



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Thyago de Paula Jacinto

**Proposta de controle do impacto da inserção de veículos elétricos no
Custo Marginal de Operação em estudos de Planejamento Energético**

JUIZ DE FORA

2017

Thyago de Paula Jacinto

**Proposta de controle do impacto da inserção de veículos elétricos no
Custo Marginal de Operação em estudos de Planejamento Energético**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal de Juiz de Fora, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Bruno Henriques Dias

JUIZ DE FORA

2017

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Paula Jacinto , Thyago .

Proposta de controle do impacto da inserção de veículos elétricos no Custo Marginal de Operação em estudos de Planejamento Energético / Thyago de Paula Jacinto . -- 2017.

64 f.

Orientador: Bruno Henriques Dias

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2017.

1. Planejamento Energético. 2. Custo Marginal de Operação . 3. Veículos Elétricos . I. Henriques Dias, Bruno, orient. II. Título.

Thyago de Paula Jacinto

**Proposta de controle do impacto da inserção de veículos elétricos no
Custo Marginal de Operação em estudos de Planejamento Energético**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal de Juiz de Fora, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 04 de julho de 2017

BANCA EXAMINADORA

Dr. Bruno Henriques Dias - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Leonardo Willer de Oliveira

Universidade Federal de Juiz de Fora

*A minha noiva Thaís, que sempre esteve
ao meu lado, em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha noiva Thaís, pelo amor, paciência e companheirismo. O seu apoio incondicional durante todos esses anos é a base do meu crescimento. Nossa cumplicidade e carinho nos momentos bons e ruins, estando sempre um ao lado do outro é o segredo do nosso amor.

Aos meus pais, Antônio e Fátima, e à minha irmã, Thays, pelo amor, dedicação e suporte. A toda a minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando. A todos os professores, que compartilharam seus conhecimentos e contribuíram para minha formação profissional, acadêmica e também pessoal. Em especial ao meu orientador Bruno, pela oportunidade, confiança, atenção e conhecimento, que auxiliaram na elaboração deste trabalho.

RESUMO

Diversos países têm apresentado incentivos à utilização de veículos elétricos por representarem uma redução na emissão de poluentes na atmosfera. Porém, o uso destes veículos pode representar um impacto significativo nos sistemas elétricos, sendo necessário assim fazer uma avaliação do impacto desta frota renovada de veículos visando planejar o sistema de forma a suportar o aumento da carga. O presente trabalho propõe, por meio da simulação de cenários de penetração de VE's, o desenvolvimento de um método de controle do custo marginal da operação, limitando seu aumento máximo a um valor predefinido, através do modelo de programação dinâmica estocástica no planejamento de longo prazo.

Palavras Chave - **Energia, Veículos Elétricos, Sistema Elétrico Brasileiro, Programação Dinâmica Estocástica, Custo Marginal da Operação.**

ABSTRACT

Several countries have introduced incentives for electric vehicles as they represent a reduction in the emission of pollutants in the atmosphere, as well as being quieter, reducing noise pollution. However, the use of these vehicles represents a significant impact on power systems and it is necessary to evaluate the impact of this renewed fleet of vehicles in order to plan the system to withstand the increased load. The present work proposed the development of a method to control the marginal cost of the operation by limiting its maximum increase to a predefined value through the model of dynamic stochastic programming in long-term planning.

Keywords - Energy, Electric Vehicles, Brazilian Electric System, Stochastic Dynamic Programming, Marginal Cost of Operation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Veículo Elétrico a Bateria	20
Figura 2 Veículo Elétrico Híbrido Série.....	21
Figura 3 Veículo Elétrico Híbrido Paralelo.....	22
Figura 4 Veículos Elétricos Híbridos plug-in nas configurações Série	23
Figura 5 Veículos Elétricos Híbridos plug-in nas configurações Paralelo	24
Figura 6 Recarga Modo 1	26
Figura 7 Recarga Modo 2.....	27
Figura 8 Recarga Modo 3	28
Figura 9 Recarga Modo 4.....	29
Figura 10 Dilema do Operador Nacional do Sistema Elétrico.....	42
Figura 11 Curva de Custo Total	43
Figura 12 Etapas do Planejamento.....	45
Figura 13 Subsistemas considerados pela EPE no PDE 2024	49
Figura 14 Submercados considerados na Simulação MDDH.....	50
Figura 15 CMO para o SIN.....	54
Figura 16 Energia Armazenada para o SIN.....	55
Figura 17 Geração Hidráulica para o SIN.....	56
Figura 18 Geração Térmica para o SIN.....	57
Figura 19 Déficit de Energia para o SIN	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Dados de Veículos Elétricos Produzidos no Mundo.....	51
Tabela 2 Projeção do Consumo de Energia em GWh por parte dos VE's.....	52
Tabela 3 Custo médio de simulação	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ASVREE – Association Suisse des Véhicules Routiers Électriques et Efficients

CAMEX – Câmara de Comércio Exterior

CAN – Controller Area Network

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CHAdEMO – Charge de Move

CCS – Combined Charging System

CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

CMO – Custo Marginal da Operação

DECOMP – Modelo de Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos Interligados de Curto Prazo

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DESSEM – Modelo de Despacho Hidrotérmico de Curto Prazo

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EPRI – Electric Power Research Institute

ICCB – In-cable Control Box

IEC – International Electrotechnical Commission

IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores

MDDH – Modelo de Despacho Hidrotérmico

MME – Ministério de Minas e Energia

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NEWAVE – Modelo de Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos

Interligados de Longo e Médio Prazo

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PLD – Preço da Liquidação das Diferenças

PMO – Programa Mensal da Operação

PDE – Programação Dinâmica Estocástica

PDDE – Programação Dinâmica Estocástica Dual

SEB – Sistema Elétrico Brasileiro

SIN – Sistema Interligado Nacional

SAE – Society of Automotive Engineers

UNECE – Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa

VE – Veículo Elétrico

VE's – Veículos Elétricos

Sumário

1	Introdução.....	15
1.1	Objetivo.....	17
1.2	Organização do Trabalho	17
2	Veículos Elétricos	18
2.1	Desenvolvimento do veículo elétrico.....	18
2.2	Veículo Elétrico a Bateria	19
2.3	Veículo Elétrico Híbrido	20
2.4	Veículo Elétrico Híbrido “Plug-IN”	23
3	Recarga de Veículos Elétricos.....	25
3.1	Aspectos Gerais da Recarga	25
3.2	Modo de Recarga.....	25
3.2.1	Modo 1.....	25
3.2.2	Modo 2.....	26
3.2.3	Modo 3.....	27
3.2.4	Modo 4.....	28
3.2.5	Tipos de Plugs	29
3.3	Eletroposto.....	32
3.4	Consumo e Rendimento.....	34
3.5	Baterias e Novas Tecnologias	35
3.6	Políticas de Veículos Elétricos.....	36
3.6.1	Conselho Federal Alemão.....	36
3.6.2	Medidas Políticas Brasileiras.....	38

4	Planejamento Energético e Metodologia Proposta.....	39
4.1	Sistema Elétrico Brasileiro.....	39
4.2	Sistema Interligado Nacional.....	40
4.3	Planejamento de Sistemas Hidrotérmicos.....	41
4.4	Programação Dinâmica Estocástica.....	46
4.5	Programação Dinâmica Dual Estocástica.....	47
4.6	Metodologia.....	48
4.7	Cenários.....	51
5	Resultados.....	53
6	Conclusões.....	60
6.1	Conclusão.....	60
6.2	Trabalhos Futuros.....	60
7	Referências.....	61

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a saúde e a mudança de novos hábitos da sociedade, atrelada à necessidade da redução de emissões de dióxido de carbono e à evolução tecnológica dos meios de acumulação e transformação da energia elétrica tem aumentado o interesse pela propulsão elétrica para os automóveis nos últimos anos. A mobilidade elétrica constitui uma solução para a mobilidade urbana que assegura o deslocamento com impactos reduzidos ao meio ambiente (BORBA, 2012), (BARASA, 2015).

A elevada dependência do petróleo e seu impacto ambiental, gera uma necessidade de redução das emissões de CO_2 , para melhorar a qualidade do ar e reduzir a dependência energética desta fonte. Com isso, a mobilidade elétrica visa estimular a criação de novos modelos de negócios, bem como potencializar o desenvolvimento tecnológico dos sistemas de gestão de rede, das infraestruturas energéticas e dos componentes da indústria automobilística, como baterias, materiais leves e recicláveis (NOCE, 2009).

O consumo de petróleo no mundo apresenta uma trajetória crescente, e grandes países consumidores têm se tornados cada vez mais dependente dessa fonte de energia. O preço praticado no mercado internacional se caracteriza pela forte volatilidade, com momentos de alta provocados por acontecimentos históricos. O petróleo é um produto com demanda altamente inelástica no curto prazo e que sofre forte influência de fatores geopolíticos, econômicos e conjunturais.

A mobilidade atual depende do petróleo e do motor de combustão interna, cujos índices de eficiência são muito baixos, menos que 30 % da energia contida no combustível se transforma em tração do veículo e as emissões continuam sendo muito altas mesmo o avanço das tecnologias. Assim, o veículo com motor a combustão interna é um agente

ativo nas discussões internacionais que versam sobre o efeito estufa e suas consequências para humanidade (VELLOSO, 2010), (BARROS, 2013).

Há necessidade de um avanço na ação coordenada pela comunidade internacional para extinguir os efeitos do aquecimento global, na qual se pressionam estados, países e empresas para adotar práticas mais sustentáveis, com menor impacto ambiental, na redução do uso dos combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera e de problemas relacionados à saúde pública. Essa necessidade tem sido acompanhada pela implementação de um conjunto de políticas públicas e instrumentos de regulação, que vêm impondo padrões de emissão para os veículos comercializados, e ainda, por uma emergente classe de consumidores que optam por adquirir veículos menos poluentes.

Como resposta a este cenário competitivo, empresas fabricantes de veículos automotores e fornecedoras de componentes têm direcionado esforços em pesquisa para a concepção e produção de veículos mais eficientes, menos poluentes e com menos impactos ambientais. No âmbito das possibilidades tecnológicas a indústria automobilística pode optar por VE's, híbridos e a células a combustível (SIMON, 2012), (BARAN, 2012).

O VE é considerado aquele cuja propulsão de pelo menos uma de suas rodas ocorre por meio de um motor elétrico, na qual a configuração mecânica proposta difere dos veículos movidos com motor a combustão interna. O VE reduz a demanda por combustíveis fósseis e a emissão dos gases de efeito estufa pelos automóveis, devido a não ocorrer a queima de combustíveis no processo.

Uma das características dos VE's é a capacidade de consumir e armazenar energia do sistema. Como consequência, com a entrada dos VE, é necessário analisar e avaliar o sistema elétrico. As principais características a serem observadas em relação à conexão dos VE's na recarga das baterias na rede elétrica estão associadas à localização da rede,

o horário do dia, os níveis de potência das baterias, o tipo de carregamento e o tempo de carga. Sem contar com os dispositivos que controlam os modos de carregamento que podem se tornar cargas eletrônicas para a rede. Assim, a conexão do VE à rede é um desafio que precisa ser superado para viabilizar a tecnologia da mobilidade elétrica (BARASA, 2015).

A avaliação do impacto de uma frota renovada de VE visa planejar o sistema de forma a suportar o aumento da carga. O presente trabalho avalia o impacto relacionado a uma possível inserção de VE na frota atual de veículos automotores movidos a combustíveis fósseis, no SEB, através do modelo de programação dinâmica estocástica no planejamento de longo prazo.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho propõe, por meio da simulação de cenários de penetração de VE's, o desenvolvimento de um método de controle do custo marginal da operação, limitando seu aumento máximo a um valor predefinido.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto advindo da inserção da frota de VE's no SEB, levando em consideração o estudo do planejamento da expansão eletroenergética realizado pela EPE, e, considerando os níveis de geração e os custos em um horizonte de dez anos.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No presente Capítulo foi realizada contextualização sobre a mobilidade urbana e os desafios futuros na redução de poluentes. O Capítulo 2 abordará um breve histórico do VE, bem como os tipos de configuração utilizada neste automóvel. O Capítulo 3 se

refere ao tipo de recarga e os plugs que esses veículos possam apresentar, além da abordagem sobre os eletropostos, o consumo e o rendimento. O Capítulo 4 aborda uma breve discussão sobre os desafios e tecnologias das baterias, as questões políticas adotadas pelo governo Alemão e algumas medidas Brasileiras. O Capítulo 5 traz uma revisão bibliográfica sobre o SEB juntamente com as metodologias que foram e que são utilizadas para a realização do Planejamento Energético. O Capítulo 6 descreve a metodologia utilizada para a geração dos cenários. O Capítulo 7 apresenta os resultados obtidos com a simulação. Finalizando, o Capítulo 8 apresenta as principais conclusões do trabalho.

2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

2.1 DESENVOLVIMENTO DO VEÍCULO ELÉTRICO

O VE é um tipo de veículo que utiliza a energia elétrica e, por meio dos motores elétricos, a transforma em energia mecânica que irá acionar suas rodas. Tal equipamento é composto de um sistema primário de energia, que pode apresentar um ou mais motores, e do sistema de controle de velocidade, que realiza a variação da mesma (ANFAVEA, 2017).

O primeiro projeto de VE foi idealizado pelo húngaro Ányos Jedlik no ano de 1828, porém o primeiro VE só foi construído em 1835 por Thomas Davenport, que veio ser o propulsor da utilização deste meio em trilhos no século 19. Contudo no século 20 houve o declínio de sua produção e utilização com o advento do motor a combustão interna, por Henry Ford (ASVREE, 2005).

Atualmente, o VE vem ganhando espaço em resposta a busca da sociedade por reduzir a emissão de gases poluentes e a dependência de combustíveis fósseis, objetivando o

conceito de sustentabilidade. O avanço em pesquisas, a descoberta de novos materiais e o desenvolvimento de tecnologias, vem possibilitando a utilização de equipamentos e componentes mais eficientes, além de diversas alternativas para o mercado (ANFAVEA, 2017).

