

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO RICARDO DOLBERTH MENEZES

ANÁLISE DOS IMPACTOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO VIA SISTEMA BLOCKCHAIN

CURITIBA
2019

PAULO RICARDO DOLBERTH MENEZES

ANÁLISE DOS IMPACTOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO VIA SISTEMA BLOCKCHAIN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Sistemas de Energia, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki
Coorientadora: M. Sc. Kristie Kaminski Küster

CURITIBA
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

PAULO RICARDO DOLBERTH MENEZES

ANÁLISE DOS IMPACTOS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE
DISTRIBUIÇÃO VIA SISTEMA BLOCKCHAIN

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Clodomiro Unsihuay Vila
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Edemir Luiz Kowalski
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Curitiba, 25 de Junho de 2019

RESUMO

O crescimento iminente da frota mundial de veículos elétricos cria oportunidades para estudos quanto a implementação destes nas redes de distribuição. Embora a maleabilidade de horário de carga dos veículos possa ser usada para amenizar a demanda de energia em horários de pico, não há sistema centralizado que seja capaz de gerenciar a aleatoriedade dessa forma de distribuição. Neste trabalho, uma rede de distribuição é simulada no software de distribuição livre GridLAB-D e submetida aos impactos dos veículos elétricos, cujas trocas de energia são registradas descentralizadamente usando a tecnologia Blockchain, portanto com baixos custos operacionais e sendo extremamente confiável e segura.

Palavras-chave: Veículos elétricos. Blockchain. GridLAB-D.

ABSTRACT

The global ever-growing number of electric vehicles creates opportunities for studying their implementation in distribution grids. Although the malleability of electric vehicle charging schedules may be used to soothe the power demand in peak hours, no existing centralized system is capable of managing the haphazardness of this form of distribution. In this paper, a test network is simulated with the open-sourced GridLAB-D software, and subjected to the effects of electric vehicle charging, while the energy trading is registered in a decentralized general ledger via Blockchain technology, thus having low operational costs and being extremely trustworthy and safe.

Key words: Electric vehicles. Blockchain. GridLAB-D.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Criação de um Bloco Passo-a-Passo	14
FIGURA 2 - Diagrama Unifilar do 13-barras	29
FIGURA 3 - Curva de Carga Residencial de Média Renda de Dias Úteis	37
FIGURA 4 - Curva de Carga da Barra 675	37
FIGURA 5 - Curva de Carga da Barra 645	37
FIGURA 6 - Demanda de Potência dos VE's na Barra 645	43
FIGURA 7 - Demanda de Potência dos VE's na Barra 675	43
FIGURA 8 - Diferença da Potência Aparente na Barra 645	44
FIGURA 9 - Diferença da Potência Aparente na Barra 675	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Índices Bibliométricos	23
TABELA 2 - Tabela Comparativa dos Artigos	26
TABELA 3 - Dados de Configuração das Linhas Aéreas	30
TABELA 4 - Dados de Configuração das Linhas Subterrâneas	30
TABELA 5 - Dados dos Segmentos das Linhas	30
TABELA 6 - Dados do Transformador	31
TABELA 7 - Dados dos Capacitores.....	31
TABELA 8 - Dados do Regulador	31
TABELA 9 - Dados das Cargas Pontuais	32
TABELA 10 - Dados da Carga Distribuída.....	32
TABELA 11 - Agenda da Curva de Carga para as Barras 645 e 675	36
TABELA 12 - Número de Veículos na Barra 645 por Perfil	40
TABELA 13 - Número de Veículos na Barra 675 por Perfil	41
TABELA 14 - Resultados do Blockchain para as Barras 645 e 675.....	45

