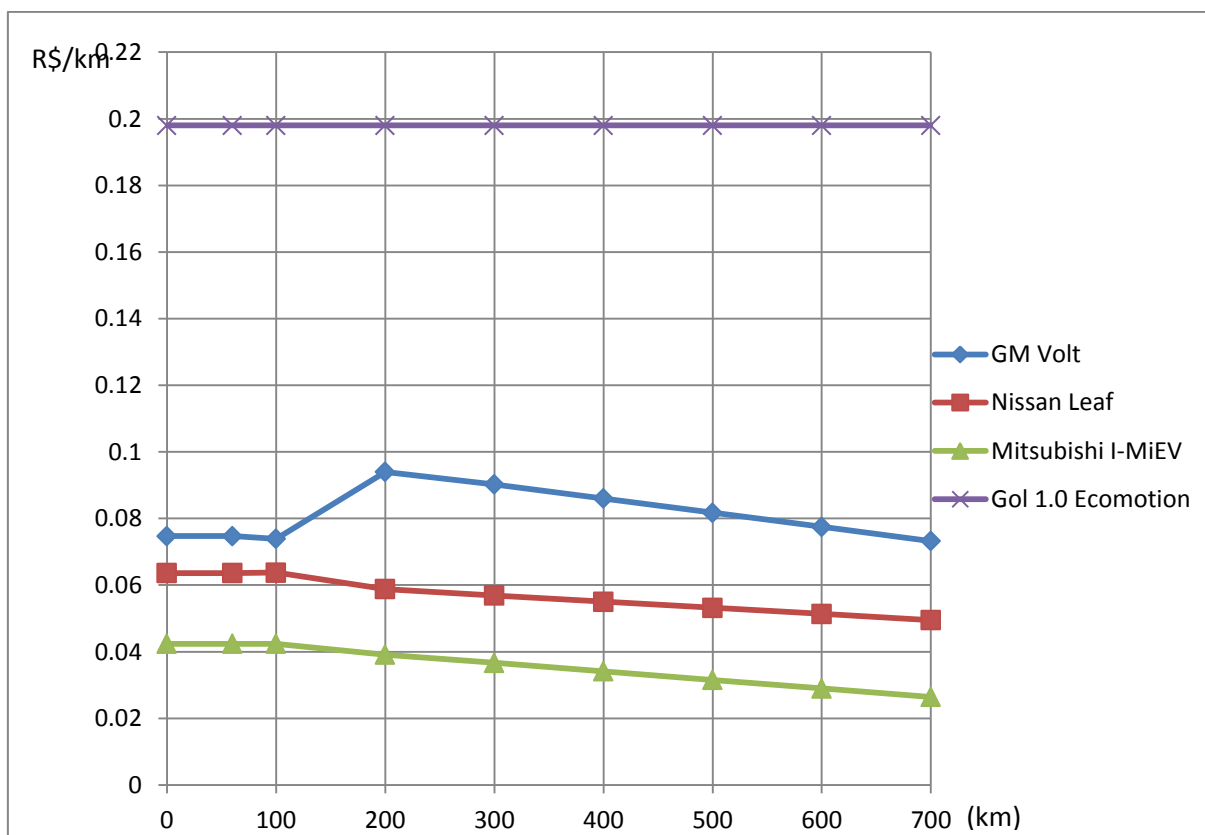
5.4 COMPARAÇÃO DE CONSUMO

Como informado na seção 5, o consumo mais barato de um VW Gol 1.0 Ecomotion é 0,198 R\$/km, quando abastecido em Porto Alegre. Dessa forma, a tabela 8 e figura 14 apresentam os resultados encontrados.

Tabela 8: Consumo dos veículos.

	Consumo (R\$/km): Gramado	Consumo (R\$/km): Torres	Consumo (R\$/km): Uruguiana
GM VOLT	0,0747	0,0946	0,0764
NISSAN LEAF	0,0636	0,0587	0,0508
MITSUBISHI I-MiEV	0,0424	0,0391	0,0282
GOL 1.0 ECOMOTION	0,198	0,198	0,198

Figura 14: Comparativo entre os veículos.



Observa-se que as curvas de consumo dos veículos decrescem com o aumento da quilometragem. Isso ocorre devido às viagens mais longas serem taxadas a preços menores nos cenários escolhidos. Uma vez que AES SUL possui tarifas reduzidas em relação às outras, a viagem a Uruguaiana (631 km) seria mais barata, embora seja a maior distância. Assim como a viagem à Gramado (a mais curta), tendo a distribuidora RGE como a principal durante o percurso, apresentou os consumos mais altos. No caso do GM Volt, pelo menor alcance no modo puramente elétrico, seu consumo é notadamente mais alto por necessitar de um maior número de recargas. Caso as tarifas fossem mantidas constantes, teríamos curvas constantes, como ocorre no caso do Gol.

Contudo, é fácil de visualizar que em nenhum momento os carros elétricos têm suas curvas superiores ao Gol 1.0. O que comprova o fato de que os veículos elétricos são menos onerosos financeiramente aos usuários, chegando a uma média de até 10 vezes mais baratos, considerando sua utilização somente em estradas.

Para a elaboração da tabela 9 foi considerado a conversão $US\$ 1,00 = R\$ 2,1367$, conforme cotação do dia 08/06/2013, e para todos os carros o financiamento foi desconsiderado ou considerado quitado. Para o cálculo do custo de abastecimento foi considerado um deslocamento de 2.000 km por mês por automóvel, utilizando os consumos mais baixos obtidos ao longo das simulações do item 5.

Cabe-se aqui lembrar que a conversão de valores de dólares a reais retira um pouco a verdadeira grandeza de preços que seriam cobrados no Brasil. Contudo a tabela 9 é, ainda, um bom comparativo da ordem de grandeza dos preços de propriedade de tais veículos.

Tabela 9: Custo total dos veículos por ano.

	Média de Custo de Propriedade Anual (US\$)	Custo do Abastecimento (US\$)	Custo Total (US\$)
GM VOLT	8.032,60	1.072,80	9.105,40
NISSAN LEAF	6.162,40	837,60	7000,00
MITSUBISHI I-MiEV	6.022,00	424,80	6.446,80
GOL 1.0 ECOMOTION	12.628,02	10.153,60	22.781,62

6 SIMULAÇÃO DE UM CENÁRIO DE CARGA (COMPRA) E DESCARGA (VENDA) EM UMA REDE EXEMPLO

Com o objetivo de analisar os impactos que a carga e descarga de carros elétricos podem causar na rede, foi criado um cenário em que o usuário do veículo carrega 100% da sua bateria em casa, durante a noite, e vende o máximo possível dessa energia em outro ponto distante de casa, no escritório, por exemplo, deixando apenas a carga necessária para a viagem de volta.

Para essa situação considerou-se baterias de 16 kWh e modelo de tarifas branca, conforme tabelas 9 e 10. A base usada para a tarifa residencial foi de 0,130 R\$/kWh e, para a tarifa comercial, 0,350 R\$/kWh.

Tabela 10: Modelo de Tarifas cobradas na Região da residência.

Período de Consumo		Varição em Relação à Tarifa Padrão	Tarifa cobrada (R\$/kWh)
Segunda-feira a Sexta-feira, com exceção de feriados	0h às 17h	-10%	0,117
	22h às 24h		
	17h às 18h	+20%	0,156
	21h às 22h		
18h às 21h	+40%	0,182	
Finais de semana e feriados	0h às 24h	-10%	0,117

Tabela 11: Modelo de Tarifas cobradas na Região do escritório.

Período de Consumo		Varição em Relação à Tarifa Padrão	Tarifa cobrada (R\$/kWh)
Segunda-feira a Sexta-feira, com exceção de feriados	0h às 17h	-10%	0,315
	22h às 24h		
	17h às 18h	+20%	0,420
	21h às 22h		
18h às 21h	+40%	0,490	
Finais de semana e feriados	0h às 24h	-10%	0,315

Serão analisados 3 variações de cenário. Uma em que o usuário do automóvel utiliza 20% da carga no deslocamento de sua casa até seu escritório, incluindo ida e volta. Dessa forma, será possível vender até 80% da energia de seu automóvel em seu escritório. Em uma outra situação é suposto que 40% dessa energia é utilizada nos deslocamentos, sendo possível a venda dos restantes 60%. E, por último, é suposto ser utilizado 80% da carga nos deslocamentos, restando apenas 20% para venda.

6.1 IMPACTO FINANCEIRO AO USUÁRIO

Para todas as situações consideradas, os carros serão carregados da 0h até às 7h a uma tarifa de 0,117 R\$/kWh. Como o carro considerado utiliza baterias de 16 kWh, isso dá um total de R\$ 1,87 por carga. Ao longo de 1 ano, considerando que o carro é somente usado para nesse cenário por 5 dias na semana, e considerando 4 semanas no mês, isso representa R\$ 448,80 ao longo de 12 meses, ou, 1 ano.

6.1.1 USO DE 20% DA CARGA PARA DESLOCAMENTO

Este caso equivale à venda de 80% da energia ao escritório, no período das 8h às 17h, seguindo o modelo de tarifas da tabela 10, tem-se que

$$\left(16 \text{ kWh} \times 0,315 \frac{\text{R}\$}{\text{kWh}} \times 0,80 \right) = \text{R}\$ 4,03$$

Esse valor gera uma receita, anualmente, de R\$ 967,68, ou, um lucro de R\$ 518,88, no mesmo período, levando em consideração o preço de carregamento do carro em casa.

6.1.2 USO DE 40% DA CARGA PARA DESLOCAMENTO

Este caso equivale à venda de 60% da energia ao escritório, no período das 8h às 17h, seguindo o modelo de tarifas da tabela 10, tem-se que

$$\left(16 \text{ kWh} \times 0,315 \frac{\text{R}\$}{\text{kWh}} \times 0,60 \right) = \text{R}\$ 3,02$$

Esse valor gera uma receita, anualmente, de R\$ 725,76, ou, um lucro de R\$ 276,96, no mesmo período, levando em consideração o preço de carregamento do carro em casa.

6.1.3 USO DE 80% DA CARGA PARA DESLOCAMENTO

Este caso equivale à venda de 20% da energia ao escritório, no período das 8h às 17h, seguindo o modelo de tarifas da tabela 10, dado por

$$\left(16 \text{ kWh} \times 0,315 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \times 0,20 \right) = \text{R\$ } 1,00$$

Esse valor gera uma receita, anualmente, de R\$ 241,92, ou, um abatimento do preço de carga do veículo em casa de R\$ 448,80 para R\$ 206,88, no mesmo período.