2.2 VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIA

VE's a bateria são veículos automotores, cujo acionamento é realizado por motores elétricos. Eles proporcionam alta eficiência energética e nulo ou baixo nível de emissões de poluentes e de ruídos, além de a fonte de energia ser exclusivamente elétrica, proveniente de baterias instaladas a bordo, que têm a propriedade de recarga, quando necessário. Quando necessário a recarga é realizada por uma fonte de energia externa, como a rede elétrica ou fotovoltaica. Outra forma de prover o carregamento das baterias é a utilização da frenagem regenerativa, que aproveita a energia cinética da frenagem e a converte em energia elétrica, armazenando-a na bateria, constituindo uma fonte de energia interna (SIMON, 2012).

Uma característica dos VE a bateria é o conceito de carro compacto, com dimensões e peso reduzidos, favorecendo o aumento da autonomia e tendo como público alvo centros urbanos, cujos deslocamentos são menores. Entretanto, com o avanço da tecnologia, as montadoras de carros elétricos apostam em outras categorias como hatch, sedan e luxo, além de adicionais como a conectividade com smartphones e aplicativos via web (BARASA, 2015). A Figura 1 demonstra o esquemático do VE a bateria e sua conversão de energia.

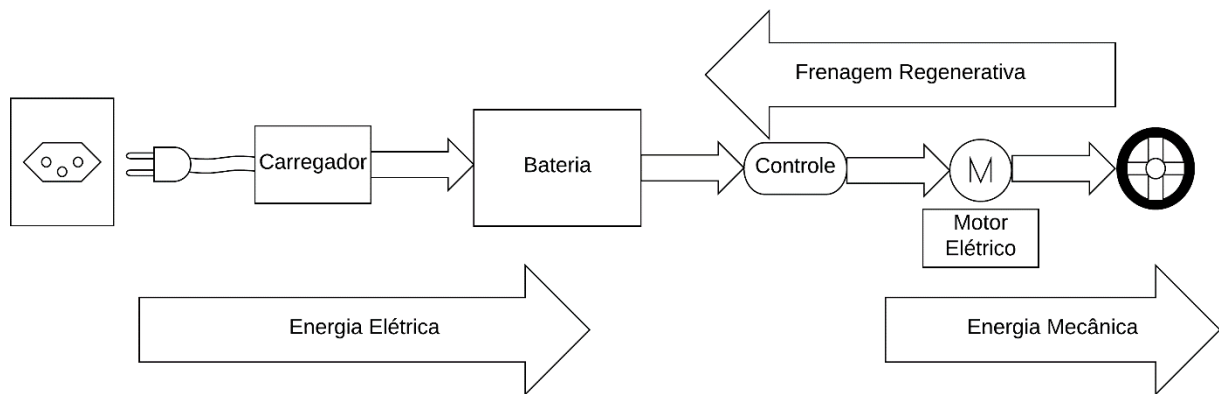


Figura 1 Veículo Elétrico a Bateria

2.3 VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO

VE's híbridos são veículos automotores nos quais a energia elétrica fornecida para o motor elétrico é gerada no próprio veículo através de um motor de combustão interna, podendo ser de Ciclo de Otto ou Ciclo Diesel. A finalidade do motor elétrico, nestes casos, é reduzir os esforços sofridos pelo motor a combustão.

A combinação dessas duas tecnologias permite ao veículo híbrido aumentar a autonomia do motor a combustão, reduzindo seu consumo. Ademais, a utilização do motor elétrico contribui com o aumento da eficiência decorrente dos processos de termodinâmica que regem os ciclos de Otto ou Diesel (NOCE, 2009).

Fatores que contribuem para este aumento é a utilização de recursos como, a frenagem regenerativa para recarregar as baterias e o desligamento do motor caso o sistema de controle identifique que o veículo não necessite dele. Outra característica que os motores a combustão apresentam é o baixo torque em rotações menores, na qual esse torque é suprido pelo motor elétrico (BARASA, 2015).

O VE híbrido pode ser dividido em três configurações: série, paralelo e misto. Este último é uma combinação entre série e paralelo, agregando as vantagens de cada sistema.

A configuração do veículo híbrido série se dá através do acoplamento do motor a combustão ao eixo de um gerador elétrico, responsável pela geração de eletricidade que alimenta um motor elétrico e as baterias. O motor elétrico está acoplado ao eixo das rodas, sendo responsável pela tração e, podendo também atuar como gerador, no caso da frenagem regenerativa (SIMON, 2012).

A conversão de energia se dá inicialmente pela energia química presente no combustível, a qual através do processo de oxidação ocorre a liberação de energia. Assim, uma parcela é transformada em movimento rotacional, que aciona o eixo do gerador e o transforma em energia elétrica. Esta energia pode ser disponibilizada para o motor elétrico, transformando-a novamente em movimento rotacional ou, pode ser retificada e armazenada em baterias para futuros usos. A Figura 2 demonstra o esquemático do VE híbrido série e sua conversão de energia.

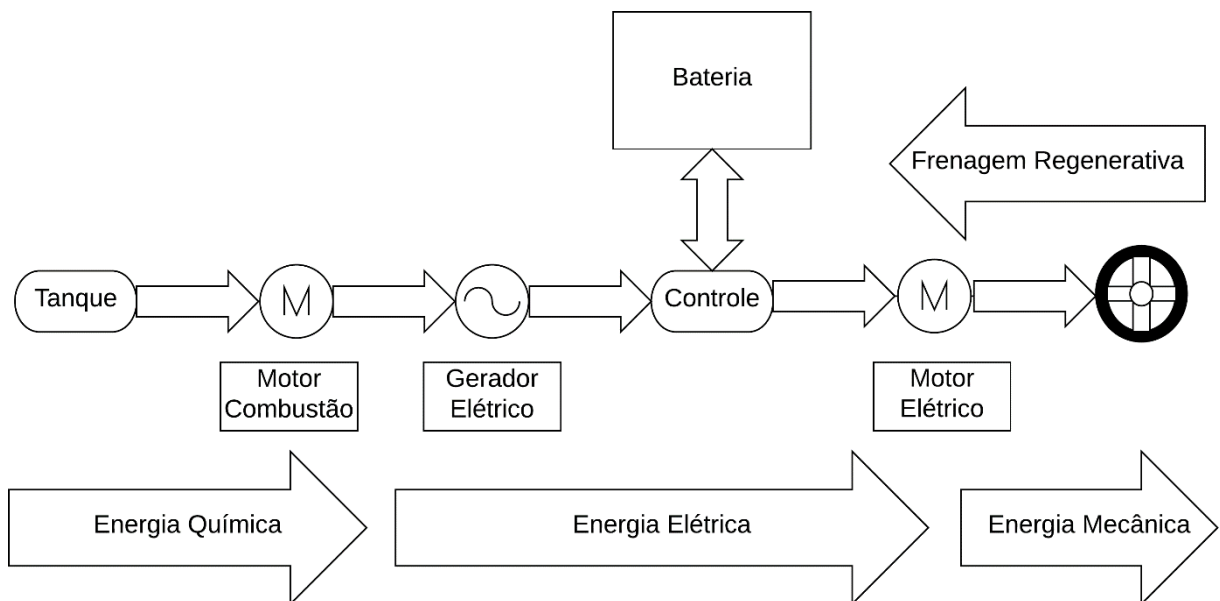


Figura 2 Veículo Elétrico Híbrido Série

A configuração do veículo híbrido paralelo é bem semelhante com o série, porém o motor a combustão também pode realizar o acionamento das rodas. Esta característica possibilita a ação conjunta ou independente de cada motor, dando mais flexibilidade ao sistema.

Esse tipo de configuração possibilita o motor a combustão se manter deligado quando necessário, além de não ser acionado para velocidades baixas. A conversão de energia é análoga à série, diferindo pela parcela de acionamento do eixo das rodas pelo motor a combustão. A Figura 3 demonstra o esquemático do VE híbrido paralelo e sua conversão de energia.

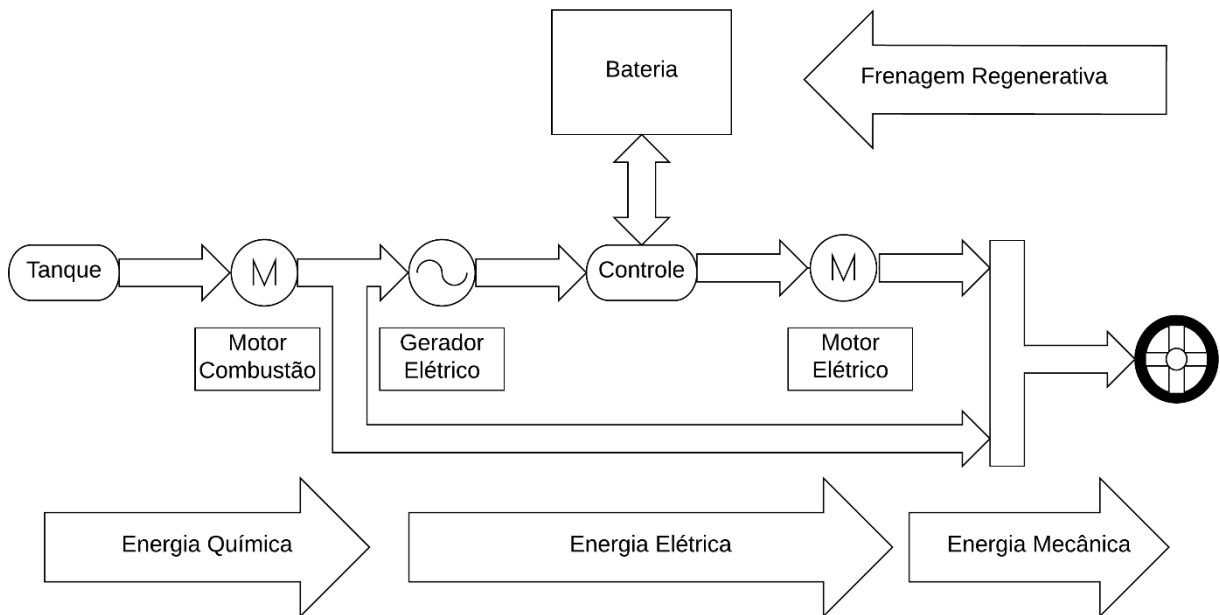


Figura 3 Veículo Elétrico Híbrido Paralelo

A configuração do veículo híbrido série/paralelo, ou também conhecido como sistema misto, apresenta uma combinação dos dois sistemas descrito acima. Tal configuração visa obter os benefícios de operação de ambos, apresentando uma configuração bem semelhante ao sistema em paralelo, no qual o motor a combustão interna está acoplado diretamente ao eixo das rodas. Contudo, o que o difere é a possibilidade de desconectar o motor a combustão da transmissão e a operação se tornar semelhante ao híbrido série. Essa flexibilidade proporciona a utilização do motor elétrico ou a combustão nas suas formas ótimas quando o veículo estiver em rotações baixas ou altas, contando ainda com a opção da utilização dos mesmos simultaneamente com o auxílio de um acoplador mecânico. Entretanto, como desvantagem, como o veículo apresenta dois sistemas, seu preço acaba sendo afetado, pois além da complexidade mecânica, o carro apresenta um

gerador, um conjunto de baterias maior e um sistema de controle mais complexo. Um representante desse sistema é o Toyota Prius (BORBA, 2012), (SIMON, 2012)

2.4 VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO “PLUG-IN”

O VE híbrido plug-in apresenta a mesma configuração do VE híbrido, tendo como grande diferencial a possibilidade de funcionar na falta do combustível fóssil, ou seja, utilizar apenas energia elétrica. Isso é possível pois apresenta um sistema de baterias que podem ser carregadas por fonte externa de energia elétrica. Contudo, esse sistema de baterias deve ser mais robusto para suprir tal falta de combustível (BARASA, 2015).

Este veículo também pode apresentar as configurações de série, paralelo ou série/paralelo e o sistema de frenagem regenerativa, contribuindo com o aumento de eficiência e autonomia. A Figura 4 e a Figura 5 mostram os VE's híbridos plug-in nas configurações série e paralelo, juntamente com a conversão de energia (SIMON, 2012).