LISTA DE SIGLAS

BEV	– <i>Battery Energy Vehicles</i>
CAPES	– Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DCFC	– <i>Direct Current Fast Charge</i>
EREV	– <i>Extended Range Electric Vehicle</i>
G2V	– <i>Grid to Vehicle</i>
GLM	– <i>GridLAB-D Modeling</i>
HEV	– <i>Hybrid Electric Vehicle</i>
IEA	– <i>International Energy Agency</i>
IEEE	– <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
MEC	– Ministério da Educação e Cultura
PEV	– <i>Plug-in Electric Vehicle</i>
PHEV	– <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PNNL	– <i>Pacific Northwest National Laboratory</i>
V2G	– <i>Vehicle to Grid</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 BLOCKCHAIN	13
2.1.1 Histórico.....	13
2.1.2 Tecnologia Blockchain	13
2.1.2.1 Blocos e Minerações	14
2.1.2.2 Confiabilidade.....	15
2.1.2.3 Funções Hash	15
2.1.2.4 Contratos Inteligentes	16
2.1.3 Economia de Tokens.....	16
2.1.3 Aplicações de Blockchain.....	17
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS	17
2.2.1 Contexto de Veículos Elétricos.....	17
2.2.2 Tipos de Veículos Elétricos.....	18
2.2.3 Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos	19
2.2.4 Impactos na Rede Elétrica	20
2.2.4.1 Efeitos na Curva de Carga	20
2.2.4.2 Grid-To-Vehicle (G2V)	21
2.2.4.3 Vehicle-To-Grid (V2G)	21
2.2.5 Políticas de Incentivo de Veículos Elétricos	21
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	21
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	23
3.1 PROCESSO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO	23
3.2 ANÁLISE DA LITERATURA	24

4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 MATERIAIS	27
4.1.1 GridLAB-D.....	27
4.1.2 Sistema de Teste 13 Barras.....	29
4.1.3 Curvas de Carga	32
4.2 MÉTODOS.....	33
4.2.1 Primeira Etapa – Caso Base.....	33
4.2.2 Segunda Etapa – Curvas de Carga.....	33
4.2.3 Terceira Etapa – Veículo Elétrico Singular	33
4.2.4 Quarta Etapa – Múltiplos Veículos Elétricos	34
4.2.5 Quinta Etapa – Aplicação do Blockchain.....	34
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 RESULTADOS – CASO BASE	35
5.2 RESULTADOS – CURVAS DE CARGA.....	35
5.3 RESULTADOS – VEÍCULO ELÉTRICO SINGULAR	38
5.4 RESULTADOS - MÚLTIPLOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	39
5.5 RESULTADOS - APLICAÇÃO DO BLOCKCHAIN	45
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	47
7 REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Os veículos de motores elétricos vêm ganhando presença no setor automotivo com uma taxa de crescimento acelerada. Os diferenciais em gastos com manutenção e preço por quilômetro rodado atraem os motoristas, enquanto a redução de impactos ambientais atrai as instituições. Com ampla aceitação, os veículos se tornam mais acessíveis a cada ano, com baterias mais baratas e com maior duração.

Estudos da IEA (Agência Internacional de Energia) estimam que até 2030 rodarão pelas estradas mais de 125 milhões de carros elétricos (CNBC, 2018). A empresa líder global em serviços financeiros, J. P. Morgan, calcula que a essa data 59% dos veículos ativos no mundo serão elétricos ou híbridos (MORGAN, J. P., 2018).

O crescimento da frota de veículos elétricos faz emergir questionamentos quanto à capacidade do sistema elétrico mundial, relacionados principalmente à carga das baterias dos carros, tornando necessários estudos associados ao sistema de distribuição de energia, sua capacidade e sua complexidade, enquanto sujeitos aos impactos dos motores do futuro.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os efeitos da presença de veículos elétricos em escala significativa no mercado de energia elétrica.