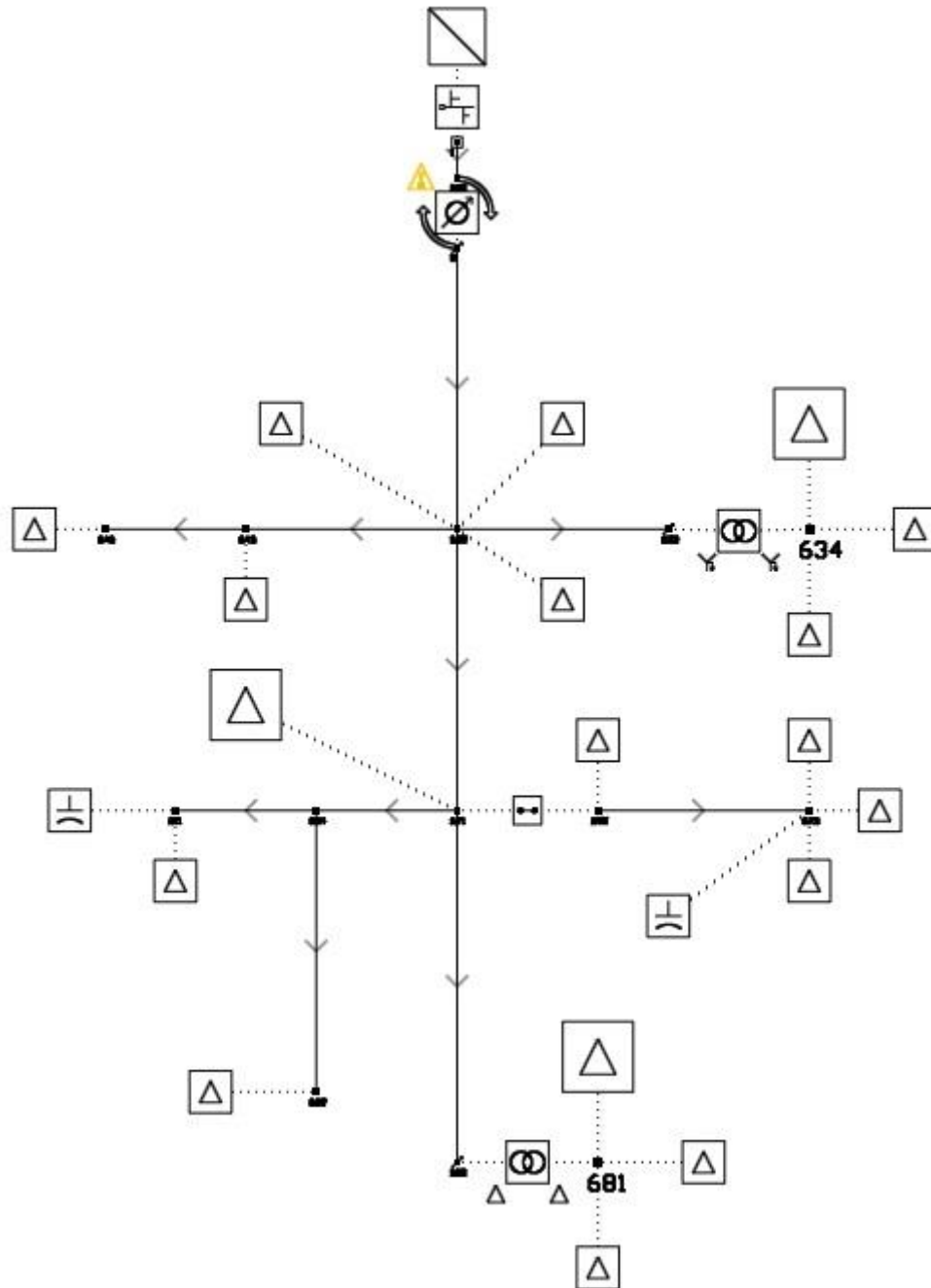
6.2 IMPACTO ENERGÉTICO EM UMA REDE EXEMPLO

Fazendo-se uso do programa simulador PLS®DMS [41], do cenário residência/escritório anterior e utilizando o sistema IEEE 13 nós, situa-se o escritório no nó 634 e a residência no nó 681. Conforme a figura 15.

Como a carga e a descarga ocorrem por fase única, utilizou-se apenas a fase A nessa simulação, que correspondem aos elementos em maior destaque em cada nó de interesse.

Foi considerado que o veículo elétrico carrega a 16 kWh em Nível 2 e, somente ao longo de 7 horas, armazena 100% de sua carga total (é o caso do Mitsubishi I-MiEV). Isso equivale a um total de 2,3 kW demandados por hora de carregamento. Seguindo esta referência, o automóvel irá fornecer 80% de sua carga em 5,6h, 60% em 4,2h e 20% em 1,4h. Ou seja, irá fornecer 2,3 kW nas horas cheias e mais uma fração deste valor na hora seguinte. As curvas típicas de carga da residência e do escritório, com e sem VEs, são exibidas no Anexo A.

Figura 15: Rede Exemplo utilizada.

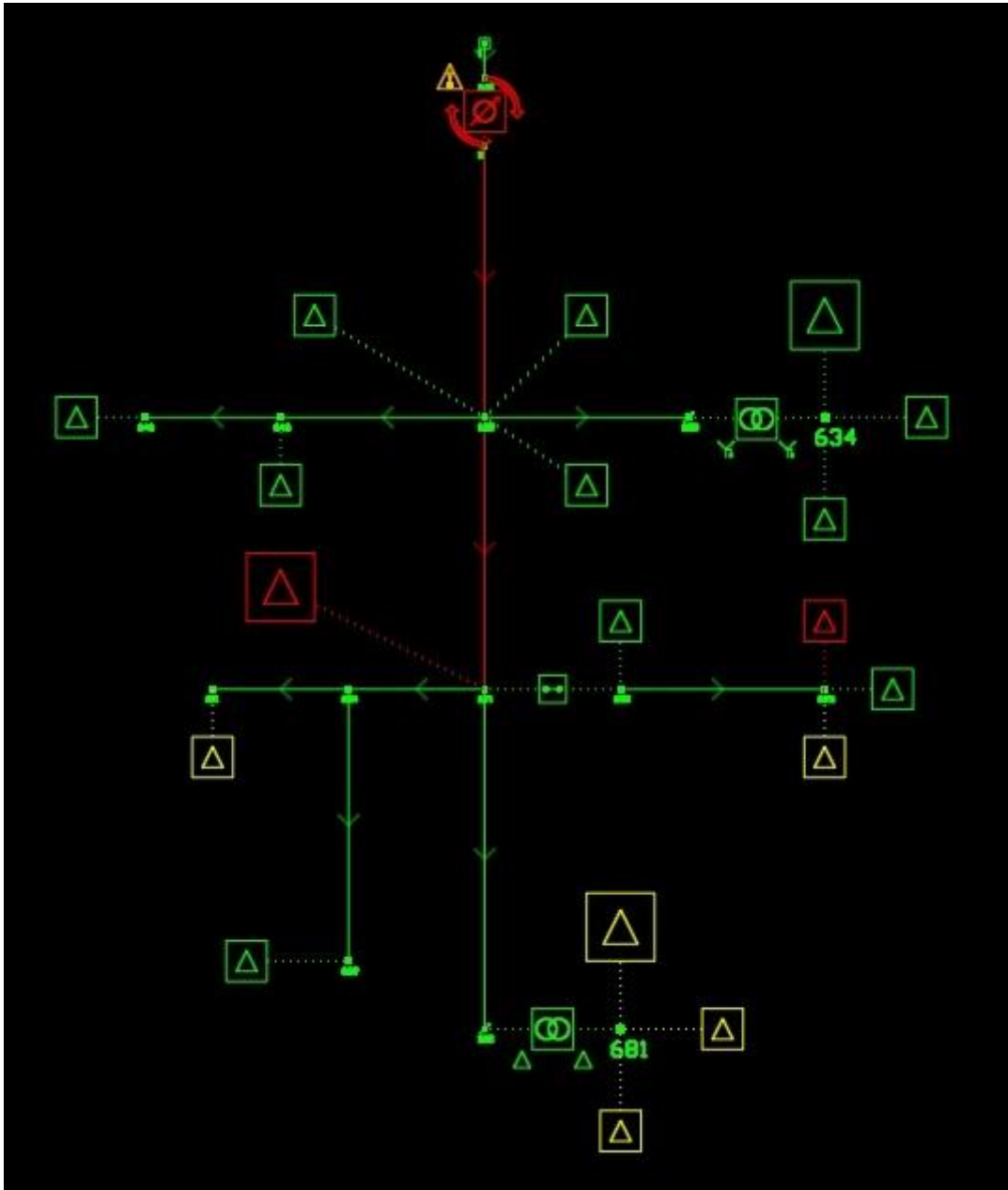


6.2.1 ANÁLISE DO IMPACTO ENERGÉTICO EM UMA REDE EXEMPLO

Através da análise do comportamento da rede observa-se que inicialmente, sem a inserção de carros elétricos, não há nenhum elemento sobrecarregado ou carregamento crítico das 0h às 8h. A partir desse horário, os transformadores de distribuição do escritório entram em carregamento crítico. Esse quadro segue até às 12h, quando toda a rede volta ao seu estado de

carregamento normal. A partir das 14h, o cenário torna-se idêntico ao das 8h. Somente às 18h ocorre uma mudança, os transformadores do escritório voltam à condição normal, porém na residência surge um carregamento crítico, isso estende-se até as 20h. A partir desse horário todo o sistema entra em carregamento normal e o ciclo se repete.

Figura 16: Rede no horário crítico das 18h.



Com a inserção dos veículos elétricos esse quadro se mantém. Das 0h às 7h ocorre um carregamento que não tira a fase A do transformador do modo normal de operação, na residência, onde o carro é abastecido. Porém, a partir das 8h, a fase A do escritório, onde o

carro abastece, perde a condição crítica anteriormente citada para entrar em condição de carregamento normal. Esse quadro se repete a partir das 14h e se estende variavelmente em relação ao quanto de carga se pretende vender. Para a situação de venda de 80% da carga do automóvel, esse quadro se estende até as 15h. Para a venda de 60%, estende-se até às 14h. E, no caso de venda de 20%, estende-se por apenas 1 hora, até às 9h. Como os carros não fornecem energia das 12h às 14h, a rede permanece toda em carregamento normal durante esse horário. O Anexo B ilustra as respostas do simulador PSL®DMS.

Os valores de tensão e potência ativa e reativa dos nós 634 e 681, em cada variação de cenário, são exibidos nas tabelas 10, 11, 12 e 13, localizados no anexo C.

7 CONCLUSÕES

As tecnologias emergentes relacionadas aos carros elétricos têm cada vez mais aumentado a eficiência desses automóveis. O aumento da capacidade de armazenamento e do ciclo de vida das baterias, assim como suas novas formas de reciclagem e o desenvolvimento de sensores, possibilitam uma autonomia maior aos VEs e impedem a degradação do meio ambiente, objetivo principal em discussão.