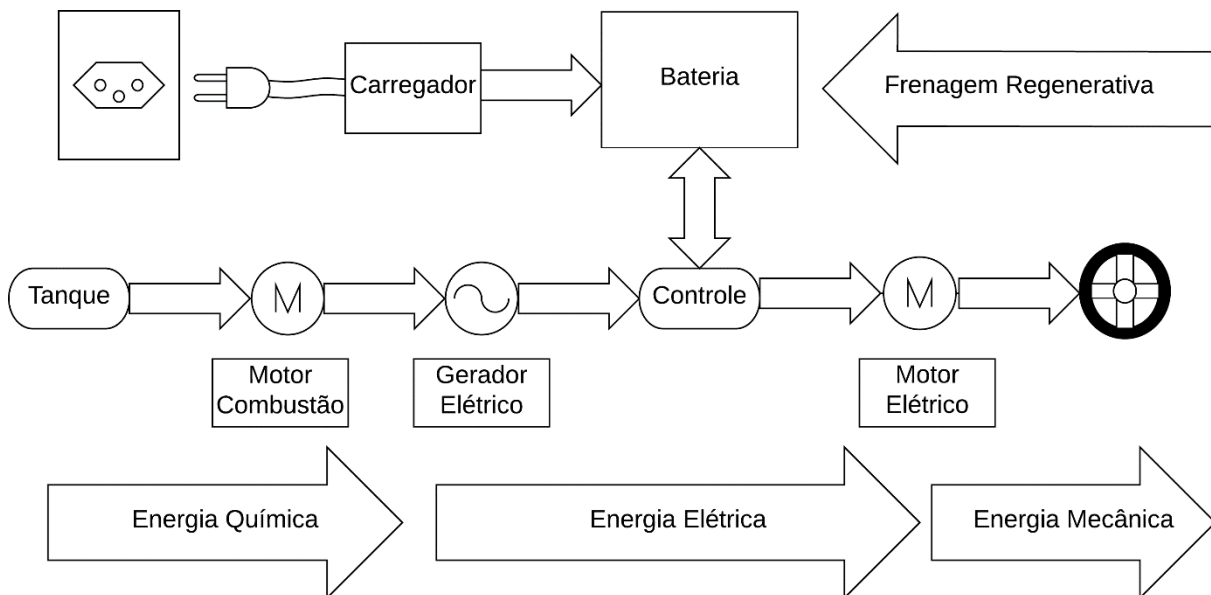


Figura 4 Veículos Elétricos Híbridos plug-in nas configurações Série

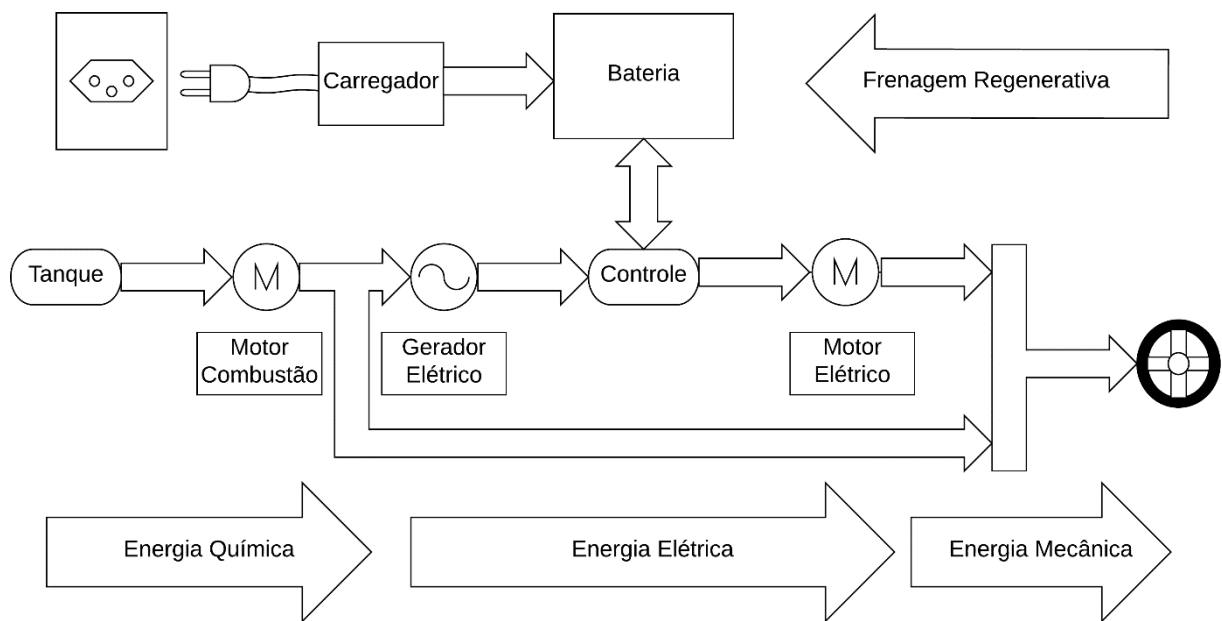


Figura 5 Veículos Elétricos Híbridos plug-in nas configurações Paralelo

Um benefício de se utilizar os VE's a bateria e os híbridos plug-in é na venda de energia elétrica à rede. Essa ação pode ser realizada quando o veículo não está sendo utilizado e se encontra conectado à rede, assim, a energia que será injetada é definida previamente pelo condutor de modo a preservar suas necessidades. Tais veículos poderão contribuir como sendo um serviço auxiliar na produção, funcionando como geração distribuída, porém, para o bom funcionamento dessa forma de operação é de fundamental importância a necessidade de redes inteligentes, ou smartgrids. Ressalta-se também a existência de normas e protocolos, para garantir a confiabilidade do sistema (BARASA, 2015), (BORBA, 2012).

3 RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

3.1 ASPECTOS GERAIS DA RECARGA

Um aspecto importante relacionado aos VE's é sua forma de recarga, isso é decorrente da grande quantidade de corrente elétrica que o mesmo pode drenar na rede por períodos prolongados de tempo, que chegam entre 5 e 7 h. Como consequência desse elevado nível de corrente, tem-se a preocupação com a segurança humana, uma vez que a instalação do VE pode apresentar falhas e, como o mesmo apresenta partes expostas, tem o risco de eletrocussão. Partindo dessa preocupação, normas vem sendo implantadas e constantemente revisadas em diversos países, objetivando sempre a segurança (SEBASTIÃO, 2014), (SGORME, 2011).

O conselho de trabalho da EPRI reuniu-se em 1991 com a indústria de VE, representantes de empresas automobilísticas, companhias de energia elétrica, fornecedores de componentes, fabricantes de equipamentos e organizações nacionais de normatividade, para estabelecer elementos de consenso sobre os métodos e requisitos de carga dos VE's plug-in. Inicialmente, foi definido pela EPRI três níveis de carga, contudo, em 16 de outubro de 2016 esse guia sofreu alteração passando a contar com mais uma modalidade de carga, sendo tais modelos apresentados a seguir (SEBASTIÃO, 2014), (SGORME, 2011).

3.2 MODO DE RECARGA

3.2.1 MODO 1

O Modo 1 de carga é o tipo mais simples de carregamento do VE, no qual o próprio usuário conecta seu carro na rede elétrica através de tomadas convencionais monofásicas com especificação de fase, neutro e terra até 16 A. Como medida de segurança é

necessário a utilização do disjuntor diferencial com sensibilidade de $I_n \leq 30 \text{ mA}$ (SEBASTIÃO, 2014), (OSORIO, 2013).

Uma outra opção é o modo de carga inteligente, que tem a capacidade de controlar o fornecimento de energia para a bateria. Esse sistema permite receber informações da rede e efetuar o carregamento nos momentos em que o sistema está menos carregado ou em horários que a tarifa de energia estiver mais barata, economizando o usuário e não sobrecarregando o sistema de distribuição local. Este tipo de sistema, além de ser utilizado em áreas residenciais, normalmente em garagens aonde o veículo fica nos períodos noturnos realizando a recarga, também pode ser alocado em estacionamentos de empresas durante o período diurno, pois não requer infraestrutura elaborada, já que trabalha com nível de tensão baixo, de 120 VCA e corrente de 15 A a 20 A , fornecendo uma taxa de potência de $3,44 \text{ kW}$. Porém, como essa taxa é baixa, o tempo de carga é longo (SEBASTIÃO, 2014).

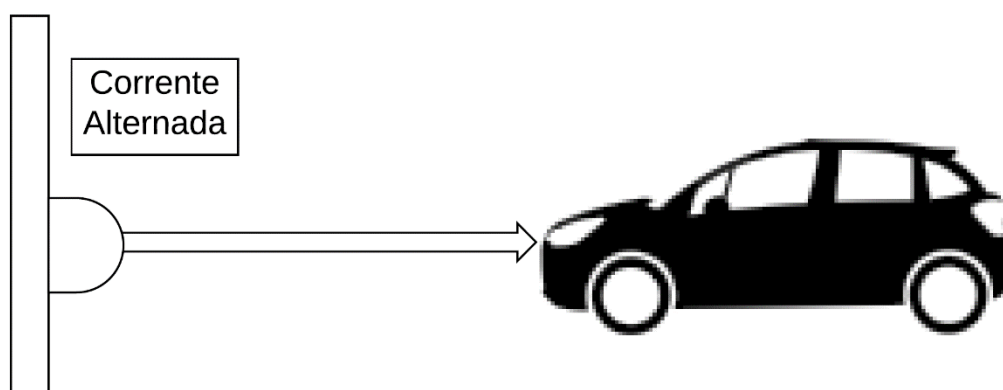


Figura 6 Recarga Modo 1

3.2.2 MODO 2

O Modo 2 de carga apresenta a Caixa de Controle do Cabo ICCB onde está o sistema de carregamento, toda parte eletrônica responsável pelo controle, e o disjuntor

diferencial com sensibilidade de $I_n < 30 \text{ mA}$. A ICCB tem seu cabo de ligação com terminação padrão de instalação residencial, comercial ou industrial da rede elétrica de distribuição e a outra terminação apresenta um outro cabo com terminação Modo 3, responsável pela conexão entre a ICCB e o VE (SEBASTIÃO, 2014).

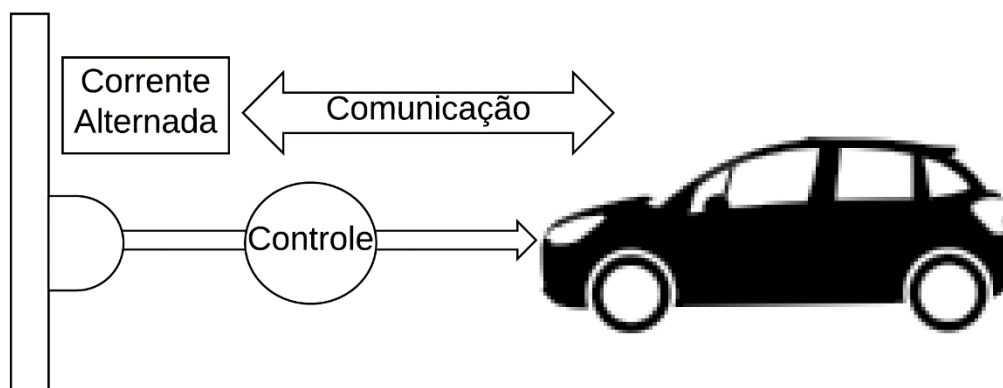


Figura 7 Recarga Modo 2

3.2.3 MODO 3

O Modo 3 de carga apresenta como uma de suas vantagens a característica de carga rápida, isso devido a maior taxa de carregamento de atinge níveis superiores a 20 kW , proporcionando um carregamento de 80% em menos de uma hora. Contudo, esse alto índice de corrente gera um aquecimento na bateria, vindo a mesma ter sua eficiência e vida útil reduzida, sendo assim o processo de carga é um fator de risco para o usuário. Este tipo de carga é mais indicado para estações de carregamento comerciais e públicas, podendo ter um nível de tensão de 480 VCA com circuito trifásico (SEBASTIÃO, 2014).

O grande diferencial do modo 3 é que este sistema foi desenvolvido especialmente para os VE, na qual sua finalidade é aumentar o nível de segurança durante o carregamento do veículo. Sua característica principal, além dos condutores fase, neutro e terra é a

presença de um cabo adicional, responsável por realizar a comunicação e sensor de encaixe das tomadas. Essas tomadas apresentam também mecanismo de encaixe próprio tendo alguns tipos de design.

O cabo de comunicação realiza a comunicação entre o carro e o carregador através do envio de um sinal. Esse sistema identifica as condições da instalação elétrica de fornecimento e da tomada, permitindo um limite de corrente elétrica fornecida ao veículo. Caso ocorra alguma anormalidade, será enviado um sinal para o carregador, cujo o mesmo irá interromper a alimentação (OSORIO, 2013), (SEBASTIÃO, 2014).

Um veículo que possua o sistema Modo 3 de carregamento, apenas conseguirá se carregar com a presença de outro sistema Modo 3.

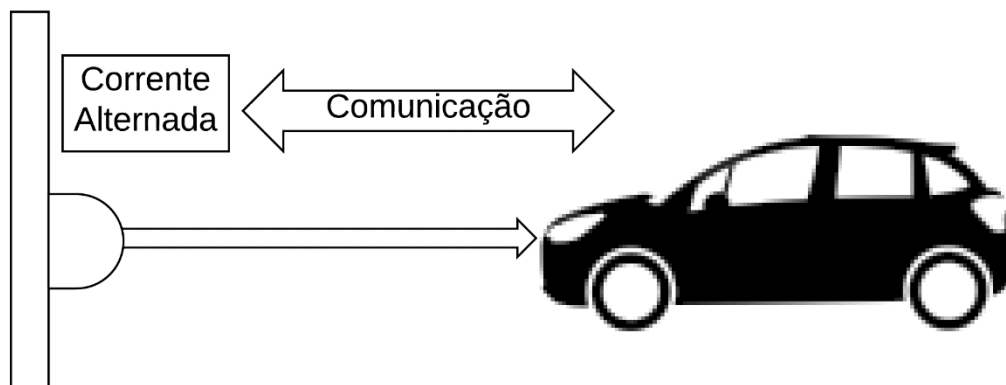


Figura 8 Recarga Modo 3

3.2.4 MODO 4

O Modo 4 de carga apresenta como característica a utilização de corrente contínua para alimentar o conjunto de baterias do veículo. Esse sistema realiza um by-pass no carregador interno que o carro apresenta, contando com carregamento rápido que permite entregar uma potência de até 62,5 kW, utilizando tensões de 500 VCC e corrente de 125 A, com conectores especiais. O ponto de carregamento é constituído do carregador e um conversor de energia CA para CC, além do cabo com a presença do

circuito de comunicação, para garantir que não ocorra injeção de corrente, que possa afetar o usuário (OSORIO, 2013), (SEBASTIÃO, 2014).

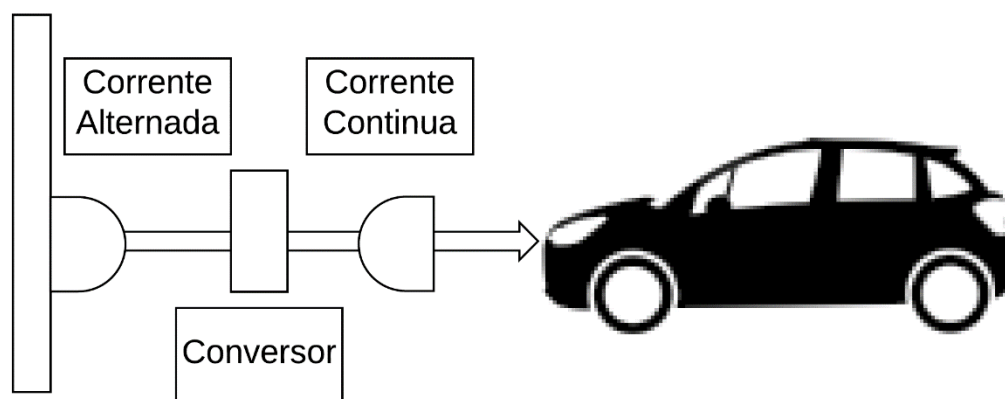


Figura 9 Recarga Modo 4

3.2.5 TIPOS DE PLUGS

Os plugs são os modelos mais comuns de conexão para VE's. A seguir será apresentado os três modelos de plugs mais utilizados.