Os objetivos específicos contemplam:

- Simular uma rede de distribuição de energia via software de simulação GridLAB-D;
- Analisar a aplicação do sistema Blockchain no mercado de energia elétrica;
- Implementar à rede simulada no GridLAB-D o sistema Blockchain para distribuição ativa de energia elétrica;
- Aplicar à rede simulada a demanda de energia de uma frota de veículos elétricos (G2V, ou *grid-to-vehicle*) e estudar seus impactos;

- Aplicar simultaneamente à rede simulada a geração de energia provinda da frota de veículos elétricos (V2G, ou *vehicle-to-grid*) e estudar seus impactos;
- Avaliar os impactos dos efeitos G2V e V2G dos veículos elétricos na rede de distribuição quando presentes no mercado em escala significativa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o crescimento iminente do número de veículos movidos à energia elétrica, faz-se necessário amadurecer os estudos sobre os impactos que essa implementação em larga escala venha a causar na rede de distribuição de energia. O sistema Blockchain vem ganhando destaque como a próxima estrutura a revolucionar a economia, e os seus principais atrativos – confiabilidade e descentralização – são ideias para um mercado energético sujeito a carga e descarga disseminadas.

1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

O trabalho é apresentado em seis capítulos.

O capítulo 1, denominado “Introdução”, procura situar a temática abordada no trabalho, apresentando contexto, justificativa, e objetivos do estudo

O capítulo 2, denominado “Fundamentação Teórica”, apresenta os conceitos essenciais sob os quais o estudo é desenvolvido - as tecnologias do sistema Blockchain e dos Veículos Elétricos

O capítulo 3, denominado “Revisão da Literatura”, demonstra a metodologia por trás da seleção de artigos científicos relacionados ao contexto do trabalho, seguido de um resumo dos artigos selecionados.

O capítulo 4, denominado “Materiais e Métodos”, apresenta as ferramentas a serem utilizadas pelo estudo para atingir os objetivos propostos anteriormente, bem como a forma como são utilizadas.

O capítulo 5, denominado “Análise de Resultados e Discussão”, demonstra as simulações realizadas e os resultados do estudo.

O capítulo 6, denominado “Conclusões e Trabalhos Futuros”, apresenta o desfecho do trabalho, bem como as possíveis repercussões deste.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O núcleo desse trabalho dá-se com base nas tecnologias Blockchain e Veículos Elétricos. Nos itens a seguir, são apresentados os conceitos dessas tecnologias.

2.1 BLOCKCHAIN

A tecnologia Blockchain permite à sociedade formar estruturas de colaboração sem instituições formais centralizadas. Através da cooperação e descentralização é possível criar redes globais para transações entre indivíduos ou organizações ponto-a-ponto de maneira segura e confiável. (ROSIC, 2016)

2.1.1 Histórico

As tecnologias de criptografia computacional e de sistemas de processamento distribuído existem há décadas, e o Blockchain é, de maneira mais simples, a união dessas duas tecnologias. Em 2008, a pessoa ou grupo anônimo autodenominado Satoshi Nakamoto inventou essa tecnologia para usar como livro-razão da criptomoeda Bitcoin, resolvendo o notório Problema do Gasto Duplo sem a necessidade de intervenção de uma terceira parte confiável ou de servidores centrais. Assim, tornou-se possível realizar transações ponto-a-ponto de maneira confiável. (MARR, 2018)

A criptomoeda Bitcoin atingiu marcos históricos e despertou o mundo ao sistema Blockchain. Instituições começaram a investir para descobrir seu potencial de melhorar diversas áreas, como as de cunho logístico, transportes, saúde, seguradoras, empreiteiras, e até mesmo votações.

Em 2014, o canadense Vitalik Buterin criou a plataforma Ethereum, que opera sobre o sistema Blockchain. O Ethereum permite aos usuários a criação de aplicações descentralizadas, denominadas “Dapps”, de maneira mais acessível e intuitiva.

2.1.2 Tecnologia Blockchain

A tecnologia Blockchain consiste em uma base de dados segura e distribuída. Os conceitos essenciais são explicados na sequência.