Um ponto de destaque, observado em grande parte deste trabalho, é o frequente direcionamento ao conceito de Smart Grids. O controle em tempo real das tarifas e demandas da rede torna factível toda a coordenação de carregamento de veículos elétricos, a fim de que eles causem o menor impacto energético possível. Sem ela não será possível configurar onde, quando, quanto e por quanto (R\$) pode-se carregar ou descarregar os veículos elétricos no sistema. Esse controle é que torna o conceito de automóveis elétricos atrativos, pois pode trazer lucros financeiros ao usuário e ganhos energéticos às redes de distribuição. A ideia de uma fonte de energia móvel pode diminuir picos de demanda de sub-redes em diferentes horários, como evidenciado nas simulações deste trabalho. Contudo, não basta apenas inserir estes automóveis à realidade dos consumidores. É necessário ter toda uma infraestrutura já testada e ratificada e que forneça as condições necessárias a esses veículos operarem, algo que no Brasil encontra-se ainda em fase embrionária em relação a outros países.

Os incentivos governamentais têm sido os estimulantes centrais propulsores desta tendência preocupada com o desenvolvimento sustentável. Infelizmente, no Brasil ainda não existem tais incentivos, o que deixa o país em atraso em relação às diversas nações mundo afora. Um carro elétrico pode possuir consumo até 10 vezes inferior ao de um a gasolina, como foi mostrado em uma das simulações deste trabalho. Apesar do custo de propriedade anual mostrar que os veículos a gasolina ainda são mais baratos, essa conclusão não é definitiva, uma vez que os valores ficaram razoavelmente próximos e grande parte dos custos serem baseados na economia americana.

Através da análise das simulações, diversas constatações devem ser levantadas. Uma delas é sobre o dimensionamento de transformadores urbanos de média/baixa tensão. Como visto na simulação do item 6 deste trabalho, apenas um carro não seria suficiente para tirar a sub-rede residencial de seu funcionamento em modo normal, no entanto a inserção de mais veículos às fases desse transformador acarretariam em um sobrecarregamento do mesmo. Outro ponto, é

o número de postos de recarga pública, por exemplo, que deverão ser estrategicamente posicionados não somente em cidades, como também em estradas.

A simulação do impacto energético em uma rede exemplo demonstrou que carros elétricos podem trazer grandes benefícios à operação de um sistema de distribuição de energia elétrica, se este estiver bem dimensionado e possuir uma rede inteligente coordenando e controlando suas operações. Enquanto esses veículos requisitam potência em uma faixa de horário de baixíssima demanda (0h às 7h), eles podem vir a fornecer potência em horários de alta demanda. Isso, do ponto de vista da rede, é causador de um grande alívio de demanda energética. E, além disso, devido a diferentes tarifas cobradas pelas concessionárias, e somando ainda o efeito da tarifa branca, a inserção de carros elétricos ao cotidiano da sociedade é altamente benéfica sob o ponto de vista financeiro. Foi notado como o custo da carga completa do automóvel pôde ser superado pelo custo da venda de parte desta mesma carga, sem prejudicar o deslocamento mínimo desses veículos.

REFERÊNCIAS

- [1]. MOREIRA, J. R.; COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; APOLINÁRIO, S. M.; MELO, E. H.; ELMADJIAN, P. H. B. **Veículos Elétricos Híbridos e a Emissão de Poluentes**, Universidade de São Paulo – IEE/CENBIO, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008.
- [2]. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA; Associação Nacional dos Transportes Públicos - ANTP. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público**, Revista dos Transportes Públicos, p. 7, 1999.
- [3]. Nissan Leaf, <<http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>>.
- [4]. GM Volt, <<http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html>>.
- [5]. Tesla Roadster, <<http://www.teslamotors.com/roadster>>.
- [6]. Toyota Prius plug In, <<http://www.toyota.com/prius-plug-in/#!/Welcome>>.,
- [7]. Renault Zoe, <<http://www.renault.com/en/vehicules/aujourd-hui/renault-vehicules-electriques/pages/zoe.aspx>>.
- [8]. DR. LEFEVRE, RUSSELL; IEEE Transportation Electrification. **Electric Vehicle Technology in the IEEE**, 2012.
- [9]. GOLDEMBERG, C.; LEBENSZTAJN, L.; PELLINI, E. L. **A Evolução do Carro Elétrico**, PEA/EPUSP, Agosto/2005.
- [10]. Nissan Leaf primeiro carro elétrico fabricado em grande escala, <<http://info.abril.com.br/noticias/blogs/bitnocarro/carros-eletricos/nissan-leaf-o-primeiro-carro-eletrico-fabricado-em-grande-escala/>>, Outubro, 2010.
- [11]. AMJADI, ZAHRA. **Power Electronics Intensive Energy Management Solutions for Hybrid Electric Vehicle energy Storage**, Concordia University – Montreal, Quebec, Canadá – February/2011.
- [12]. PATEL, PRACHI. **Sensors Are Key to Better EV Batteries**, IEEE Spectrum, Set/2012. <<http://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/sensors-are-key-to-better-ev-batteries>>.
- [13]. Mitsubishi i-MiEV USA, <<http://www.mitsubishicars.com/MMNA/jsp/imiev/12/showroom/overview.do> >.
- [14]. How charging of the battery works in the Chevy Volt, <<http://gm-volt.com/2008/09/27/how-charging-of-the-battery-works-in-the-chevy-volt/>>.
- [15]. STOGNER, LEE; IEEE Transportation Electrification. **IEEE Helps Bring Electric Vehicles To A Garage Near You**, Abril/2012.

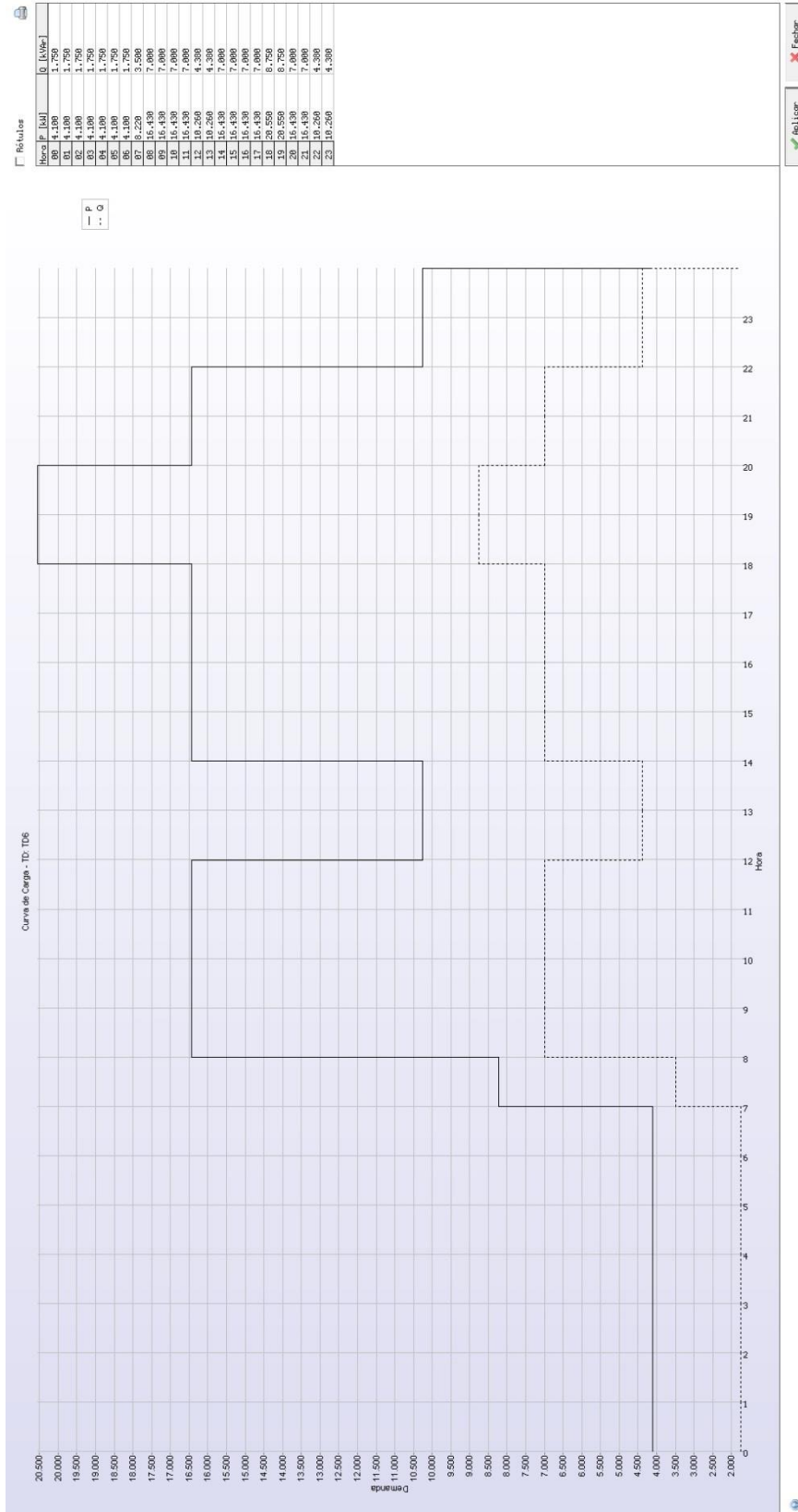
- [16]. BARROZO, FRANCISCO E. O.; **Conversor CC-CC Bidirecional para Aplicação em Veículos Elétricos**, Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Agosto/2010.
- [17]. Battery Solutions, Smart Recycling Made Easy, <<http://www.batteryrecycling.com/Battery+Recycling+Process>>.
- [18]. Falcão, M. D. (2010). Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE. Belém - PA - Brasil.
- [19]. KEYHANI, A.; MUHAMMAD, M. **Smart Power Grids 2011**, Department of Electrical and Computer Engineering, Ohio State University, 2011.
- [20]. BRAGA. **Integração de Veículos elétricos no sistema elétrico nacional**, Faculdade de ciências e Tecnologia, Universidade de Lisboa, tese de mestrado, Monte Caparica, 2010.
- [21]. U.S DEPARTMENT OF ENERGY. **EV Everywhere**, Grand Challenge Blueprint, January 31, 2013.
- [22]. FEDERAL TAX CREDITS FOR ELECTRIC VEHICLES, <<http://www.fueleconomy.gov/feg/taxevb.shtml>>.
- [23]. Incentivos Noruega, <http://economico.sapo.pt/noticias/noruega-ultrapassa-portugal-e-e-lider-nos-carros-electricos_167251.html>.
- [24]. Incentivos Estônia, <<http://www.testrider.com.br/2013/02/22/estonia-e-o-1o-pais-a-ter-rede-para-carros-eletricos/>>.
- [25]. Incentivos financeiros a VEs, segundo Tesla Motors, <<http://www.teslamotors.com/incentives/UK/>>.
- [26]. Review: A Week In A 2012 Nissan Leaf, <<http://www.thetruthaboutcars.com/2012/02/review-a-week-in-a-2012-nissan-leaf/>>.
- [27]. Mitsubishi Motor Specifications i-MiEV, <<http://www.mitsubishicars.com/MMNA/jsp/imiev/12/specs.do?#engineering>>.
- [28]. GM Volt Specifications, <<http://gm-volt.com/full-specifications/>>.
- [29]. Câmbio Banco Central do Brasil, <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>>, 14/06/2013.
- [30]. Primeiras Impressões Nissan Leaf, <<http://g1.globo.com/carros/noticia/2011/06/primeiras-impressoes-nissan-leaf.html>>.
- [31]. Mitsubishi tenta inserir elétrico i-MiEV no mercado brasileiro, <<http://caranddriverbrasil.uol.com.br/noticias/mercado/mitsubishi-tenta-inserir-eletrico-imiev-no-mercado-brasileiro/2742>>.
- [32]. 2013 Nissan Leaf Ownership Costs, <http://www.motortrend.com/cars/2013/nissan/leaf/cost_of_ownership/>.