O Tipo 1 é o SAE j1772, proveniente da norma norte-americana IEC 62196-2, responsável por padronizar conexões elétricas para VE's nos EUA. Esta contempla conexões elétricas, protocolos de comunicação e especificações de desempenho dos sistemas de recarga, que utiliza tensão de entrada de 120 V ou 240 V em corrente alternada. Suas especificações apresentam cinco pinos, sendo três com bitolas circular de 43 mm, responsáveis pela alimentação de proteção. Os outros dois pinos são de bitola menor, um denominado pino de detecção de proximidade, é responsável por não deixar o veículo se mover quando estiver conectado ao eletroposto, e outro é responsável por realizar a comunicação na qual é gerada uma onda quadrada com tensão de $\pm 12 V$ e frequência de $1kHz$. Este último estabelece uma comunicação entre o veículo e o

eletroposto, transmitindo a informação da corrente máxima de recarga e do controle da recarga (EPE, 2015), (CPFL, 2017).

A norma SAE J1772 estabelece dois níveis de recarga. O Modo 1 consiste na recarga lenta em corrente alternada com as especificações de ser monofásica de 120 V, corrente máxima de 16 A e potência de 1,9 kW, sendo seu principal foco de utilização instalações residenciais. O Modo 2 também ocorre em corrente alternada monofásica, porém, utiliza uma tensão mais elevada, de 240 V, uma corrente de 80 A e potência de 19,2 kW, sendo mais indicado sua utilização em eletropostos públicos.

O plug Tipo 1 é encontrado nos VE's que são comercializados nos EUA e Canadá. Os modelos que apresentam esse tipo de conexão são o Tesla Model S, porém a Tesla fornece um adaptador, Toyota Prius Plug-in Hybrid, Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit VE, Kia Soul VE, Nissan Leaf e o Chevrolet Volt (CPFL, 2017).

O Tipo 2 é o Mennekes, batizado com o nome de seu fabricante, é especificado pela norma IEC 62196-2, que foi adotado pela Associação dos Fabricantes Europeus de Automóveis, sendo empregado em veículos e nas estações de carga. Sua principal característica é ter a flexibilidade de utilizar três métodos de carga em corrente alternada: normal, semirrápida e rápida, utilizado em circuitos monofásicos e trifásicos, apresentando correntes na faixa de 13 a 63 A e potências entre 3,7 kW a 44 kW. Este tipo apresenta os pinos de terra e de controle, para estabelecer a comunicação do veículo e do eletroposto, visando a proteção e segurança, com o intertravamento elétrico ou mecânico e a verificação do aterramento do eletroposto. Os modelos que apresentam esse tipo de conexão, são os Volkswagen e-Golf e Up!, BYD e6, BMW i3 e os Renault Kangoo Z.E., ZOE e Fluence (SGORME, 2011), (CPFL, 2017).

O padrão CHAdeMO que utiliza recarga rápida em corrente alternada, foi desenvolvido por uma associação formada no Japão e tem a participação das empresas Tokyo Electric Power Company, Nissan, Mitsubishi, Toyota e Fujy Heavy Industries. Este padrão foi

o pioneiro em recargas rápidas com corrente alternada, utilizados não só no Japão, mas também nos EUA. Sua comunicação entre o veículo e o eletroposto é realizada através do protocolo CAN e seus níveis de potências podem ser de até 62,5 kW. Os veículos deste padrão apresentam uma tomada extra destinada apenas para essa forma de recarga. Os modelos que apresentam esse tipo de conexão, são o Fiat 500, Kia Soul VE, Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV, Citroen C-Zero e o Peugeot iOn (CPFL, 2017).

O sistema combinado de recarga CCS foi desenvolvido pela SAE e a IEC, com o propósito de permitir a recarga em CC, recarga rápida e em CA, lenta ou rápida. Com essa flexibilidade o usuário utiliza grande parte dos eletropostos disponíveis, já que estes apresentam uma estrutura comum para a grande maioria de VE's.

O projeto dessa conexão apresenta um design compatível com as recargas em corrente alternada monofásicas e trifásicas e em corrente contínua rápida em um único dispositivo. Ela acompanha o padrão tipo 1, denominado Combo Tipo 1, e o padrão tipo 2, denominado Combo Tipo 2.

O Combo Tipo 1 segue o padrão SAE J1772, dividido em duas partes, a superior é destinada a carga em corrente alternada nos Modos 1 e 2 com potência de até 19 kW e a parte inferior apresenta duas entradas destinadas a recarga rápida em corrente contínua, com nível de tensão de 500 V, corrente de 200 A, sendo potência máxima de 100 kW.

O combo Tipo 2 segue o padrão Mennekes, também dividido em duas partes, sendo a superior em corrente alternada com a possibilidade de utilizar carga rápida de potência de até 43 kW e parte inferior com a recarga rápida em corrente contínua.

Este padrão foi lançado em 2012 e conta com oito montadoras utilizando, sendo a Audi, Chrysler, Daimler, Ford, Porsche além das montadoras GM Chevy Spark VE (Tipo 1), BMW i3 (Tipo 1 nos EUA e Tipo 2 na Europa), Volkswagen e-Up! (Tipo 2) e o e-Golf (Tipo 2) com seus respectivos modelos (CPFL, 2017).

3.3 ELETROPOSTO

A recarga do VE pode ser realizada na residência do proprietário do veículo através dos modos 1 e 2 de recarga, explicados anteriormente. Outro modo possível se dá pelo uso das estações de carga, que são popularmente conhecidas como eletropostos (EPR, 2017), (SGORME, 2011).

Os eletropostos são estações de recarga localizados em perímetro urbano e rodoviário que têm por finalidade suprir as necessidades de energia dos VE's. Eles podem ser de corrente alternada ou contínua, sendo o tempo de recarga dependente da potência do carregador e do estado de carga da bateria e podendo variar entre 4 e 8 horas a depende das características da rede elétrica do local. Isso porque a mesma pode ser monofásica ou trifásica. Existe também eletropostos de recarga rápida no qual uma recarga de 80% pode demorar cerca de 30 minutos e de recarga semi-rápida que leva de 1 a 2 horas. Essas são geralmente aplicadas em ambientes onde os usuários passam um número maior de horas como em shopping centers e supermercados.

O custo da recarga é outra variável que depende da capacidade de armazenamento da bateria e do seu estado de carga, além da tarifa da concessionária de distribuição local. Outro fator que influencia é a utilização do veículo e de equipamentos que proporcionam conforto ao condutor, como ar condicionado e aquecedores.

O Brasil não conta com uma rede de eletroposto, sendo reflexo do próprio número de veículos híbridos plug-in e elétricos puros. Os eletropostos existentes são de instituições privadas financiados através de investimentos próprios e parcerias.

Um exemplo de implementação de eletroposto é o da CPFL, que através do projeto de P&D estuda os impactos da utilização dos VE's, sendo financiado com recursos do programa de P&D da ANEEL. A pesquisa, iniciada em 2013, receberá R\$ 21,2 milhões em investimentos até 2018, ano de sua conclusão (CPFL, 2017).

Os frutos desse projeto são a presença de seis eletropostos públicos em operação, espalhados na cidade de Campinas e, um do tipo carregamento rápido, na empresa Bosch. Além disso, ressaltam-se os desafios para a segunda etapa do projeto, que consiste na ampliação da frota de veículos que passará a conter 16 carros e aumentar o número de eletropostos para 25, alocados em locais públicos. Outra parceria desenvolvida pela CPFL foi com a empresa Graal, na criação do primeiro corredor elétrico do País, localizado nas Rodovias Anhanguera e Bandeirantes, nas proximidades do município de Jundiaí (CPFL, 2017).

A Europa apresenta uma quantidade maior de eletropostos decorrente do maior número de montadoras de VE's. A tendência para os próximos anos é que a rede eletropostos multiplique, impulsionada por medidas políticas de incentivo como a da Alemanha, na utilização dessa forma de transporte. Outra notícia referente aos eletropostos foi publicada em novembro de 2016 na qual as empresas BMW, Daimler, Ford e Volkswagen, esta última por meio de suas marcas Audi e Porsche, assinaram um memorando de entendimento para criar uma "joint venture" e construir uma rede de recarga elétrica ultrarrápida para VE's movidos a bateria (ANFAVEA, 2017).

O objetivo dessa iniciativa é cobrir todas as rotas de viagens dos Países Europeus, com isso espera-se uma maior aceitação e adoção deste tipo de veículo, pois exige uma mudança de hábito. Assim, as empresas apostam em uma rede de recarga de alta potência, baseada na tecnologia padrão CCS para carregamento em corrente alternada e contínua, chegando ao nível de capacidade para carregamento rápido em corrente contínua, com até 350 kW. A previsão do projeto é ter início em 2017 com 400 postos e chegando ao patamar de 1 mil até 2020, instalados em locais que ainda não apresentam postos e em rodovias e vias de tráfegos importantes, possibilitando a maior comodidade para o usuário (ANFAVEA, 2017).

3.4 CONSUMO E RENDIMENTO

A CPFL criou o Programa de Mobilidade Elétrica que tem como objetivo realizar parceria e prover estudos sobre o impacto dos VE's na rede elétrica e no planejamento da expansão do sistema. Além de abordar o uso destes veículos como fonte de geração distribuída, os aprimoramentos regulatórios e legais, o ciclo de vida e reaproveitamento das baterias, o estudo de tarifas e cobrança, a proposição de um modelo de negócios para a mobilidade elétrica no Brasil e outras questões relacionadas.

Os resultados apresentados na primeira fase do estudo mostram que a utilização do VE é uma excelente opção para o usuário que busca economia. Os dados levantados pelo projeto mostram que o quilômetro rodado com um automóvel com motor a combustão interna é de aproximadamente R\$ 0,31 e o custo utilizando por VE é de R\$ 0,11, adotando como base os seguintes valores: 10% de perdas no processo de recarga da bateria de 22 *kWh*, preço do *kWh* na tarifa com impostos CPFL Paulista residencial (consumo acima de 200 *kWh*) de R\$ 0,6669, e preço médio da gasolina em São Paulo em 2016 de R\$ 3,764, tendo o veículo a combustão uma eficiência de 12 *km/l*. Desse modo, utilizar o VE é mais barato que um carro convencional.

Esses resultados são baseados em seus estudos na qual a CPFL fornece a um colaborador, um veículo e a instalação de um eletroposto na residência com um medidor inteligente. Com isso, torna-se possível estudar o impacto que esse veículo causa na conta de energia do consumidor, as adaptações necessárias na residência, as vantagens do uso do VE e as principais mudanças de rotina do usuário. O primeiro usuário permaneceu com o VE aproximadamente seis meses podendo realizar recargas em sua residência e em eletropostos públicos.

Os seguintes resultados foram obtidos durante um tempo de 171 dias totalizando 6.214 *km* rodados com 85 recargas realizadas com uma energia de 1.515,7 *kWh* e um custo médio por recarga de R\$ 12,10. O veículo apresentou uma autonomia de

aproximadamente 119 *km*. Para ter uma base comparativa, foi utilizado o Toyota Fielder à combustão interna com um média de 9,75 *km/l* considerando ciclo misto. A economia com combustível foi de R\$ 1.263,60 e o VE deixou de lançar aproximadamente 876 *kg* de CO_2 na atmosfera.

A multinacional americana 3M também realizou estudos utilizando o veículo elétrico, o modelo escolhido foi o Renault Kangoo. Para compor sua frota de cargas, o veículo percorreu durante 22 meses, com média de 58 *km/dia* totalizando 6.130 *km* percorridos. O gasto com recarga, considerando a tarifa industrial A4 da CPFL Paulista de R\$ 0,31/*kWh*, ficou em R\$ 930, comparando com o mesmo modelo de veículo, porém, a gasolina, este gasto seria de R\$ 5,95 mil. Ou seja, uma economia de 84% apenas com combustível, sem levar em conta a redução das despesas com troca de óleos, filtros e velas (CPFL, 2017).

3.5 BATERIAS E NOVAS TECNOLOGIAS

Nos próximos anos haverá um grande mercado de VE's, impulsionado pelas novas tecnologias de baterias recarregáveis, que irão contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor de transporte, reduzindo os impactos ambientais. Outro ponto em destaque é a utilização de energias renováveis na recarga dos VE's, já que esta questão é levantada em relação ao aumento da demanda e a capacidade do sistema elétrico em suportar as inúmeras recargas (OSORIO, 2013), (SGORME, 2011). A empresa Norte Americana Tesla já disponibiliza como alternativa de recarga o uso de painéis fotovoltaicos que recarregam baterias durante o dia para ser disponibilizada ao VE durante a recarga no período noturno (Tesla, 2016).

As baterias apresentam como características: a energia específica, que se trata da quantidade de energia armazenada na bateria por unidade de massa, a potência específica, que é a potência fornecida por unidade de massa, e o tempo de vida útil, que

corresponde ao número de ciclos de carga e descarga a que pode ser sujeita. Sendo assim, os veículos puramente elétricos necessitam de uma densidade de energia e um tempo de vida útil maior, decorrente de a bateria ser sua única fonte de energia. Já os VE's híbridos e híbridos plug – in possuem como necessidades uma maior potência específica e menor energia específica (OSORIO, 2013), (BORBA, 2012).

A matéria prima base para produção de baterias que suprem os VE's é o lítio, que está sendo considerado “a nova gasolina”. A tendência de crescimento desta matéria prima é decorrente das projeções de desenvolvimento da indústria automobilística e equipamentos que utilizam baterias. A consultoria AlixPartners estima que atualmente o VE é cerca de 45% mais caro que os carros convencionais, porém em 2025 essa diferença vai ser reduzida para 5%, sendo um estimulante para venda de carros elétricos. Segundo a consultoria IHS Chemical o consumo de lítio destinado a VE's atualmente é de 33%, contudo existe a expectativa desse índice aumentar até 2025, pois prevê que 40% dos novos emplacamentos do mundo serão constituídos de VE's e híbridos, e tais veículos utilizariam baterias de lítio. Essa demanda será 11 vezes maior do que é hoje, podendo chegar à marca de 300 mil toneladas. Para se ter uma ideia da necessidade do uso do metal, um automóvel como o Chevrolet Volt, híbrido da GM, precisa de 100 vezes mais lítio do que o usado em um notebook para ter autonomia de 60 quilômetros.