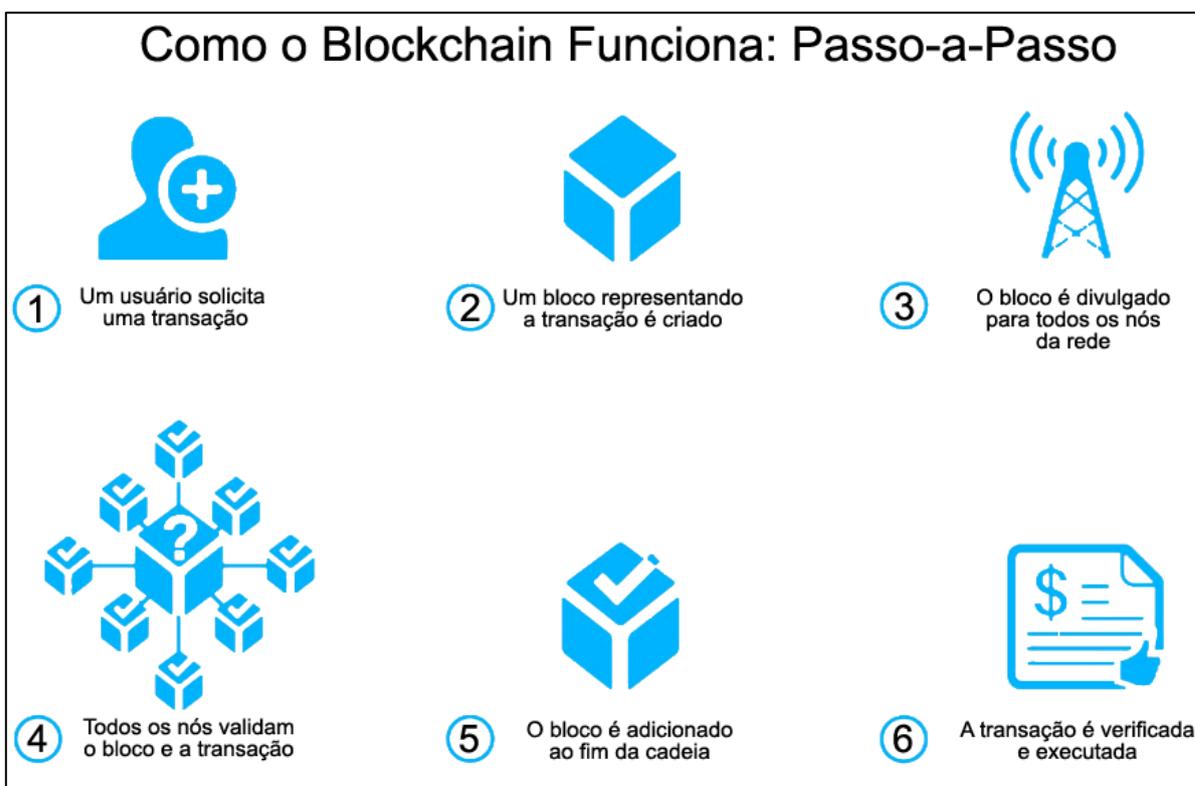
2.1.2.1 Blocos e Minerações

A base de dados do Blockchain é composta por uma cadeia de registros de dados, cada registro denominado “bloco”, que são criptografados e recebem um identificador único, denominado “hash”. Os blocos registram transações feitas entre duas partes, e precisam ser validados antes de entrar na cadeia. Essa validação é denominada “mineração”, e é feita de maneira distribuída entre os integrantes do sistema. Após ser minerado, o bloco é transmitido para todos os integrantes, de forma que todos possuam uma cópia da base de dados.

Uma vez completado e minerado, o bloco é inserido no fim da cadeia de blocos, e um novo bloco é criado. A cadeia é formada por uma quantidade imensa de blocos, conectados entre si como elos de uma corrente, de maneira linear e em ordem cronológica.