- [33]. 2013 Mitsubishi i-MiEV Ownership Costs, <http://www.motortrend.com/cars/2012/mitsubishi/i_miev/cost_of_ownership/>.
- [34]. 2013 Chevrolet Volt Ownership Costs, <http://www.motortrend.com/cars/2013/chevrolet/volt/cost_of_ownership/>.
- [35]. Nissan Leaf profitable at year three ; battery cost closer to \$18.000, <<http://green.autoblog.com/2010/05/15/nissan-leaf-profitable-by-year-three-battery-cost-closer-to-18/>>.
- [36]. Aneel aprova novas tarifas diferenciadas por horário que podem baratear conta de luz, <<http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2011/11/23/aneel-aprova-novas-tarifas-diferenciadas-por-horario-que-podem-baratear-conta-de-luz>>.
- [37]. Tarifas e Serviços Cobráveis RGE, <<http://www.rge-rs.com.br/ServiceCedilosOnline/Tarifas/tabid/75/language/en-US/Default.aspx>>, 24/01/2013.
- [38]. Tarifas e Custos de Serviço CEEE Distribuição, <<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/Taxas%20e%20servicos%20janeiro%202013.pdf>>, 24/01/2013.
- [39]. Resolução Homologatória N° 1.514 AES-SUL, Tarifas de Energia <http://www.aessul.com.br/grandesclientes/site/content/informacoes/arquivos/Resolucao_ANEEL_1514.pdf>, 16/04/2013.
- [40]. Preço dos Combustíveis Rio Grande do Sul, <<http://www.precodoscombustiveis.com.br/postos/estado/rs>>, acessado 07/06/2013.
- [41]. PSL® DMS Software, <http://www.powersyslab.com/powersyslab/PowerSysLab_Engenharia_e_Sistemas_Ltda..html>.
- [42]. THOMAS; Green&Energy. **What is your battery size?**, 7. March 2011 <<http://www.green-and-energy.com/blog/whats-is-your-battery-size/>>.
- [43]. BLAUTH, YEDDO B.; **Apostila de Aplicações Industriais da Eletrônica**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, Janeiro/2000.
- [44]. REIS, LUÍS. **Mobi. E - Modelo e Sistema de carregamento para veículos elétricos em Portugal**, Seminário mobilidade elétrica: O veículo, Instituto da mobilidade e dos transportes terrestres, Lisboa, Março 2010.
- [45]. MÉFFE, ANDRÉ. **Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, tese de mestrado, São Paulo, 2001.
- [46]. APPLE BATERIAS, <<http://www.apple.com/br/batteries/>>.

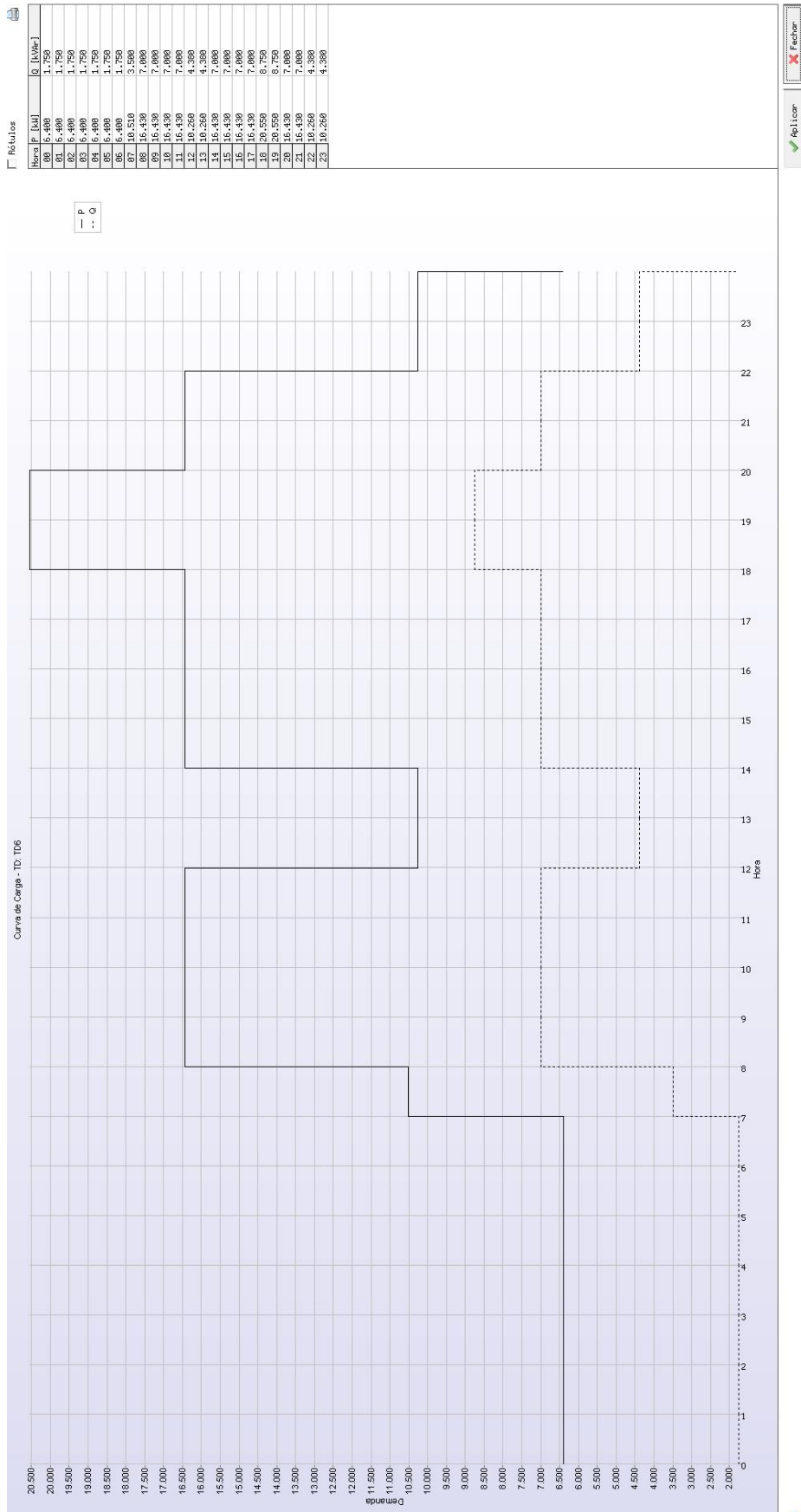
- [47]. Mobile Energy Resources in Grids of Electricity – MERGE Project, <<http://www.ev-merge.eu/>>.
- [48]. Mitsubishi i-MiEV Europe, < <http://www.mitsubishi-motors-europe.com/> >.
- [49]. Nissan Leaf Europe, < <http://www.nissan-europe.com/>>.
- [50]. Chevrolet Volt Europe, <<http://www.chevroleteurope.com/>>.
- [51]. New Nissan Leaf Customers in Europe Now Have Option to lease Vehicle Battery, < <http://www.newsroom.nissan-europe.com/EU/en-gb/Media/Media.aspx?mediaid=103768>>.
- [52]. Tarifas Regionais Vigentes ANEEL. ANEEL, <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idarea=493>>.
- [53]. Electric Sales, Revenue, and Average Price. U.S Energy Information Administration (EIA), <http://www.eia.gov/electricity/sales_revenue_price/>.
- [54]. Europe’s Energy Portal, < <http://www.energy.eu/>>.
- [55]. Consumo Gol Ecomotion, Consumo de 327 carros ano 2013, segundo Inmetro, < <http://g1.globo.com/carros/noticia/2013/01/inmetro-inmetro-divulga-ranking-de-consumo-de-carros-de-2013.html>>, 2013.
- [56]. Preço Gol Ecomotion 2013, < <http://quatorrodas.abril.com.br/tabela-de-precos/?make=Volkswagen&model=Gol&year=2013&version=Ecomotion+1.0+Mi+Total+Flex+8v+2p>>.
- [57]. Quanto Custa Manter um Carro?, <<http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/ferramentas/quanto-custa-manter-um-carro/>>, acessado em 08/07/2013.
- [58]. Tarifa Branca ANEEL, <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/002/documento/nt_029_2013_cemig.pdf>, pag. 7, Janeiro/2013.