3.6 POLÍTICAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

3.6.1 CONSELHO FEDERAL ALEMÃO

Uma notícia que surpreendeu o mundo no final de 2016 foi a decisão do conselho federal alemão, o Bundesrat, que votou pela proibição da venda de motores a combustão interna, até 2030, e da circulação destes, até 2050. A medida é para incentivar o uso de motores alimentados a eletricidade, hidrogênio ou outras fontes de energia limpa,

tendo este incentivo o propósito de reduzir as emissões de dióxido de carbono entre 80 a 95% até o ano de 2050 (ABVE, 2017).

Essa decisão foi tomada a fim de atender as propostas do Pacto Mundial sobre o Clima da Conferência de Paris, em dezembro de 2015. Assim, o governo alemão pretende investir US\$ 1,3 bilhão para subsidiar a compra de carros elétricos até 2019 e para incentivar o processo de substituição dos carros à combustão.

A chanceler alemã Angela Merkel, juntamente com executivos das principais montadoras do país e as empresas de energia, se reuniram em Berlim em uma conferência sobre o futuro dos automóveis elétricos na Alemanha, para lançar a nova iniciativa para o desenvolvimento dos VE's, denominada "Plataforma Nacional para a Mobilidade Elétrica".

A Alemanha conta com uma frota de 43 milhões de veículos, sendo 7 mil elétricos. Merkel pretende com tal medida ter um milhão de carros na Alemanha até 2020. Porém, existem fatores limitantes, como o desafio de ter veículos convincentes e uma ampla infraestrutura de estações de recarga públicas no país que chegam a 2 mil, além do fato de parte da população não poder recarregar o carro na garagem de seu domicílio. Outro fator é o preço, já que o VE custa aproximadamente 50% mais que um veículo com motor a combustão.

É importante ressaltar que a resolução do Bundesrat não tem efeito legislativo, ela precisa ser aprovada pela União Europeia para ter validade, entretanto, as regulações alemãs tradicionalmente têm moldado as regulações da União Europeia e da UNECE (ABVE, 2017).

3.6.2 MEDIDAS POLÍTICAS BRASILEIRAS

O governo brasileiro começa a seguir a tendência mundial no seguimento de transporte com baixa ou nenhum índice de poluição atmosférica. Discussões como o P&D da ANEEL de realizar consulta pública para avaliar a necessidade de regulamentação dos aspectos relativos ao fornecimento de energia elétrica a VE's e o debate no Senado referente a pontos de recarga para VE's em vias públicas e ambientes residenciais e comerciais, são destaque no cenário nacional. Algumas medidas já foram tomadas, como a isenção de impostos para VE's e a hidrogênio.

O governo zerou os impostos de importação para carros elétricos com autonomia de 80 km usando apenas uma carga e para veículos a hidrogênio, que funciona com eletricidade gerada ao misturar combustível de hidrogênio e o oxigênio do ar, resultando desta reação apenas vapor de água e calor. Contudo, tal tecnologia ainda está restrita ao Japão (ABVE, 2017).

CAMEX em 2014 já havia reduzido o imposto de importação para carros híbridos de cilindrada entre $1,0 \text{ cm}^3$ a $1,50 \text{ cm}^3$, com capacidade inferior ou igual a seis passageiros, e híbridos plug-in de cilindrada entre $1,5 \text{ cm}^3$ a $3,0 \text{ cm}^3$, com capacidade inferior ou igual a seis passageiros, reduzindo a alíquota de 35% para valores entre zero e 7%, dependendo da eficiência energética do veículo e agregação de valor no país (CAMEX).

A decisão abre caminho para que outros modelos venham a ser comercializados do Brasil, já que o país conta com cerca de 3 mil VE's e híbridos. O BMW i3 é o único modelo de carro elétrico comercializado, os híbridos contam com cinco modelos, o sedã Ford Fusion Hybrid, o hatch Toyota Prius, o Lexus CT200, o Mitsubishi Outlander PHEV e o esportivo BMW i8.

Outro ponto que teve destaque foi o incentivo dado pela cidade de São Paulo que ofereceu desconto de 50% no IPVA e isenção do rodízio municipal para VE's, híbridos e a hidrogênio. O limite de desconto de IPVA na capital paulista é de R\$ 10.000 e tem

validade por cinco anos. Para ser beneficiado o carro deve custar menos que R\$ 150 mil. Os modelos que atendem são o Toyota Prius, Ford Fusion Hybrid, Mitsubishi i-Miev e o Lexus CT 200h.

Além da cidade de São Paulo, os estados de Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul e São Paulo dão desconto de 50% e os estados do Piauí, Maranhão, Ceará, Sergipe, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte e Pernambuco dão isenção do IPVA para modelos elétricos (ABVE, 2017).

4 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E METODOLOGIA PROPOSTA

4.1 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

O SEB se caracteriza por sua grande dimensão territorial e diversas bacias hidrográficas, sendo estas responsáveis pela predominância de usinas hidrelétricas. A utilização das usinas proporciona ao sistema a capacidade da regularização plurianual dos seus reservatórios. Contudo, as aflúências nas regiões do país e, conseqüentemente nos reservatórios, apresentam características estocásticas, podendo muitas vezes apresentarem comportamentos complementares, o que incentiva a existência de intercâmbios energéticos entre os submercados através do SIN (BRANDI, 2011).

A reestruturação do setor elétrico brasileiro foi fundamental para incorporar mecanismos de mercado em diversos segmentos da indústria de energia elétrica, sendo mais eficiente, com qualidade melhor e custo reduzido, já que se trata de um insumo muito importante para a sociedade. Para organizar e delegar as funções necessárias para que este sistema seja eficiente e coeso, o Governo Federal definiu um conjunto de agentes, com competências e atribuições bem definidas.

As atividades do governo são exercidas pelo CNPE, pelo MME e pelo CMSE. As atividades de regulação são exercidas pela ANEEL e, adicionalmente, entes operacionais executam as atividades técnicas, as quais sejam planejamento da expansão do setor EPE, planejamento e programação da operação ONS e a viabilização das atividades de comercialização CCEE.

Como foi mencionado o setor elétrico brasileiro apresenta características únicas, o que torna as atividades de planejamento do sistema e operação, complexas e de difícil implementação. Por isso, é importante o planejamento de longo prazo realizado pela EPE, o planejamento de curto e médio prazos, tarefa essa executada pelo ONS e a CCEE que atua no mercado de energia de curto prazo, tendo como objetivo final resolver as diferenças entre a oferta e a demanda (FERREIRA, 2013).

4.2 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

A industrialização brasileira e o crescimento populacional durante as últimas décadas, fez com que o setor elétrico recebesse mais atenção e investimentos, necessário para suprir a demanda por energia elétrica, com isso os sistemas de transmissão foram se interligando e o SIN ganhou complexidade e dimensões continentais.

A finalidade dessas interligações é decorrente do Brasil possuir um sistema hidrelétrico e os reservatórios de água das usinas serem utilizados de forma coordenada, extraído de forma ótima a diversidade pluviométrica das diferentes bacias. O objetivo é atender o consumidor de forma contínua, confiável e com custos reduzidos. A interligação entre as regiões resulta em melhor aproveitamento do recurso e permite que a energia gerada em qualquer ponto do país seja consumida por diferentes consumidores, em regiões distintas (FERREIRA, 2013).

O papel do ONS é executar as atividades de coordenação e controle da operação de geração e transmissão, para garantir o suprimento de energia. Na operação desse

sistema muitas decisões são tomadas perante um ambiente de incertezas e necessitam de processos sistemáticos de apoio à decisão, em especial sobre as perspectivas do futuro, decorrente a natureza estocástica do problema (FERREIRA, 2013).

Outra característica do SIN é a presença de termelétricas que geram energia em períodos nos quais a geração hidrelétrica não é suficiente e em situações estratégicas, pois a prioridade é utilizar as hidrelétricas no abastecimento do mercado devido ao custo de produção inferior as das térmicas. Com isso a decisão operativa entre o uso de térmicas e hidrelétricas é um fator muito importante na determinação do preço da energia e na garantia do fornecimento (OLIVEIRA, 2013).

4.3 PLANEJAMENTO DE SISTEMAS HIDROTÉRMICOS

A característica hidrotérmica em conexão com todo o sistema, traz alguns desafios à operação do sistema hidrelétrico, dependente do regime de chuvas, que é incerto. Para contornar as incertezas hidrológicas, a operação precisa incorporar mecanismos de projeção do comportamento hidrológico futuro. As usinas hidrelétricas estão muitas vezes construídas geograficamente em cascata no leito de um mesmo rio, com isso, a operação da usina à montante interfere na operação das usinas à jusante, razão pela qual o planejamento da operação também precisa incluir mecanismos de operação integrada das centrais geradoras.

Todas essas incertezas associadas ao parque hidrelétrico trazem consequências para as decisões tomadas pelo ONS sobre o despacho, já que elas podem interferir nas condições futuras do sistema elétrico de ofertar energia e nos custos econômicos envolvidos. A decisão de usar hoje toda a energia contida nos reservatórios pode levar a um custo muito baixo no presente, já que a energia hidráulica é mais barata. No entanto, isso pode acarretar um custo muito alto no futuro porque o sistema terá de usar termoelétricas e vice-versa, exemplo disso é uma situação em que, no presente

momento, toda a água disponível nos reservatórios é utilizada a “custo zero” e as afluências nos próximos períodos serão baixas. A consequência de tal decisão será o despacho de mais usinas termelétricas com conseqüente aumento no valor da energia. E, caso as térmicas não sejam suficientes, haverá interrupção do fornecimento de energia.

A outra situação ocorre quando existe água disponível nos reservatórios, não sendo a mesma utilizada no presente momento e as afluências dos próximos períodos serão abundantes, podendo ocorrer o vertimento, que caracteriza desperdício de energia e aumento desnecessário do custo de operação. Isso é o que se chama de dilema do operador apresentado na Figura 10.

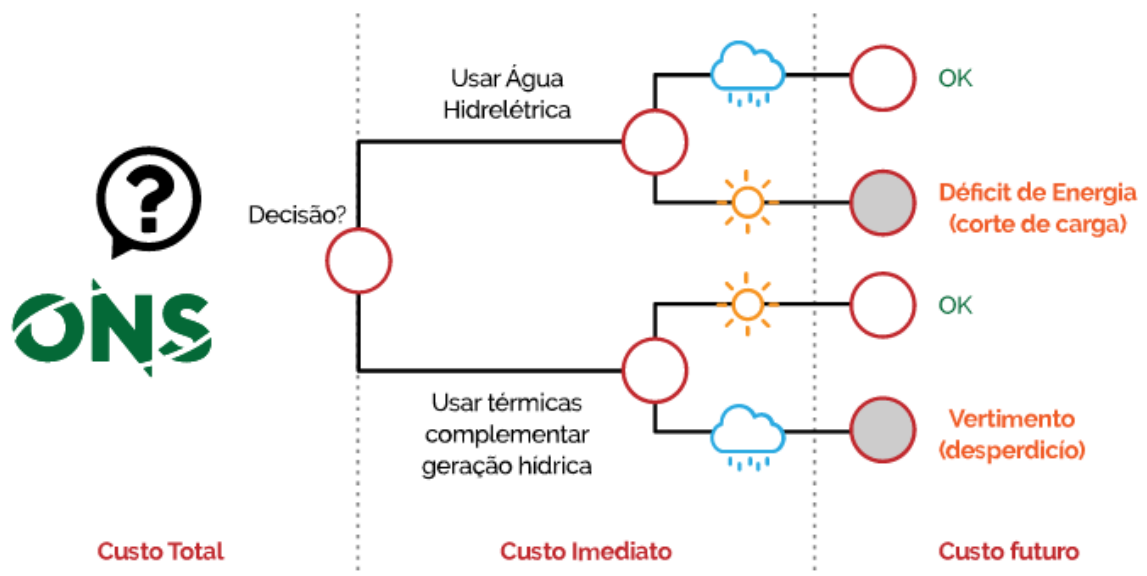


Figura 10 Dilema do Operador Nacional do Sistema Elétrico

Para solucionar tal problema de forma ótima é necessário levar em consideração a estocasticidade dos regimes de chuvas, a localização geográfica de cada usina, já que grande parte dessas usinas estão dispostas em cascata, e a minimização do custo presente da geração mais o custo futuro, ou valor da água. Sendo assim, o objetivo do Planejamento da Operação é minimizar o Custo Total no horizonte de estudo.

O Custo Total é composto da soma dos custos variáveis, do custo de geração térmica e do custo de déficit, desse modo, a estratégia visa ter o mínimo custo. As duas parcelas que compõem o Custo Total, são o Custo Imediato, referente às decisões que são tomadas no momento e o Custo Futuro, referente às decisões que serão tomadas no futuro. Como o SEB tem a predominância da hidroeletricidade, o que causa a interdependência no tempo, o Custo Futuro recebe influências das decisões realizadas no presente.