Traz-se a figura 01 (ANWAR, 2018) para exemplificar, de maneira simples, o processo de criação de um bloco.

FIGURA 1 - Criação de um Bloco Passo-a-Passo



FONTE: Adaptado de 101Blockchains (2018)

2.1.2.2 Confiabilidade

O Blockchain foi criado de modo que as transações sejam imutáveis e indelévels. Cada bloco possui uma identificação, e caso seus dados sejam manipulados, as alterações são facilmente detectadas e corrigidas.

A garantia dos dados registrados no Blockchain é dada principalmente pelo fato de se tratar de uma tecnologia distribuída. Todos os integrantes do sistema possuem uma cópia da base de dados replicada completa, compartilhada e sincronizada, dispersa geograficamente em diversos países, instituições e indivíduos, fazendo do Blockchain um Livro-Razão Distribuído.

A base de dados do Blockchain é permanente e confiável, tornando-o ideal para registro de transações que envolvam algum tipo de valor, e para armazenamento seguro de informações. O Livro-Razão pode ser utilizado para inventariar ou realizar transações de qualquer tipo de bem, desde físicos (como imóveis ou carros) a intangíveis (como moedas, votos e propriedades intelectuais).

O Protocolo de Consenso Distribuído assegura a integridade das informações do Blockchain, impedindo que blocos sejam simplesmente criados e inseridos à cadeia. Para incorporar uma nova entrada, é necessário que todos os computadores afirmem quanto ao estado da cadeia. Caso a maioria (50%+1) dos computadores atinja consenso, o bloco é inserido ao Blockchain.

Portanto, a base de dados da cadeia de blocos permite que as múltiplas bases de dados particulares sejam substituídas por uma única base de dados, distribuída entre e acessível por todas as partes envolvidas. Na prática, o Blockchain viabiliza confiança entre entidades ou organizações, melhorando a colaboração e eficiência, sem a necessidade de instituições terceiras.

2.1.2.3 Funções Hash

Todos os blocos do Blockchain possuem uma identificação, denominada "hash". O Hash de um bloco depende das informações que constam no registro do dado bloco, e do código Hash do bloco imediatamente anterior. Se um bloco sofrer uma alteração, seu código de identificação é alterado, conseqüentemente alterando os códigos Hash de todos os blocos na sequência.

2.1.2.4 Contratos Inteligentes

A eficiência do sistema de cadeia de blocos pode ser aumentada quando sujeita à automatização. Os Contratos Inteligentes são funções circunstanciais armazenadas dentro dos blocos, que executam automaticamente quando os termos do contrato são satisfeitos.

Tal como programas de computador, esses contratos são algoritmos que recebem uma informação, fazem uma verificação, e executam uma ação dependendo do resultado da verificação. A exemplo cotidiano, pode-se tratar de um contrato financeiro, que realiza um pagamento perante a conclusão de uma atividade.

Os contratos inteligentes existem para automatizar as operações mais básicas de uma rede Blockchain, mais uma vez removendo a necessidade de instituições terceiras que poderiam ser encarregadas de tais operações, visto que os contratos inteligentes são confiáveis, automáticos e impossíveis de forjar.

2.1.3 Economia de Tokens

Quando tratado como um livro-razão, o Blockchain tem seu potencial voltado ao registro de transações de bens com algum tipo de valor. Para bens intangíveis ou sem valor definido, pode-se atribuir a uma unidade mensurável desse bem um valor simbólico. A circulação desse bem em forma simbólica é denominada “Economia de Tokens” (Token Economics).

Desta forma, ao aplicar-se ao Blockchain a Economia de Tokens, além de ser uma tecnologia informacional, essa passa a ser uma tecnologia institucional, com sistemas de incentivos que afetam a economia e, possivelmente, o modo de viver de uma sociedade.