ANEXO A

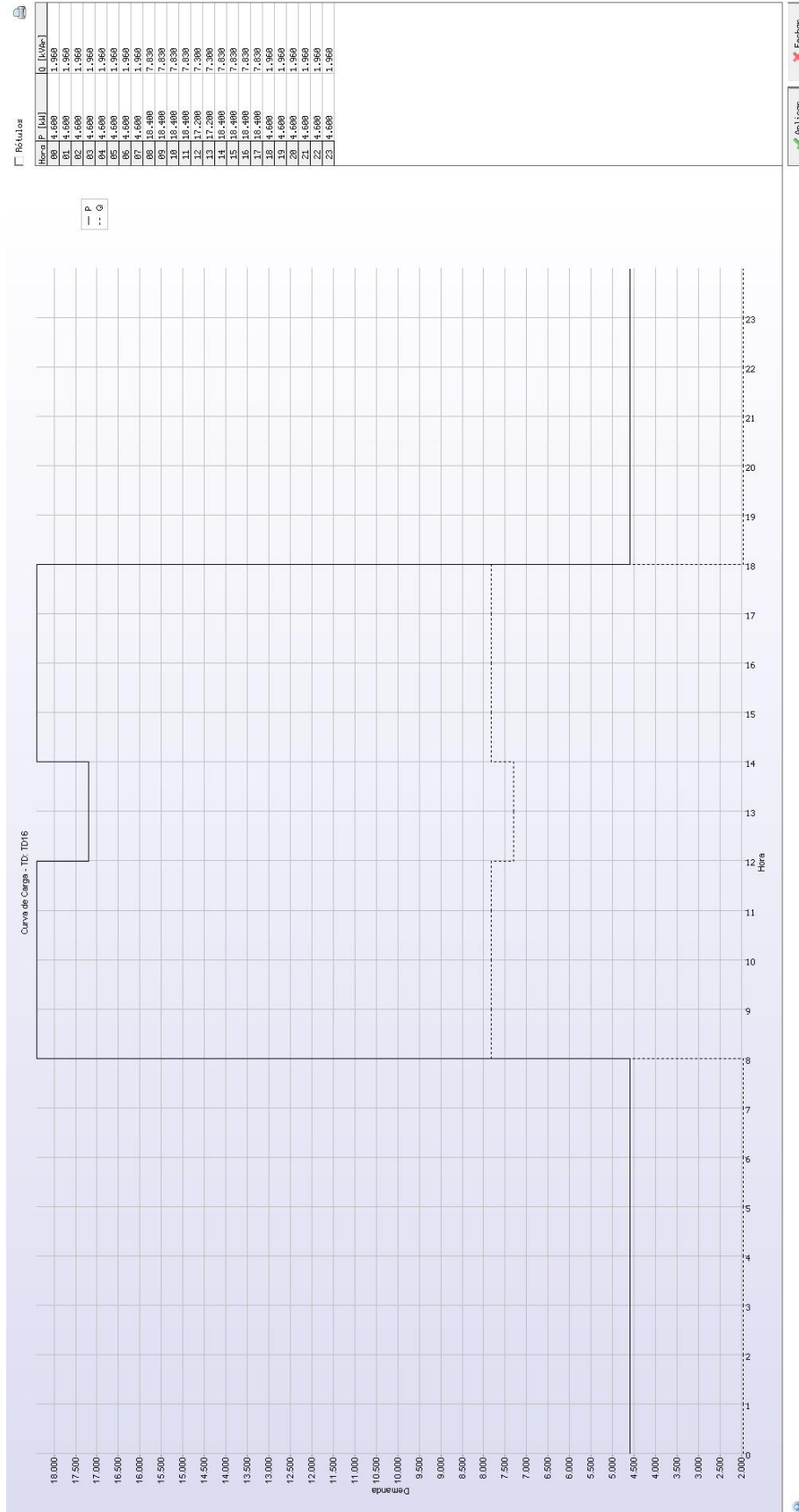
1 Curva de Carga da Residência Sem Veículo Elétrico



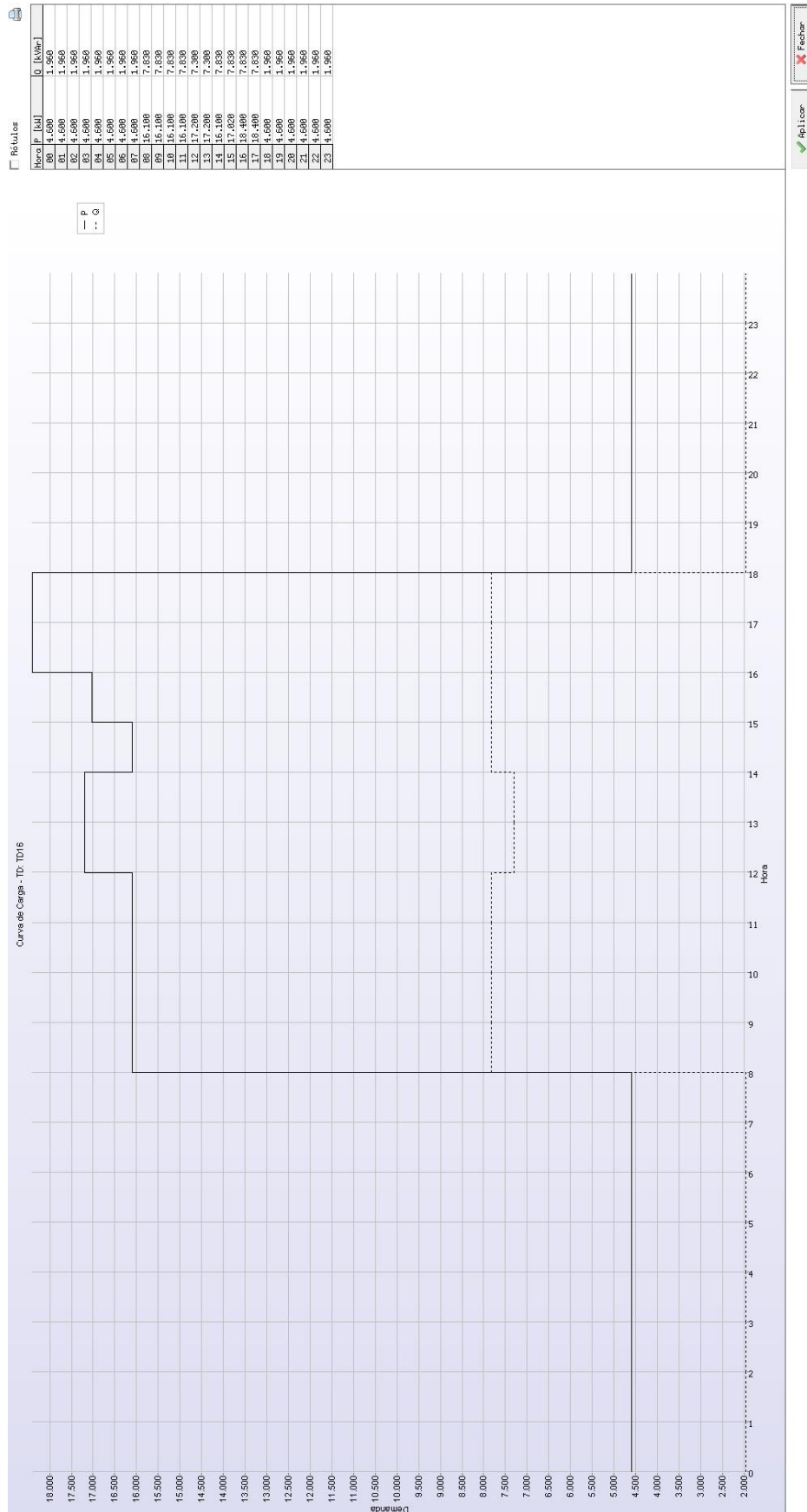
2 Curva de Carga da Residência Com Veículo Elétrico



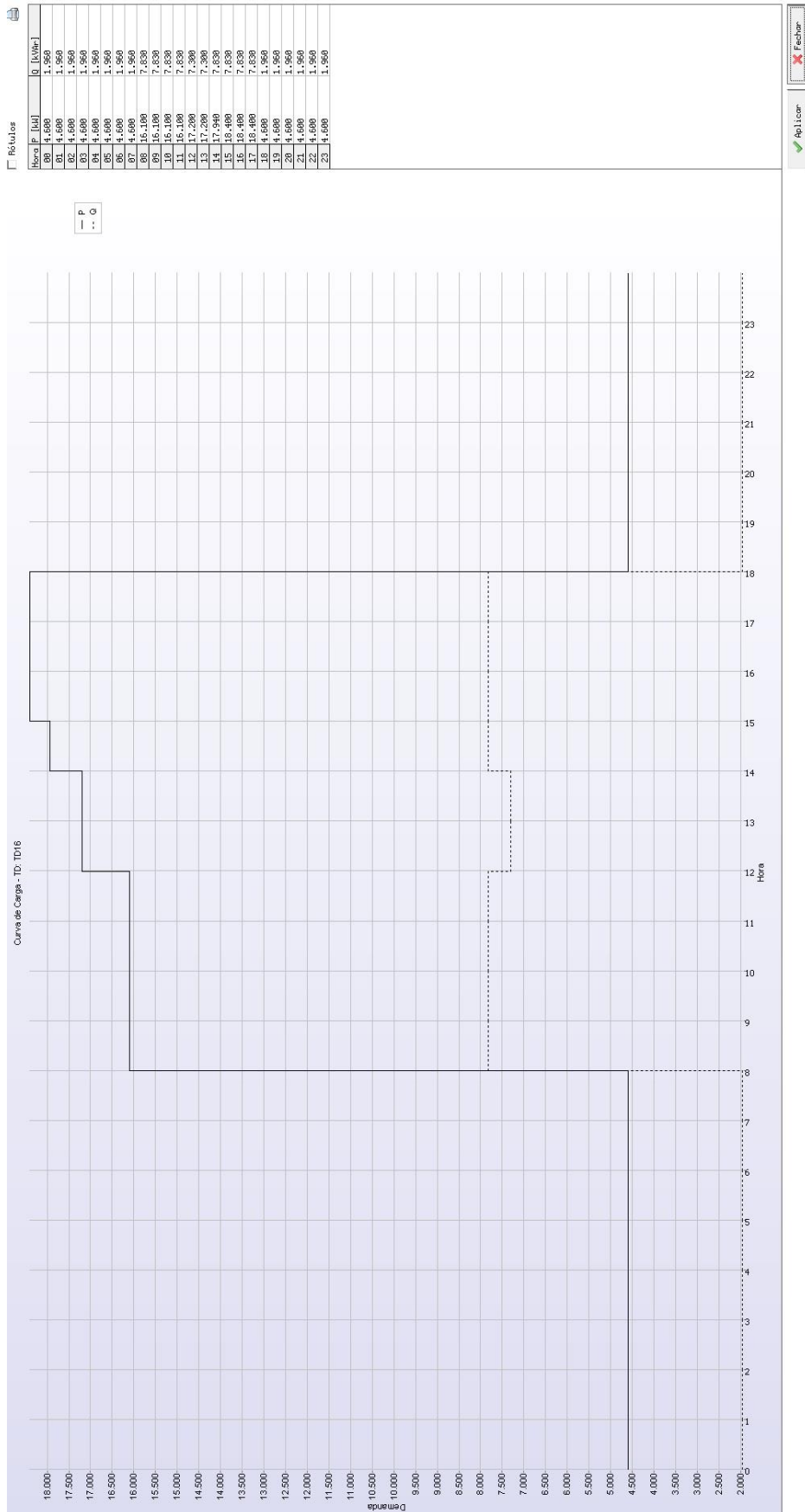
3 Curva de Carga do Escritório Sem Veículo Elétrico