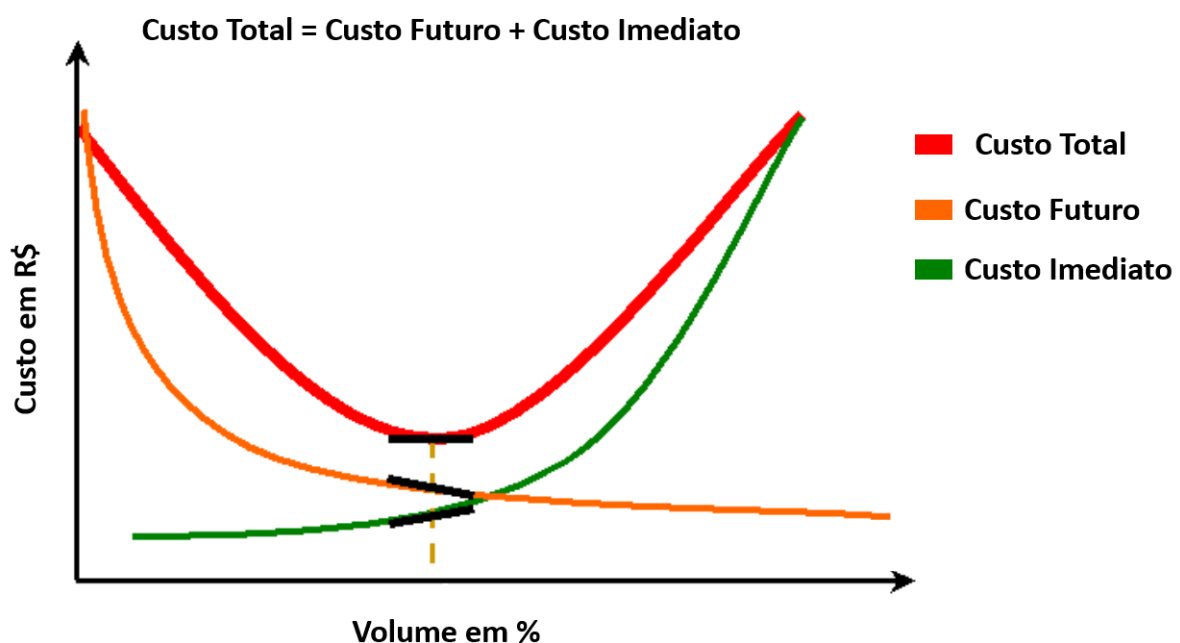


Figura 11 Curva de Custo Total

O objetivo é tomar decisões no presente para que o reservatório chegue ao final do mês com um volume que garanta o menor Custo Total, podendo ser verificado na Figura 11, na qual a derivada das inclinações das curvas de Custo Imediato e Custo Futuro se anulam no ponto de menor Custo Total.

Da curva de Custo Futuro ou Função de Custo Futuro da Figura 11, pode-se extrair que a inclinação desta, indica como varia o Custo Futuro em relação ao Volume

Armazenado. A derivada do Custo Futuro é conhecida como Valor da Água. Já a curva de Custo Imediato se caracteriza pela ordem crescente dos custos de geração térmica e de déficit, sendo sua inclinação para cada volume ao final do mês corresponde ao custo da geração térmica ou déficit necessários para se atingir aquele volume armazenado.

Então, com o conhecimento dos custos de geração térmica e de déficit, que representam a curva de Custo Imediato mais a Função de Custo Futuro, o menor custo total para o despacho energético é alcançado quando se equilibra a geração hidráulica e térmica, de forma a igualar o Valor da Água ao custo de geração da térmica mais cara que estiver sendo despachada. Conforme verificado na Figura 11 o custo mínimo de operação é alcançado quando as derivadas das Funções Custo Futuro e Custo Imediato em relação ao Volume Armazenado for nula, sendo essas derivadas simétricas.

O resultado do cálculo da política ótima de operação fornece o Valor da Água, que corresponde ao valor da geração térmica mais o déficit no fornecimento. Sendo assim, é possível representar uma usina hidrelétrica como se fosse uma térmica, na qual o custo de operação é o Valor da Água.

Com o Valor da Água de cada usina é possível obter a solução da política de operação e a operação do sistema de maneira integrada, na qual se faz necessária a otimização conjunta da operação de todos os submercados, com o objetivo de minimizar o custo total de operação. Porém, devido à complexidade do problema, sua solução requer a decomposição em uma cadeia de modelos acoplados que consideram horizontes de longo, médio e curto prazo.

Os primeiros estudos para modelagem do SEB começaram no final da década de 70, na qual o planejamento e coordenação dos recursos hídricos eram realizados através da curva guia, que indica o nível do reservatório e sua variação durante o ano. Entretanto, em 1979 a Eletrobrás e o CEPTEL, deram início a modelagem do problema com o modelo de PDE, na qual não considerava o intercâmbio entre regiões do sistema hidrotérmico

brasileiro como variável de decisão. Outra limitação que surgiu com o tempo, batizada de “Mal da Dimensionalidade”, trata-se da impossibilidade de representar o SIN devido à enumeração exaustiva de todas as possíveis soluções, levando a um alto esforço computacional, decorrente da representação de novos sistemas de transmissão e a interligação entre sistemas independentes.

Para resolver tal problema foi proposto a PDDE, que constrói aproximações lineares da Função de Custo Futuro, através da técnica de Decomposição de Benders e modela a incerteza das aflúncias com o modelo autorregressivo periódico, na qual as aflúncias passadas são consideradas variáveis de estado.

O planejamento da operação energética do SEB e sua modelagem é subdividida em diversos subproblemas, que são considerados um horizonte de planejamento específico, desagregados em horizontes temporais. A Figura 12 ilustra tal planejamento de médio prazo, curto prazo e a programação diária.

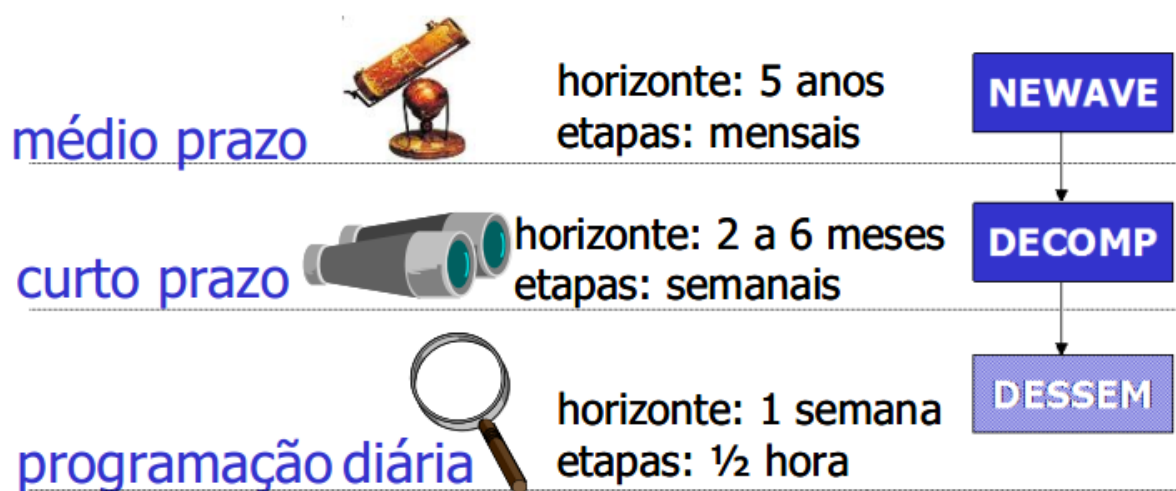


Figura 12 Etapas do Planejamento

Na análise de médio prazo o horizonte de estudo é cinco anos, discretizado em etapas mensais, onde ocorre a representação detalhada do processo estocástico de vazões afluentes, dos reservatórios. As usinas hidrelétricas que compõem cada sistema são

representadas de forma agregada, denominado sistemas equivalentes. Outra consideração é a possibilidade de troca de energia entre si, porém com limite de intercâmbio.

Já no curto prazo, com o horizonte de alguns meses, discretizado em etapas semanais, a incerteza relacionada às afluições dos reservatórios é representada através de uma árvore de vazões. As usinas são representadas de forma individualizada, com o objetivo de utilizar a Função de Custo Futuro gerada pelo modelo de médio prazo em um estágio que coincide com o final do horizonte do modelo de curto prazo, e de gerar uma função que retrate o valor econômico da água armazenada nos reservatórios a partir dos níveis de armazenamento (OLIVEIRA, 2013).

Na programação diária, em que o sistema é visto em um horizonte de apenas alguns dias, discretizados em etapas horárias ou de meia em meia hora, ocorre o detalhamento do sistema por todos os barramentos elétricos de interesse, restrições hidráulicas e representação detalhada das unidades geradoras. A função de custo futuro gerada pelo modelo de curto prazo no estágio que coincide com o último estágio do modelo de programação diária é utilizada para definir se a meta de geração de cada unidade geradora determina o despacho por usina para o próximo dia.

4.4 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA ESTOCÁSTICA

A programação dinâmica é uma técnica matemática desenvolvida com o qual se toma uma sequência de decisões inter-relacionadas. Seu algoritmo determina a combinação de decisões de forma a maximizar a eficácia do problema, sendo utilizada em problemas dinâmicos determinísticos ou estocásticos, com a restrição da função objetivo ser separável e monotônica (SCARCELLI, 2002).

A essência PDE utiliza o princípio da otimalidade proposto por Richard Bellman. Essa técnica permite transformar um problema de decisão sequencial com múltiplos estágios,

contendo diversas variáveis interdependentes em uma série de subproblemas (CAMPELLO, 2002).

A forma de resolução na busca do ponto ótimo, se inicia no último estágio de análise para o estágio inicial, sendo assim recursivo, na qual se enquadra no problema de planejamento, que necessita das afluências futuras. Sua desvantagem como já foi mencionado é o “mal da dimensionalidade” na qual resulta a enumeração exaustiva de todas as possíveis soluções, o que leva um grande esforço computacional

4.5 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA DUAL ESTOCÁSTICA

A PDDE é uma técnica alternativa à PDE. Foi a alternativa desenvolvida para solucionar o problema da dimensionalidade, por não ter a necessidade de discretizar todo o espaço de estado. Foi baseada no princípio de decomposição de Benders, que é uma técnica de relaxação utilizada em problemas de grandes dimensões (SIQUEIRA, 2003).

A formulação do algoritmo da PDDE considera o sistema dado em “n” estágios do horizonte de planejamento e “m” cenários com as realizações da variável estocástica que visa minimizar o valor esperado da operação. O valor da Função Custo Futuro é nulo inicialmente, devido não se considerar nenhuma informação sobre os outros estágios. Outra consideração que o método faz é em relação aos valores dos limites, inferior e superior. O limite inferior é zero pois corresponde ao custo da operação no primeiro estágio mais a Função Custo Futuro. Já o valor do limite superior assume valor infinito no início do processo, visto que corresponde à média do custo imediato de todos os estágios de planejamento (OLIVEIRA, 2013).

O NEWAVE, programa utilizado pelo ONS, utiliza a PDDE para resolver o problema de planejamento de longo prazo, com horizonte de cinco anos disretizados mensalmente, na qual utiliza séries de afluências sintéticas e modelo de reservatórios equivalentes, Sudeste/Centro Oeste, Sul, Nordeste e Norte.

4.6 METODOLOGIA

Os Planos Decenais elaborados no setor elétrico pela EPE, constituem um dos principais instrumentos de planejamento da expansão eletroenergética do país. A partir de 2007 estes Planos ampliaram a abrangência dos seus estudos, incorporando uma visão integrada da expansão da demanda e a oferta de diversos energéticos, além da energia elétrica. O PDE apresenta importantes sinalizações para orientar as ações e decisões voltadas para o equilíbrio entre as projeções de crescimento econômico do país e a necessária expansão da oferta, de forma a garantir à sociedade o suprimento energético com adequados custos, em bases técnica e ambientalmente sustentáveis (EPE, 2015).

A Representação esquemática das interligações entre subsistemas é mostrada na Figura 13, detalhando a forma prevista ao final do horizonte do estudo, para fins de simulação energética a subsistemas equivalentes. As interligações e as ampliações representadas em traços pontilhados mostram as previsões de incorporação ao SIN durante o horizonte decenal, diferenciando as já licitadas daquelas indicativas (EPE, 2015).

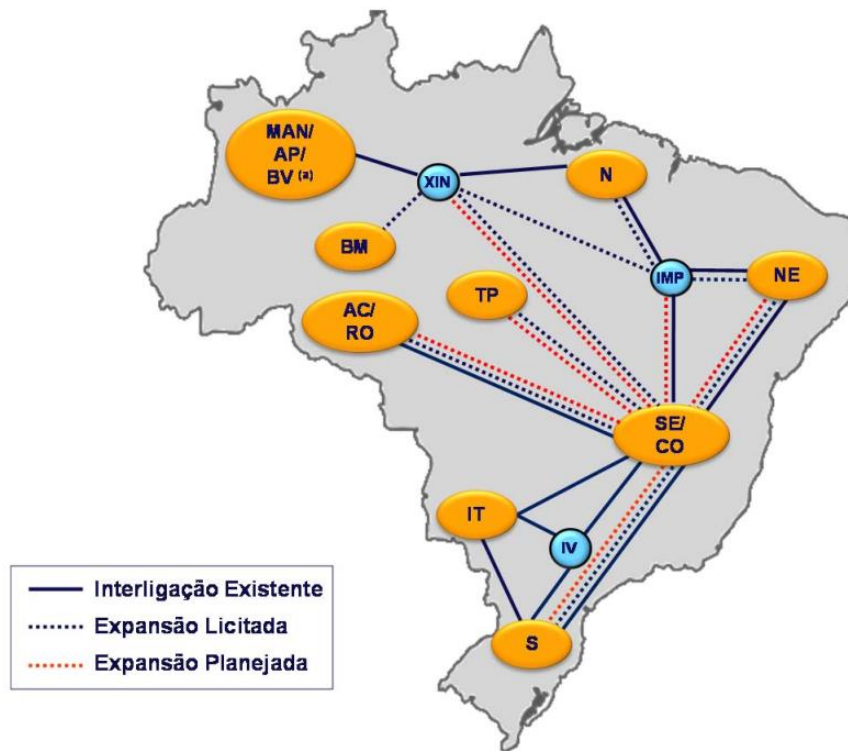


Figura 13 Subsistemas considerados pela EPE no PDE 2024

Os arquivos de dados utilizado no presente trabalho são de maio de 2014, que corresponde ao final do período úmido para as principais bacias hidrográficas. Estes arquivos levam em consideração o parque de geração de energia elétrica existente conforme dados do PMO referente a este mês. Os dados utilizados na simulação foram disponibilizados para o programa NEWAVE.