Além das criptomoedas, é possível explicar a economia de tokens adotando-se o exemplo de “tokens de preferência”, num cenário de tráfego rotineiro. Em um sistema de veículos automotivos autônomos, os veículos com um maior número de passageiros possuiriam uma quantidade maior de tokens, e, portanto, teriam direito a preferência em cruzamentos, quando comparados a veículos com um menor número de passageiros. Assim, sem aplicar um valor financeiro real (como a tarifação), poder-se-ia incentivar que mais pessoas usassem o transporte coletivo.

2.1.3 Aplicações de Blockchain

O Blockchain é uma ferramenta tecnológica que pode ser utilizada para criar resultados econômicos reais e significativos. Dando sequência ao exemplo usado anteriormente para explicar Economia de Tokens, esses tokens podem ser distribuídos de diferentes maneiras para otimizar o tráfego ou incentivar atitudes em uma sociedade. No caso, seria possível instigar os investimentos em veículos elétricos ao dar-lhes mais tokens do que para os veículos a combustão, devido às reduzidas quantidades de poluição atmosférica e sonora.

Outro exemplo, ainda no âmbito de veículos elétricos, seria a manipulação da Curva de Carga. Ao carregar as baterias de seu veículo elétrico fora do horário de pico, um indivíduo poderia receber mais tokens de preferência, por exemplo.

Além destas, as aplicações do Blockchain abrangem quaisquer áreas socioeconômicas em que seja possível remover instituições intermediárias em prol de uma colaboração com confiança e segurança.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos são aqueles cujos motores são movidos a energia elétrica, em vez da energia provinda da combustão. Essa categoria de veículos vem recebendo destaque desde o início da década, com a busca por veículos com menos emissão de gases poluentes.

2.2.1 Contexto de Veículos Elétricos

Em 1832 foi inventado o primeiro automóvel, e ele era movimentado por um motor elétrico. Inicialmente caro e pouco prático (baterias recarregáveis só vieram a existir em 1859), a carruagem sem tração animal ganhava espaço no mercado, até o início do século seguinte. Em 1908, a produção em massa do automóvel Modelo T de Ford, de motor a combustão, causou um declínio nas vendas de veículos elétricos, principalmente pela inclusão da partida elétrica. (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2015)

Os carros de motor a combustão eram capazes de percorrer distâncias maiores que os elétricos, e as recargas de combustível eram mais rápidas e

simples. Com a descoberta de petróleo no Texas em 1935, os veículos elétricos desapareceram do mercado.

Entretanto, o preço do óleo começou a subir em meados de 1970, e tem aumentado desde então. Combinado à crescente preocupação com o meio-ambiente, os veículos elétricos ressurgem próximo ao novo milênio.

No ano 2000, a montadora Toyota começou a produzir em massa o veículo híbrido Prius, cujo sucesso trouxe atenção aos carros elétricos mais uma vez. No decorrer da década, é criada a empresa Tesla Motors, dedicada à produção de veículos elétricos de luxo. Além disso, são comercializados pela General Motors o veículo híbrido plug-in Volt, e pela Nissan o veículo elétrico Leaf, (BATTERY UNIVERSITY, 2019)

Desde então, a tecnologia das baterias vem progredindo de forma a criar baterias menores e com mais capacidade, permitindo conforto e viagens mais longas. Além disso, os sistemas de recarga vem melhorando no intuito de permitir recargas mais rápidas, bem como recargas a níveis de tensão domésticos.

2.2.2 Tipos de Veículos Elétricos

Os veículos elétricos podem ser classificados em diversas categorias, conforme a estrutura de seus motores e a forma com que as baterias são recarregadas.