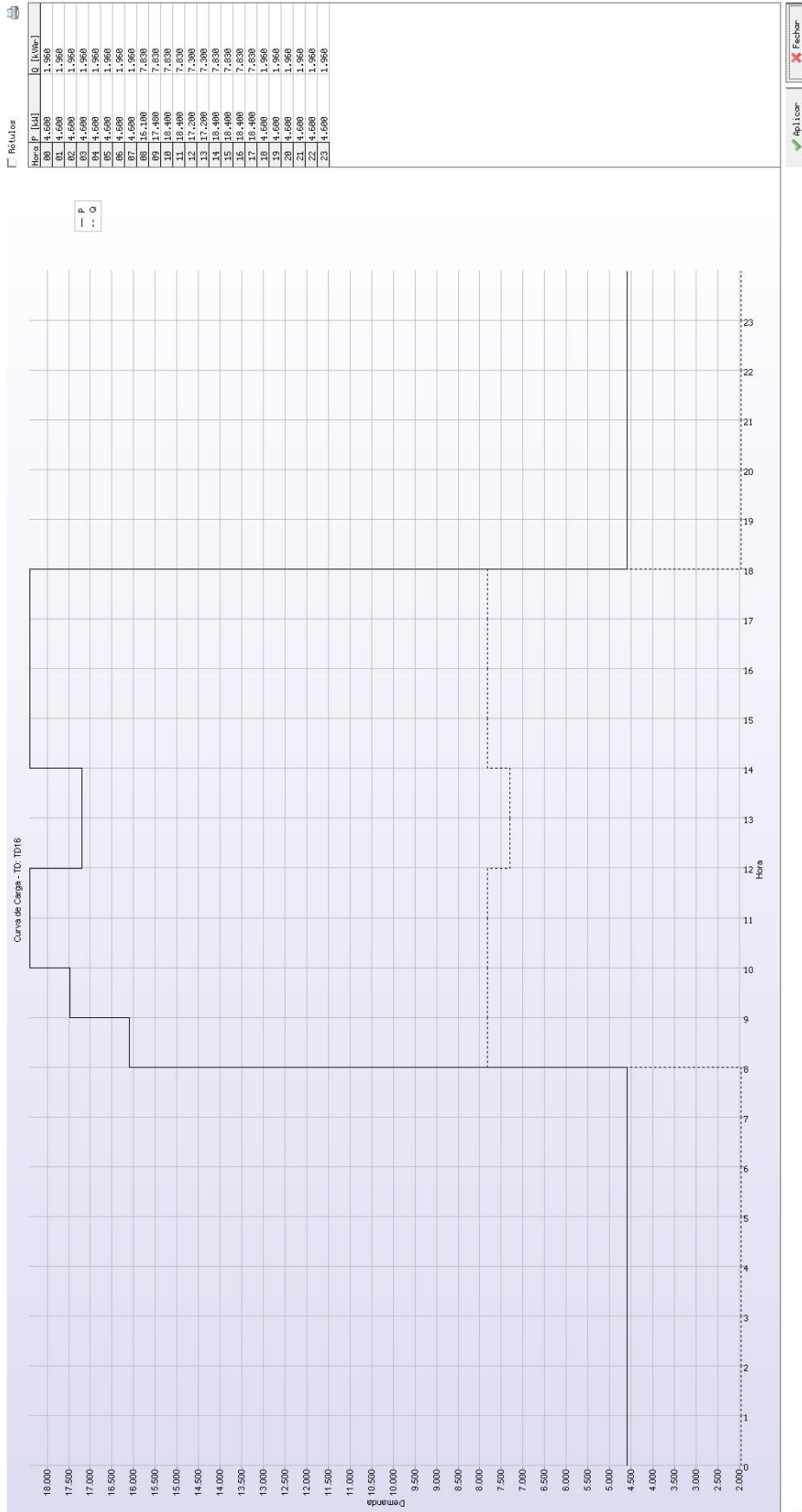
4 Curva de Carga do Escritório Com Veículo Elétrico Vendendo 80%