A fim de realizar as simulações do impacto dos VE's no SEB o software utilizado foi o MDDH, desenvolvido pela UFJF/ PUC-Rio através do programa de P&D Estratégico da ANNEL, que ocorreu nos anos de 2010 a 2011. O MDDH é similar ao NEWAVE que foi desenvolvido pelo CEPEL e é utilizado pelo ONS. A proposta do MDDH é trazer uma nova metodologia para a determinação das estratégias de operação hidrotérmica a longo prazo, diferente da implementada no NEWAVE. As principais características deste modelo computacional é utilizar configuração estática ou dinâmica, modelo equivalente com produtividade variável, possibilidade de usar múltiplos

subsistemas interligados e os modelos diferentes do auto regressivo periódico para as energias afluentes.

No presente trabalho os subsistemas do Plano Decenal foram agrupados em quatro subsistemas. A topologia de submercados é a mesma adotada nos estudos de planejamento da operação e de cálculo do PLD, dos modelos NEWAVE e DECOMP correspondem às regiões brasileiras, sendo que o Centro Oeste e o Sudeste são representados em um único submercado. Os principais troncos de transmissão entre estes submercados são considerados. A Figura 14 demonstra tal modelo.



Figura 14 Submercados considerados na Simulação MDDH

Foi realizado um estudo do consumo dos VE's e, através do levantamento de dados, obtém-se uma projeção de aumento na demanda de energia do Sistema Elétrico. São criados cenários de penetração de VE's no SEB. Estes cenários gerados são somados à

carga do SIN do SEB, no planejamento da operação a longo prazo, analisando desta forma o impacto de uma inserção de VE's no CMO do SEB.

4.7 CENÁRIOS

Para a criação dos cenários, com o intuito de ter uma projeção do consumo de energia elétrica pelos VE's, foi considerado a média anual de quilômetros rodados por veículo a combustão de 12.000 *km/ano* (MMA, 2013).

Foi realizado um levantamento dos VE's disponíveis pelas principais montadoras de veículos no cenário mundial. A Tabela 1 mostra alguns desses modelos e algumas de suas características elétricas. Foram utilizados os dados médios de alguns VE's, considerando uma média de rodagem de 12.000 *km/ano* apresentou uma autonomia de 137 *km* e energia consumida de 23 *kWh* por recarga. Assim, a projeção do número de recargas foi de 87 recargas/ano e a energia consumida foi de 2.037 *kWh/ano*.

Tabela 1 Dados de Veículos Elétricos Produzidos no Mundo

<i>Veículos Elétricos</i>				
Montadora	Modelo	Autonomia [<i>km</i>]	Energia [<i>kWh</i>]	Motor [<i>kW</i>]
Audi	e-tron	148	26,5	152
BMW	i3	130	-	125
Chevrolet	Spark	132	21,3	97
Volt	Volt	85	16	111
Fiat	500e	130	24	83
Ford	Focus	122	23	107
Honda	Fit	110	20	100
KIA	Soul	150	27	81
Mercedes-Benz	B250E	140	28	132
Mitsubishi	i-Miev	160	16	49
Nissan	LEAF - S1	172	30	80
Volkswagen	e-Golf	134	26,5	85
Smart	Smart	140	14	55

O Anuário da Indústria Automobilística Brasileira é uma publicação da ANFAVEA que objetiva reunir informações e estatísticas contemplando aspectos gerais, econômicos e sociais da indústria automobilística brasileira, bem como produção, vendas internas e exportações de veículos. Além disso, engloba máquinas agrícolas e rodoviárias, apresentando neste documento a frota estimada de automóveis no decorrer dos anos. Para este estudo foi considerado uma estimativa do aumento da frota de 6%, baseado nos últimos sete anuários disponibilizados pela ANFAVEA, segundo a qual a frota de veículos nacional correspondeu a 31.339.000, no ano de 2014.

Nos relatórios do DENATRAN também estão presentes as estatísticas de veículos e a informação da porcentagem de veículos por região. (Denatran, 2016). Foi verificada a distribuição de veículos para cada submercado, sendo encontrado os seguintes valores: Sudeste/Centro-Oeste 63%, Sul 22%, Nordeste 12% e Norte com 3% da frota de veículos nacional.

Como exemplo, a Tabela 2 apresenta cinco cenários fictícios de consumo de Energia dos VE's gerados, utilizando um aumento anual de 6% da frota de 2014 até 2024, supondo uma composição de 10%, 20%, 50%, 70% e 100%, respectivamente, de VE's na frota do país.

Tabela 2 Projeção do Consumo de Energia em GWh por parte dos VE's

CONSUMO DE ENERGIA EM GWh					
% da frota	2014	2017	2019	2021	2024
10%	6382	7486	8411	9451	11256
20%	12765	14972	16823	18902	22513
50%	31912	37430	42057	47255	56281
70%	44676	52402	58879	66157	78794
100%	63823	74861	84113	94510	112563

A partir das considerações e dos dados apresentados, é possível avaliar um provável crescimento da demanda de energia elétrica devido à inserção dos VE's no horizonte

de 2014 a 2024. Além disso, observa-se que a criação dos cenários representa uma situação extrema, a qual considera uma substituição imediata de veículos a combustão interna por VE's. Tendo em vista que se trata de um cenário fictício, esta análise tem como objetivo ilustrar o possível impacto desta substituição no SEB.

5 RESULTADOS

Conforme já mencionado, o objetivo do trabalho é encontrar um cenário cuja inserção de carga proveniente dos VE's faça com que o aumento do CMO do SEB em cada submercado não seja superior a um limite prefixado. Para a simulação inicial foi considerado um valor máximo de aumento de 10%. A seguir são apresentados os resultados obtidos nas simulações de planejamento da operação de longo prazo. Para fins de melhor visualização serão mostrados os resultados de dois cenários. Cenário base, referente aos dados PDE 2024 disponibilizados pela EPE e o cenário com o resultado do aumento de 10% no CMO.

Como resultado, este estudo de caso suporta inserção de 12% da frota nacional sendo de VE's o que correspondeu a 3.760.680, no ano de 2014. Serão apresentados os seguintes resultados para o SIN:

- CMO
- Energia Armazenada
- Geração Hidráulica
- Geração Térmica
- Déficit de Energia

CMO:

O CMO significa o custo do atendimento a uma unidade adicional de carga. O valor do CMO médio do sistema para o Caso base foi de R\$ 173,39. Já para os submercados,

estes valores foram: Sudeste R\$ 217,27, Sul R\$ 37,87, Nordeste R\$ 208,97 e Norte R\$ 208,24.

O cenário ANFAVEA de inserção de 12% de VE's apresentou um CMO médio para o Sistema no valor de R\$ 189,12 e para os Submercados os seguintes valores: Sudeste R\$ 237,98, Sul R\$ 43,67, Nordeste R\$ 228,34 e Norte R\$ 229,43. Porém, o mesmo alcançou patamares máximos na ordem de R\$ 400,00 por *MWmês*, nas regiões Sudeste e Norte, R\$120,00 por *MWmês* na região Sul, R\$ 400,00 por *MWmês* na região Nordeste.

Ademais, observa-se que o CMO tem seu valor mais elevado sempre nos meses de outubro a novembro para os submercados Sudeste, Sul e Norte, e para o Nordeste há uma variação de meses. A Figura 15 mostra o comportamento do CMO para o SIN em *R\$/MWmês*. Para o Cenário base e ANFAVEA, o CMO apresentou o mesmo comportamento para os submercados Sudeste/Centro Oeste, Sul, Nordeste e Norte.

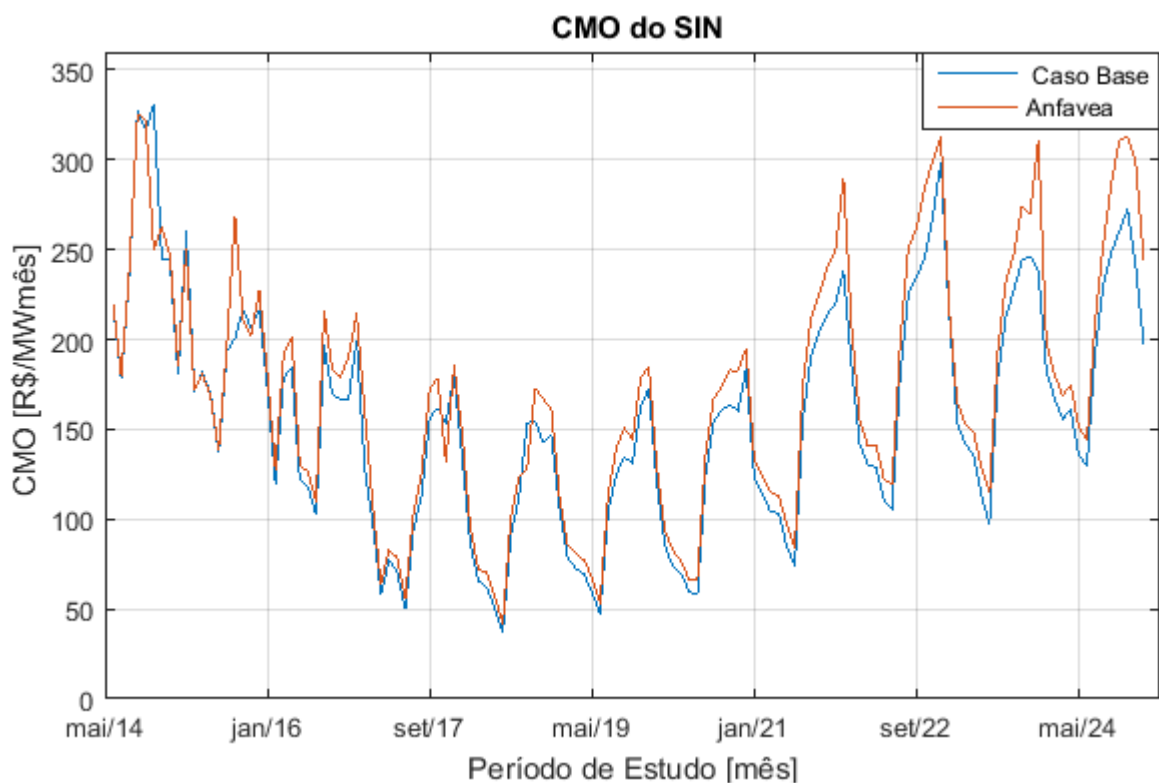


Figura 15 CMO para o SIN

Energia Armazenada:

O ideal da energia armazenada é quando os reservatórios estão cheios no final do horizonte de planejamento, o que demonstra a utilização ótima dos recursos, ou seja, mais água disponível para geração de energia. A Figura 16 mostra o comportamento da energia armazenada final para o SIN em *MW*, apresentando, para ambos os cenários, Base e ANFAVEA, que os maiores níveis de energia armazenada são no início do período de seca, e esta constatação se estende para os submercados. É válido notar que em todos os submercados e para os dois cenários a energia armazenada ficou muito próxima, embora haja pequenas variações no decorrer do período analisado.

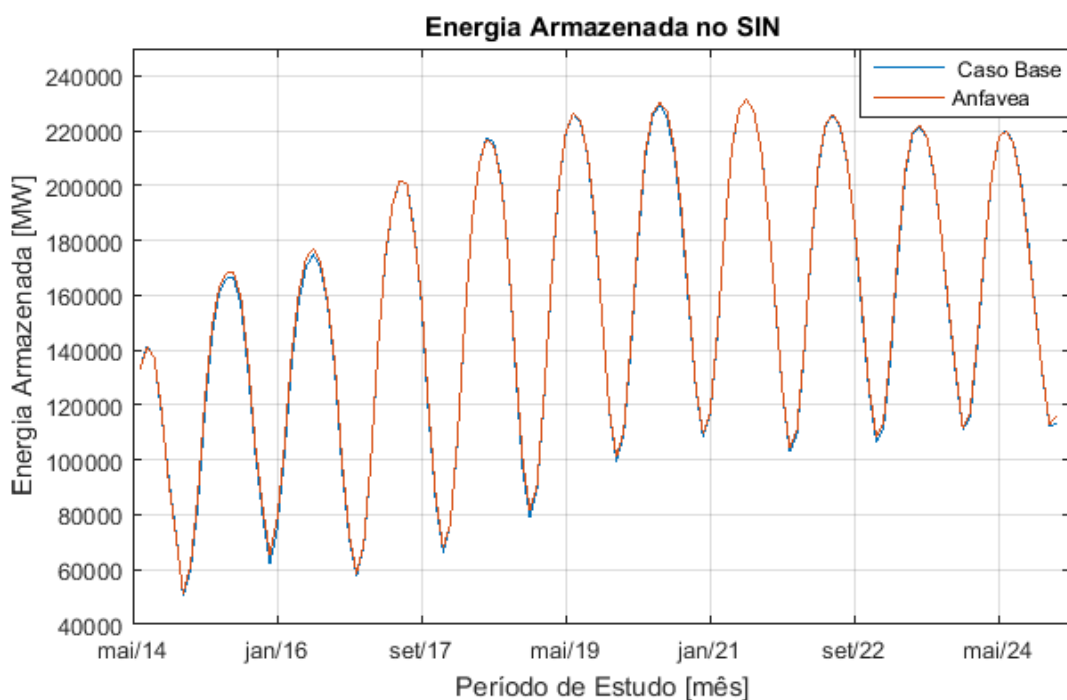


Figura 16 Energia Armazenada para o SIN

Geração Hidráulica:

Em relação à Geração Hidráulica, nota-se que o Cenário base e ANFAVEA apresentam o mesmo comportamento. A Figura 17 mostra o comportamento da geração hidráulica para o SIN em $MWmês$. Os maiores valores de geração hidráulica são no período úmido, no qual as afluições são maiores, sendo no Brasil esse período de dezembro a abril do ano seguinte. O mesmo comportamento foi observado nos Submercados Sudeste/Centro Oeste, Sul, Nordeste e Norte. O SEB se caracteriza pela predominância de geração hidroelétrica e de um sistema de transmissão com dimensões continentais. O SIN requer uma operação coordenada, de forma a maximizar o aproveitamento dos recursos e otimizar a geração nas diferentes regiões brasileiras.