Os veículos elétricos híbridos, ou HEVs (*Hybrid Electrical Vehicle*), possuem ambos motores a combustão e elétrico. As baterias do motor elétrico são recarregadas exclusivamente pela frenagem regenerativa (sem entrada de energia elétrica), auxiliando na desaceleração e dissipação de calor dos freios. Esse tipo de tecnologia inclui um computador interno que calcula o momento de transição ideal entre os motores, de forma que o carro utilize o motor elétrico para velocidades baixas, e o motor a combustão para velocidades mais altas, garantindo economia de ambos. (GUMTREE, 2018)

Os veículos elétricos híbridos plug-in, ou PHEVs (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles*), também possuem ambos motores a combustão e elétrico. Sua funcionalidade é semelhante à dos HEVs, porém com a capacidade de recarregar as baterias em uma fonte de energia elétrica externa, como uma

tomada de uma estação de recarga. Essa categoria também pode ser chamada de “veículos elétricos de percurso estendido”, ou EREVs (*Extended-Range Electric Vehicles*), por usar o motor a combustão para recarregar as baterias quando estas se encontram com pouca carga. Os veículos dessa categoria comumente possuem um favorecimento a um dos tipos de carga, tendendo a tornar-se carros de gasolina melhorados por eletricidade, ou carros elétricos melhorados por gasolina.

Os veículos elétricos com baterias, ou BEVs (*Battery Electric Vehicles*), são completamente elétricos, logo não possuem motor de combustão interna, tanque de combustível ou escapamento. Também são conhecidos como “veículos elétricos de plug-in”, ou PEVs (*Plug-in Electric Vehicle*), já que a recarga das baterias é feita por fontes externas de energia elétrica (além da frenagem regenerativa). Essa categoria de veículos é promovida por possuir zero emissões de gás carbônico.

2.2.3 Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos

O foco dos avanços tecnológicos de veículos elétricos está nas baterias. As baterias delimitam a distância que um carro é capaz de percorrer, além da velocidade de recarga, do peso total e da distribuição de massa do veículo, e o preço final do automóvel.

A recarga dessas baterias pode ser feita de diferentes maneiras, e dividida em subcategorias conforme sua velocidade e acessibilidade.

As formas mais disseminadas de recarga são as denominadas Nível 1 e Nível 2, também conhecidas como “recarga lenta”. Tipicamente, os carregadores dessas categorias são adaptadores para 110 V ou 220 V em corrente alternada. Os carregadores de Nível 1 são vendidos junto com o carro, e podem ser utilizados em tomadas comuns de 110 V. Os carregadores de Nível 2 são vendidos separadamente, tratando-se de unidades que requerem uma instalação elétrica especial para acessar os 220 V.

Acima destes níveis, há a recarga rápida de corrente contínua, ou DCFC (*Direct-Current Fast Charge*). Esse tipo de recarga é equivocadamente denominado de Nível 3, porém não se trata do mesmo tipo de carga, tendo em vista a diferença de corrente alternada para corrente contínua. A recarga DCFC

é feita em estações especiais, e não atende a todos os veículos elétricos existentes. (CHARGEHUB, 2019)

Para quaisquer tipos de recarga, a velocidade é bastante atenuada após atingir 80% da carga. Por isso, o tempo médio de carga para cada nível é expresso com base na carga de 0% a 80% da capacidade das baterias. Desse modo, o tempo médio é de 8 a 15 horas para carregadores Nível 1, de 3 a 8 horas para carregadores Nível 2, e de 20 minutos a 1 hora para carregadores DCFC.

Os pontos de recarga particulares, de ambientes domésticos ou corporativos, costumam ser compostos por carregadores Nível 2, e são destinados a recarregar as baterias durante os períodos de inatividade do veículo, garantindo baterias sempre cheias para os deslocamentos diários.