5 Curva de Carga do Escritório Com Veículo Elétrico Vendendo 60%

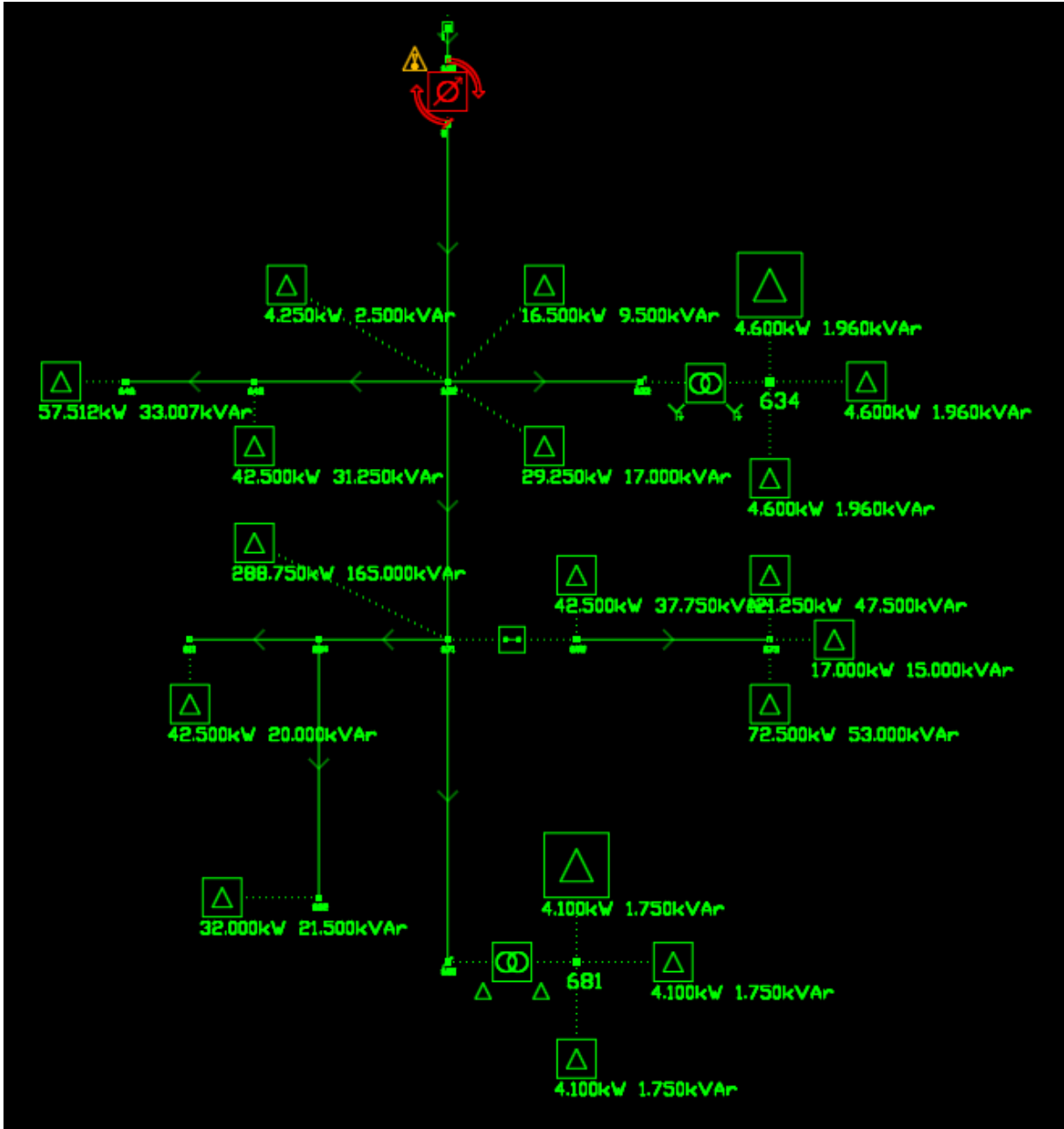


6 Curva de Carga do Escritório Com Veículo Elétrico Vendendo 20%

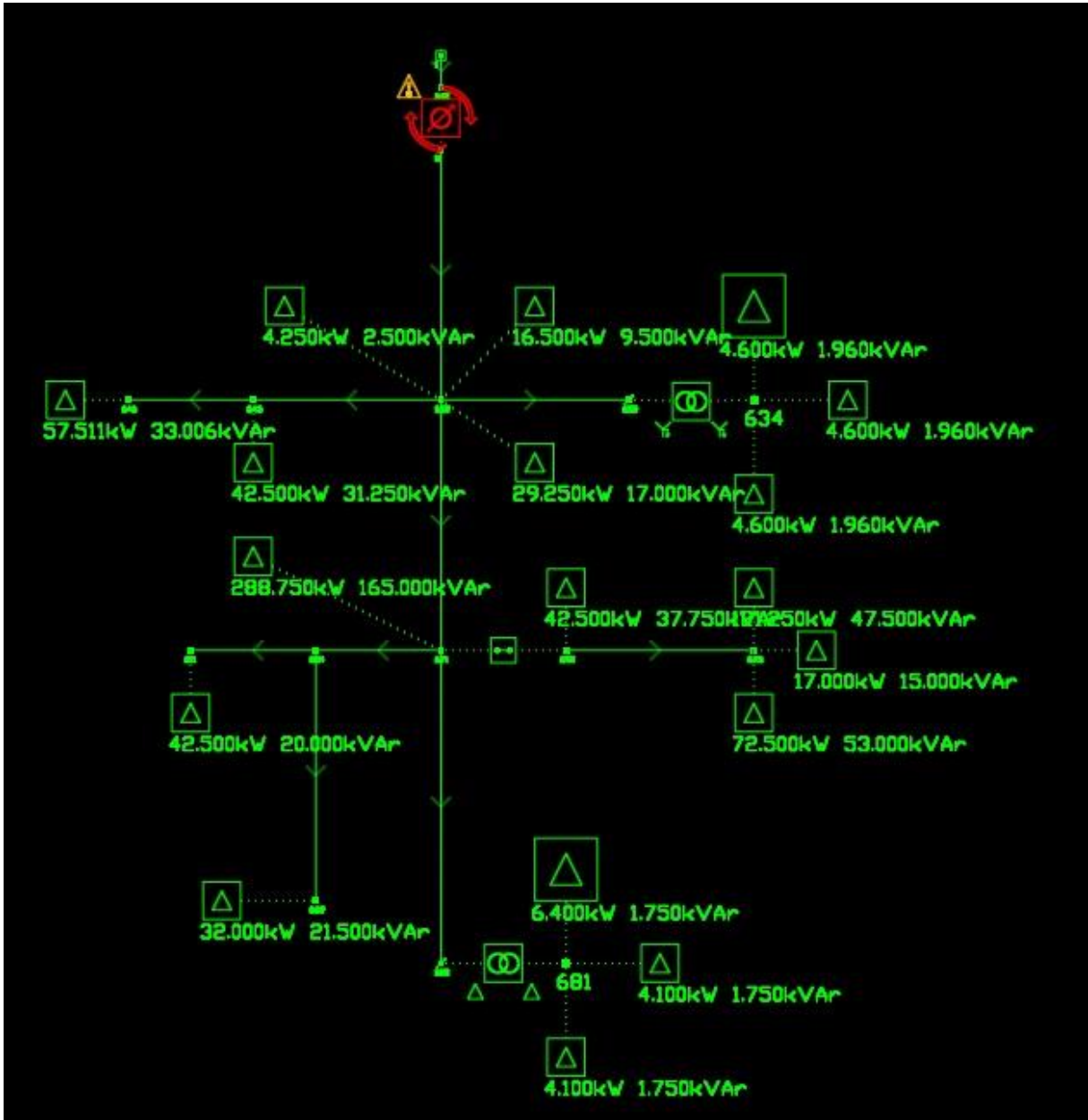


ANEXO B

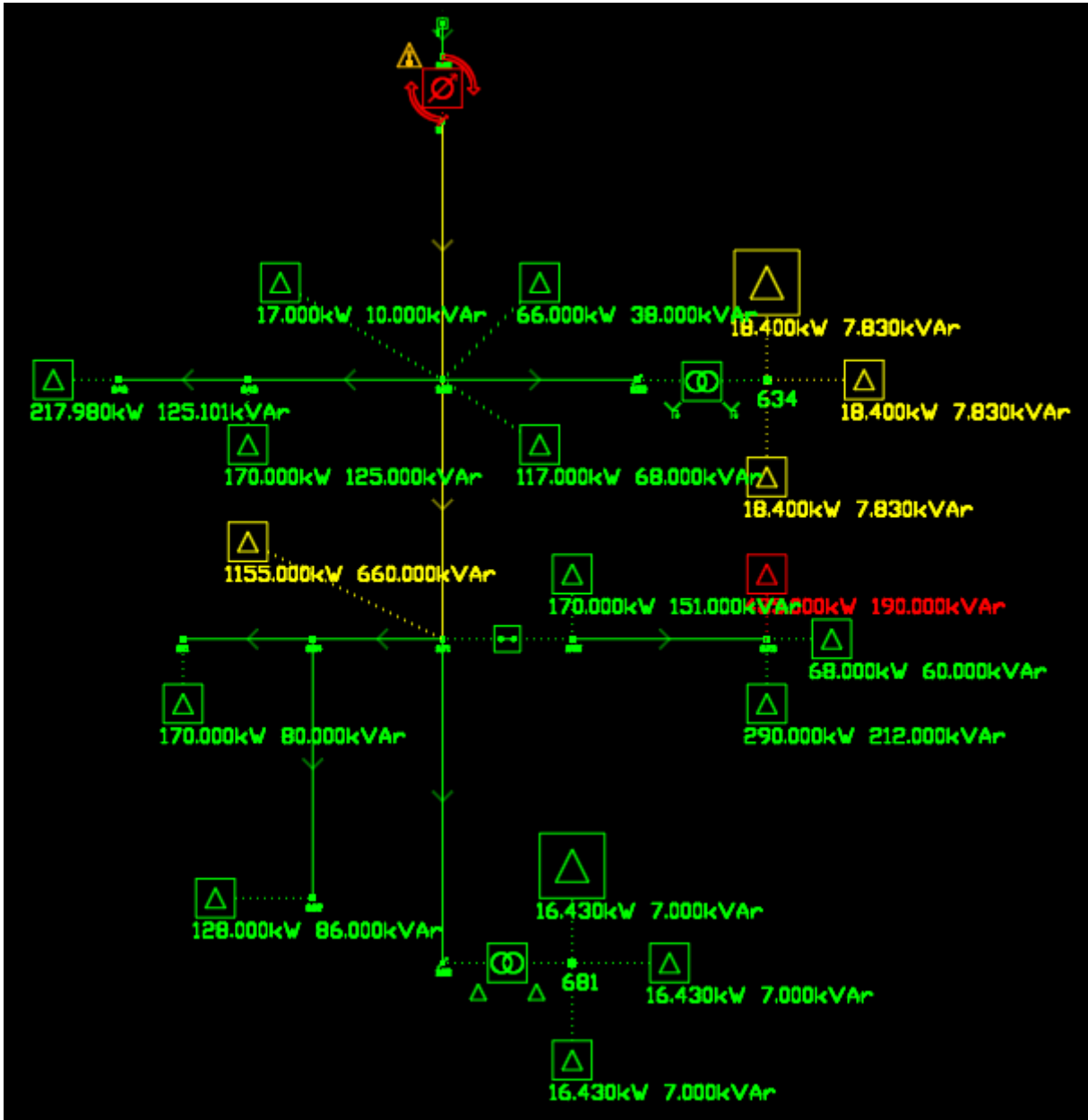
1 Comportamento da Rede Sem VEs das 0h às 7h



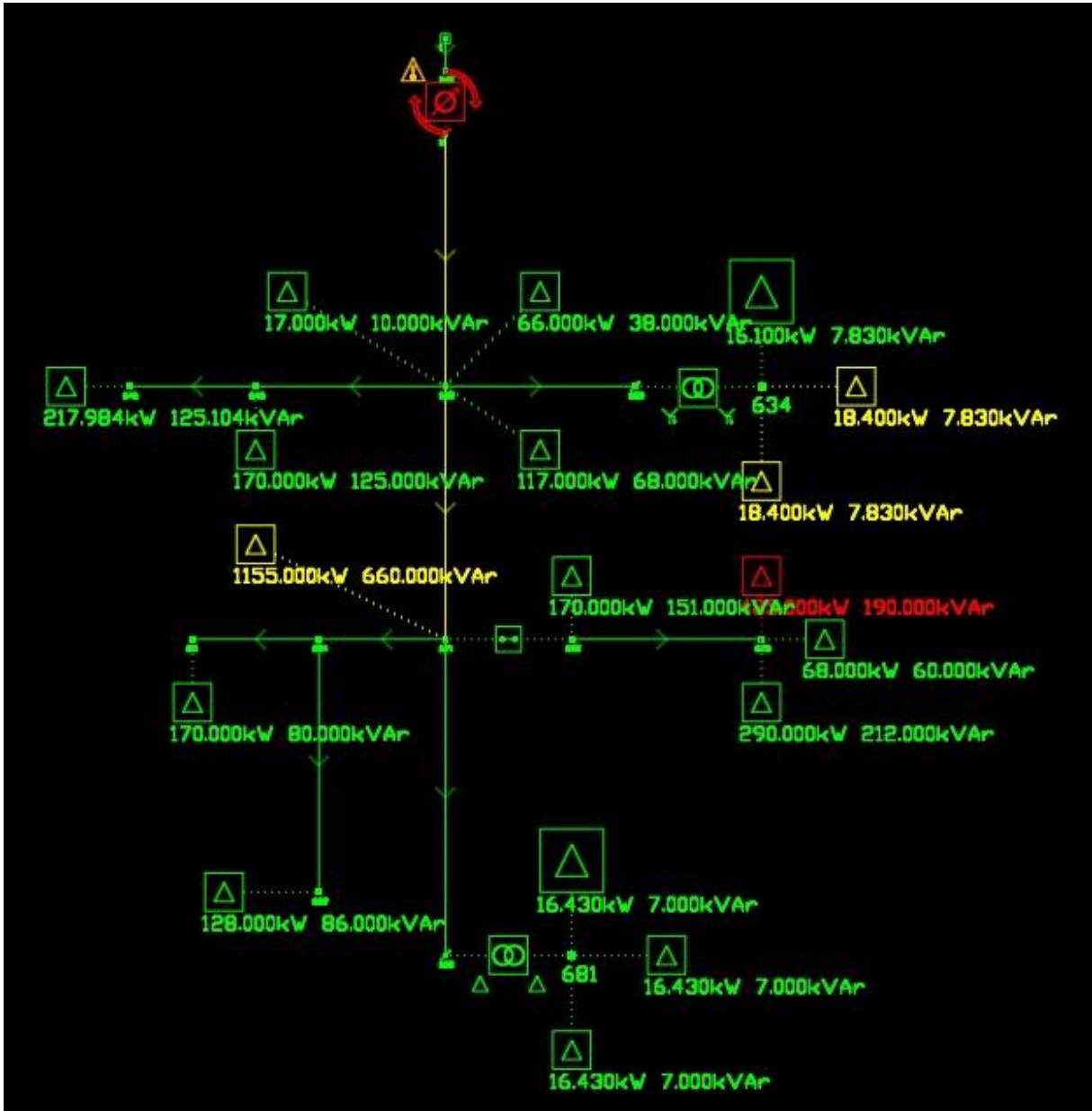
2 Comportamento da Rede Com VEs das 0h às 7h



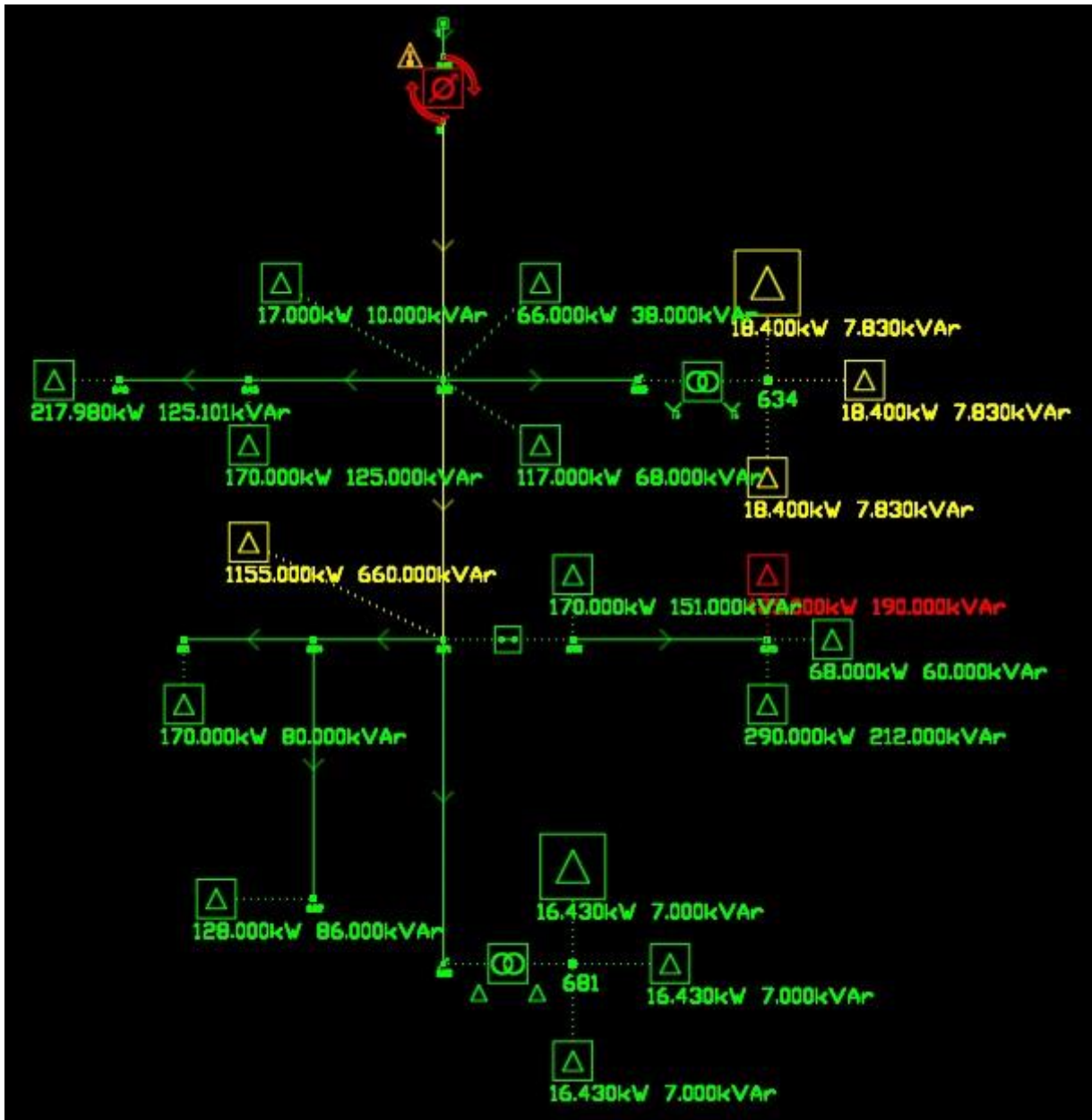
3 Comportamento da Rede Sem VEs das 8h às 12h e das 14h às 17h