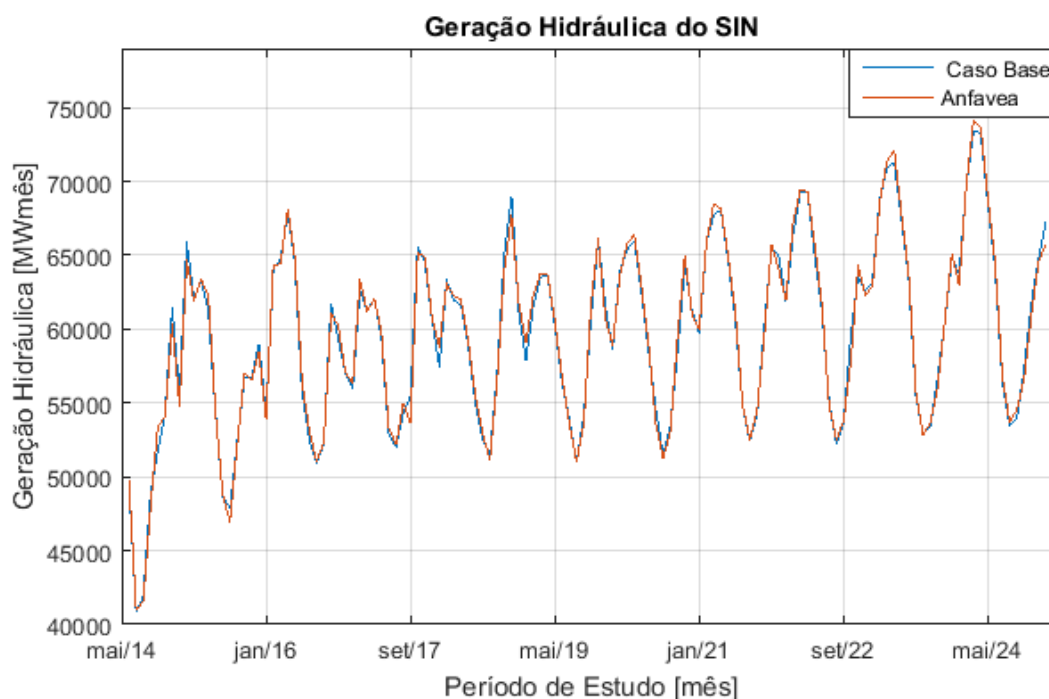


Figura 17 Geração Hidráulica para o SIN

Geração Térmica:

O comportamento da geração térmica para o SIN em *MWmês* é demonstrado na Figura 18, com um aumento da geração térmica do cenário ANFAVEA em relação ao cenário base em todo o período estudado. Este aumento da energia gerada é necessário para suprir a carga de VE's inseridas no SIN. Para os Submercados Sudeste/Centro Oeste, Sul, Nordeste e Norte as curvas do cenário ANFAVEA e base apresentam a mesma tendência. Em alguns períodos do estudo houve um aumento na geração nos submercados Sudeste/Centro Oeste, Nordeste e Norte. Para esses mesmos submercados a geração térmica teve um aumento no início do planejamento, seguido de uma redução e posteriormente uma nova tendência de aumento. O submercado Sul apresentou a disposição para o aumento durante todo o planejamento.

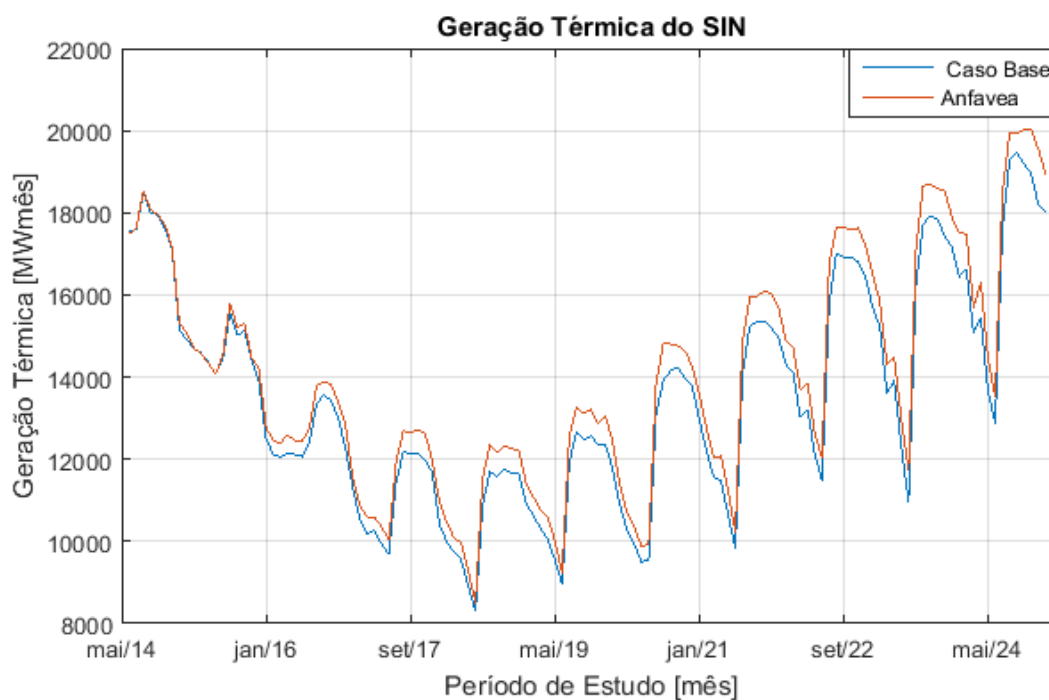


Figura 18 Geração Térmica para o SIN

Déficit de Energia:

O comportamento do déficit de energia para o SIN em $MWmês$ é demonstrado na Figura 19. O valor ótimo para o déficit de energia é zero, o que ocorreu para os submercados Sul e Nordeste no período estudado, o que indica que não houve falhas significativas no suprimento de energia. Os maiores déficits ocorreram no submercado Sudeste/Centro Oeste. Destaque para o submercado Norte, que praticamente não apresentou problemas de déficit de energia, com exceção no final do período de planejamento. Nota-se que há um acompanhamento entre os cenários ANFAVEA e base para o SIN.

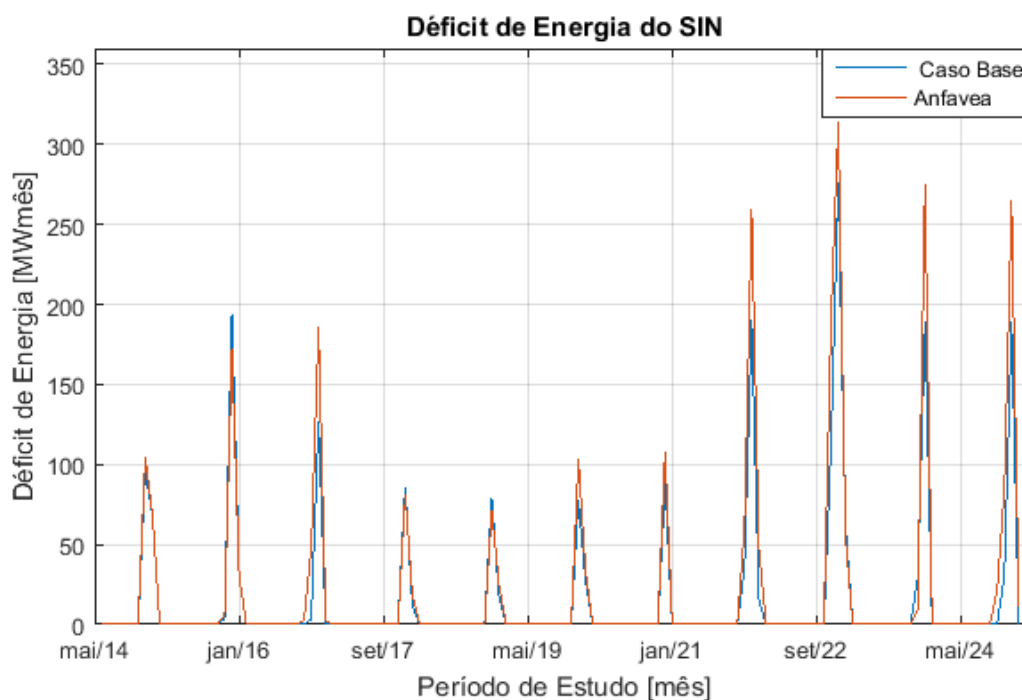


Figura 19 Déficit de Energia para o SIN

Varição no Custo de Operação Total Esperado:

A Tabela 3 mostra o custo médio total da simulação, dado pela média dos custos de simulação de cada cenário, para operar o SEB no horizonte de 10 anos. O custo médio

da operação do todo o sistema apresentou um aumento de aproximadamente 11,19 bilhões de reais desde o caso base até o caso ANFAVEA.

Tabela 3 Custo médio de simulação

<i>Caso Base</i>	<i>R\$ 129.725.500.000,00</i>
<i>Caso ANFAVEA</i>	<i>R\$ 140.921.500.000,00</i>

6 CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÃO

Diante do trabalho exposto e a partir dos resultados obtidos nas simulações de cenários de penetração de VE's, constatou-se que para se ter um aumento máximo de 10% no CMO faz-se necessário uma na frota de VE's correspondente a 12% da frota nacional de veículos.

No gráfico do CMO verificou-se que o aumento na inserção de VE's e, conseqüentemente, o aumento desta carga no sistema, promoveu um deslocamento entre as curvas do caso ANFAVEA e caso Base. Este mesmo comportamento de deslocamento entre as curvas pode ser observado na Geração Térmica, o que não ocorreu na Geração Hidráulica, indicando que esse adicional de carga, referente aos VE's, foi atendido pelas térmicas.

Por fim, observa-se que se o Brasil optar pelo incentivo à inserção de VE's é importante a realização de estudos de planejamento da expansão do SEB para haver um controle no CMO e reduzir possíveis Déficits de Energia.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Como proposta e trabalhos futuros, torna-se importante o possível uso de fontes alternativas de energia como solar elétrica, para suprir o aumento da demanda. Pode-se também realizar uma inserção progressiva de VE's, compostos por veículos híbridos plugin e a bateria, além de abranger o tempo de vida útil das baterias utilizadas nestes veículos e seu impacto no meio ambiente.

7 REFERÊNCIAS

ABVE. Associação Brasileira do Veículo Elétrico. ABVE, maio 2017. Disponível em: <<http://www.abve.org.br>>. Acesso em: maio 2017.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. ANFAVEA, 2017. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/>>. Acesso em: abril 2017.

ASVREE. Association Suisse des Véhicules Routiers Électriques et Efficients, La Jamais Contente Caractéristiques techniques, 2005. Disponível em: <https://www.e-mobile.ch/pdf/2005/Fact-Sheet_LaJamaisContente_FW.pdf>. Acesso em: fevereiro 2017.

BARAN, R. A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil. Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012.

BARASA, E. Trajetória Tecnológica do Veículo Elétrico. Políticas e Esforços Tecnológicos no Brasil. Campinas - SP: UNICAMP/Campinas, 2015.

BARROS, L. L. Requisitos para Fornecimento de Energia Elétrica para Recarga de Veículo Elétrico em Curitiba Através de Sistemas Fotovoltaicos e Concessionária de Energia. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba, 2013.

BORBA, B. S. M. C. Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Eletrica no Siatema Energético Brasileiro. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

BRANDI, R. B. S. **Processo Iterativo de Construção da Função de Custo Futuro na Metodologia PDE-ConvexHull**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011.

CAMEX. **CAMEX**. Disponível em: <<http://www.camex.itamaraty.gov.br/>>. Acesso em: março 2017.

CAMPELLO, R. E. **Programação Dinâmica Determinística e Estocástica**. Rio de Janeiro: XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2002.

CPFL. **CPFL Energia. Companhia Paulista de Força e Luz**, 2017. Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br>>. Acesso em: abril 2017.

DENATRAN. **Departamento Nacional de Trânsito**, 2016. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/>>. Acesso em: setembro 2016.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Empresa de Pesquisa Energética.**, EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: . Último acesso em: 21 de março de 2017., 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE>>. Acesso em: julho 2016.

EPR. **EPR. A U.S. Consumer's guide to electric vehicle charging**, EPR. A U.S. CONSUMER'S GUIDE TO ELECTRIC VEHICLE CHARGING. Disponível em . Último acesso em: 21 de março de 2017., 2017. Disponível em: <https://www.srpnet.com/electric/home/cars/PDFX/ConsumerGuide_EVCharging.pdf>. Acesso em: janeiro 2017.

FERREIRA, P. G. C. **A Estocasticidade Associada ao Setor Elétrico Brasileiro e uma Nova Abordagem para a Geração de Afluências Via Modelos Periódicos Gama**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2013.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**, 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: junho 2016.

NOCE, T. **Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Aperfeiçoamento**. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2009.

OLIVEIRA, F. L. C. **Modelo de Séries Temporais para Construção de Árvores de Cenários Aplicadas à Otimização Estocástica**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2013.

OSORIO, V. A. G. **Carregamento Ótimo de Veículos Elétricos Considerando as Restrições das Redes de Distribuição de Média Tensão**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista - Campus de Ilha Solteira, 2013.

SCARCELLI, R. D. O. C. **Programação Dinâmica Aplicada a Otimização Individualizada e Desacoplada das Usinas Hidrelétricas de Sistemas Hidrotérmicos**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

SEBASTIÃO, C. J. M. **Projeção e Desenvolvimento de Carregadores para Veículos Elétricos**. Portugal: Instituto Politécnico de Tomar, 2014.

SGORME. lugenergy. **Formas de Carregamento de Veículos Elétricos em Portugal. Disponível**, 2011. Disponível em: <http://www.lugenergy.pt/wp-content/uploads/Sgorme_formas_carregamento_VEs.pdf>. Acesso em: fevereiro 2017.

SIMON, E. C. **Avaliação de Impactos da Recarga de Veículos Elétricos em Sistemas de Distribuição**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012.

SIQUEIRA, T. G. D. **Comparação entre Programação Dinâmica Estocástica Primal e Dual no Planejamento da Operação Energética**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.

TESLA. **Tesla Motors**, 2016. Disponível em: <<http://www.tesla.com>>. Acesso em: janeiro 2017.

VELLOSO, J. P. D. R. **Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos - INAE, 2010.