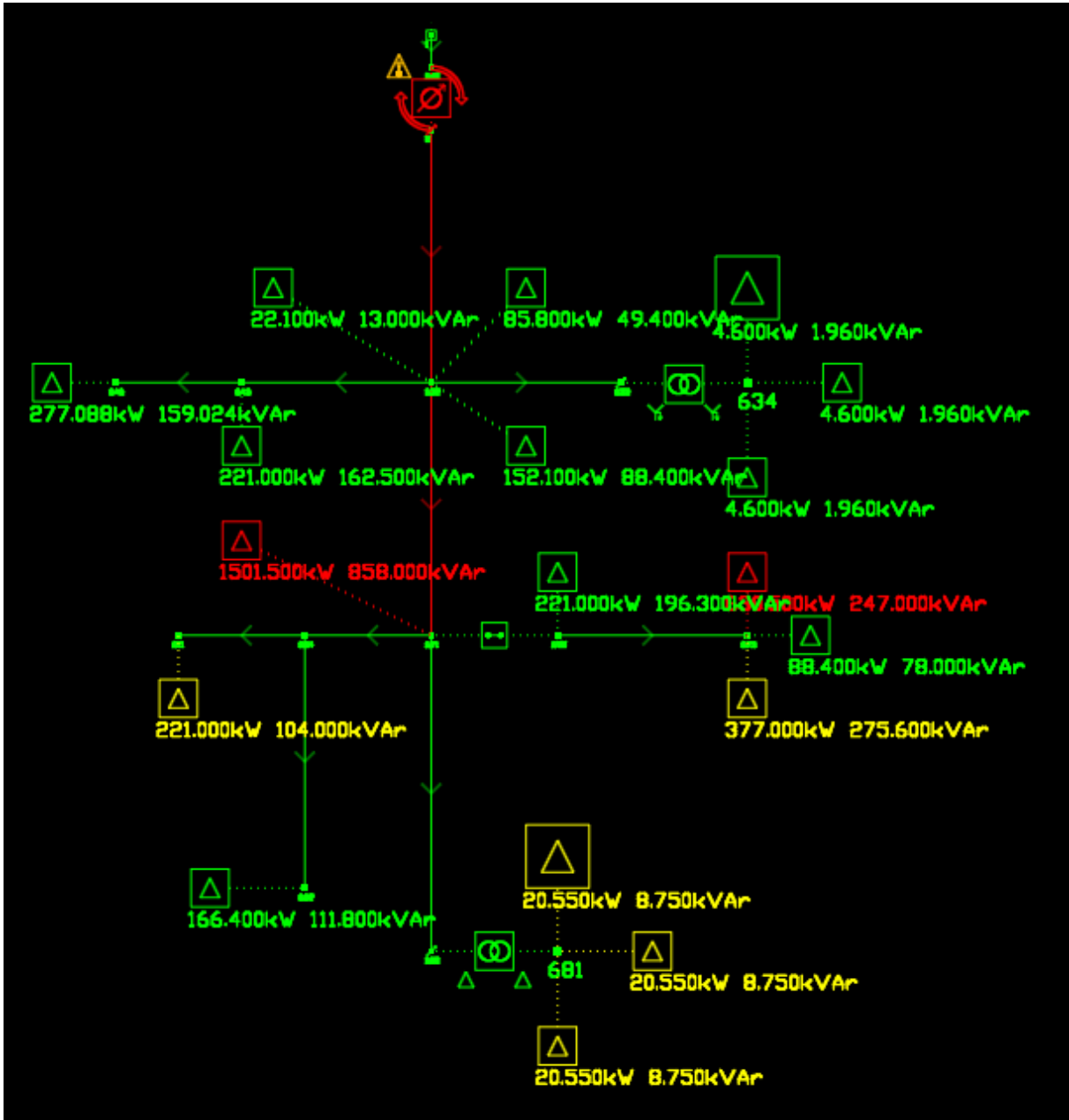
4 Comportamento da Rede Com VEs a partir das 8h



4.1 Comportamento da Rede Com VEs a partir das 9h para o caso de venda de 20% da energia, das 15h para venda de 60% da carga e das 16h para venda de 80% da carga



5 Comportamento da Rede Com VEs a partir das 18h as 20h



ANEXO C

Tabela 11: Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 sem a inserção de Carros Elétricos.

		Nó 634			Nó 681		
		V [kV]	P [kW]	Q [kvar]	V [kV]	P [kW]	Q [kvar]
0h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
1h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
2h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
3h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
4h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
5h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
6h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	4.100	1.750
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	4.100	1.750
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	4.100	1.750
7h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	8.210	3.500
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	8.210	3.500
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	8.210	3.500
8h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
9h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
10h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
11h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
12h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380

	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380
	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
13h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380
	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
14h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
15h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
16h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
17h	Fase A	0.269	18.400	7.830	0.207	16.430	7.000
	Fase B	0.269	18.400	7.830	0.211	16.430	7.000
	Fase C	0.267	18.400	7.830	0.204	16.430	7.000
18h	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
19h	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
20h	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
21h	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
22h	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380
23h	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380

Tabela 12: Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 com a inserção de Carros Elétricos e venda de 80% da energia no escritório.

		Nó 634			Nó 681		
		V [kV]	P [kW]	Q [kVAr]	V [kV]	P [kW]	Q [kVAr]
0h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
1h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
2h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
3h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
4h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
5h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
6h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	6.400	1.750
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	4.100	1.750
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	4.100	1.750
7h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	10.510	3.500
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	8.210	3.500
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	8.210	3.500
8h	Fase A	0.271	16.100	0.000	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
9h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
10h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
11h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
12h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380

	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
13h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380
	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
14h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.271	17.020	7.830	0.209	16.430	7.000
15h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
16h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.269	18.400	7.830	0.207	16.430	7.000
17h	Fase B	0.269	18.400	7.830	0.211	16.430	7.000
	Fase C	0.267	18.400	7.830	0.204	16.430	7.000
	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
18h	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
19h	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
20h	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
21h	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
22h	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380
	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
23h	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380

Tabela 13: Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 com a inserção de Carros Elétricos e venda de 60% da energia no escritório.

		Nó 634			Nó 681		
		V [kV]	P [kW]	Q [kVAr]	V [kV]	P [kW]	Q [kVAr]
0h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
1h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
2h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
3h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
4h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
5h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
6h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	6.400	1.750
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	4.100	1.750
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	4.100	1.750
7h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	10.510	3.500
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	8.200	3.500
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	8.200	3.500
8h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
9h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
10h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
11h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
12h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380

	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
13h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380
	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase A	0.271	17.940	7.830	0.209	16.430	7.000
14h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
15h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
16h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.269	18.400	7.830	0.207	16.430	7.000
17h	Fase B	0.269	18.400	7.830	0.211	16.430	7.000
	Fase C	0.267	18.400	7.830	0.204	16.430	7.000
	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
18h	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
19h	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
20h	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
21h	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
22h	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380
	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
23h	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380

Tabela 14: Valores de Tensão e Potência Ativa e Reativa dos Nós 634 e 681 com a inserção de Carros Elétricos e venda de 20% da energia no escritório.

		Nó 634			Nó 681		
		V [kV]	P [kW]	Q [kVAr]	V [kV]	P [kW]	Q [kVAr]
0h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
1h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
2h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
3h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
4h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
5h	Fase A	0.277	4.600	1.960	0.219	6.400	1.750
	Fase B	0.277	4.600	1.960	0.220	4.100	1.750
	Fase C	0.277	4.600	1.960	0.219	4.100	1.750
6h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	6.400	1.750
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	4.100	1.750
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	4.100	1.750
7h	Fase A	0.275	4.600	1.960	0.216	10.510	3.500
	Fase B	0.275	4.600	1.960	0.217	8.210	3.500
	Fase C	0.275	4.600	1.960	0.216	8.210	3.500
8h	Fase A	0.271	16.100	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
9h	Fase A	0.271	17.480	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
10h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
11h	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
12h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380

	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
13h	Fase A	0.275	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase B	0.275	17.200	7.300	0.217	10.260	4.380
	Fase C	0.274	17.200	7.300	0.216	10.260	4.380
	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
14h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
15h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.271	18.400	7.830	0.209	16.430	7.000
16h	Fase B	0.271	18.400	7.830	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.269	18.400	7.830	0.208	16.430	7.000
	Fase A	0.269	18.400	7.830	0.207	16.430	7.000
17h	Fase B	0.269	18.400	7.830	0.211	16.430	7.000
	Fase C	0.267	18.400	7.830	0.204	16.430	7.000
	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
18h	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
	Fase A	0.268	4.600	1.960	0.205	20.550	8.750
19h	Fase B	0.269	4.600	1.960	0.210	20.550	8.750
	Fase C	0.266	4.600	1.960	0.202	20.550	8.750
	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
20h	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
	Fase A	0.270	4.600	1.960	0.208	16.430	7.000
21h	Fase B	0.270	4.600	1.960	0.212	16.430	7.000
	Fase C	0.268	4.600	1.960	0.206	16.430	7.000
	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
22h	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380
	Fase A	0.271	4.600	1.960	0.210	10.260	4.380
23h	Fase B	0.271	4.600	1.960	0.213	10.260	4.380
	Fase C	0.269	4.600	1.960	0.208	10.260	4.380