Os pontos de recarga públicos, típicos de locais como supermercados, shoppings e postos de abastecimento, podem ser das três velocidades. Portanto, é necessário que o motorista saiba a categoria de recarga de seu veículo elétrico. Estas estações de recarga são disponibilizadas por empresas dedicadas a esse serviço. (SHANAN, 2015)

2.2.4 Impactos na Rede Elétrica

O crescente número de veículos elétricos cria um cenário sob o qual um grande número de baterias móveis deve ser incluído na rede elétrica. Essas baterias causam impactos conforme o tempo que levam para recarregar, a hora em que são recarregadas, e a capacidade de serem descarregadas de volta à rede. As baterias afetam também o fator de potência da rede, devido ao seu perfil eletroeletrônico demandar potência reativa. (ENGEL, HENSLEY, KNUPFER, & SAHDEV, 2018)

2.2.4.1 Efeitos na Curva de Carga

De acordo com a curva de carga, as pessoas consomem em média mais energia elétrica no período da tarde e do pós-expediente, abrangendo horários das 16h às 22h. Quando os veículos elétricos forem comercializados em escala significativa, haverá impactos

substanciais na curva de carga, se estes forem colocados em modo de recarga durante os horários de pico. (ENGEL, HENSLEY, SAHDEV, & KNUPFER, 2018)

Portanto, é necessária conscientização e incentivos econômicos para garantir que os veículos elétricos sejam recarregados de maneira uniforme durante os períodos em que a rede possui menos demanda.

2.2.4.2 Grid-To-Vehicle (G2V)

A transferência de energia elétrica da rede de distribuição para o veículo, denominada G2V (*Grid-To-Vehicle*), é a forma comum de recarga das baterias de um veículo elétrico.

2.2.4.3 Vehicle-To-Grid (V2G)

A transferência de energia elétrica do veículo para a rede de distribuição, denominada V2G (*Vehicle-To-Grid*), é um fenômeno em que o usuário do automóvel elétrico pode vender a energia armazenada nas baterias de seu veículo de volta para a rede de distribuição.

2.2.5 Políticas de Incentivo de Veículos Elétricos

As políticas de incentivo de veículos elétricos são formas governamentais de apoiar a implementação de veículos elétricos em uma nação, nas formas de isenção tarifária e descontos de serviços como estacionamentos e pedágios, por exemplo.

Embora os países de primeiro mundo, como o Japão, os Estados Unidos da América, e a Alemanha e o Canadá abracem a tecnologia dos veículos elétricos, com incentivos tarifários de benefícios reais e significativos, o Brasil não segue os mesmos princípios. Os incentivos nacionais são recentes e de pouco impacto, atingindo somente o IPI sobre os veículos elétricos, em poucos pontos percentuais. (FELIX, BRITO, & MATSUBARA, 2019)

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

No capítulo 2 foram apresentados os conceitos básicos do sistema Blockchain e dos veículos elétricos. Os aspectos-chave a serem considerados

para esse trabalho são o G2V e o uso do Blockchain como livro-razão. Se contemplado um cenário socioeconômico, a tecnologia V2G e a Economia de Tokens são essenciais em garantir a implementação em massa de veículos elétricos em uma rede de distribuição.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O presente trabalho tem como base literária os artigos de maior relevância da área, com o apoio do Portal de Periódicos da CAPES, disponibilizado pelo Ministério da Educação (MEC).

3.1 PROCESSO DE SELEÇÃO DE PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

O método adotado para a busca e seleção de artigos para a revisão literária deste trabalho deu-se conforme Ensslin *et al.* (2013), que permite diminuir a carga de leitura dos muitos artigos de um tema, para somente alguns poucos artigos deste tema, através de uma filtragem em etapas (ENSSLIN, ENSSLIN, & PINTO, 2013).

O processo de seleção dos artigos foi feito com auxílio do software *Publish or Perish*, que permite calcular as métricas do portfólio bibliográfico, a fim de garantir a qualidade deste.

A fonte de pesquisa utilizada pelo software foi o *Google Scholar*. A busca foi limitada a artigos publicados dentre 2009 e 2019, para assegurar relevância tecnológica.

Definiram-se as palavras-chave “Blockchain” e “Electric Vehicle” em conjunto, e a pesquisa retornou 1000 artigos. A partir desse ponto, iniciou-se o processo de filtragem por etapas, cujos resultados podem ser observados na tabela 1.

TABELA 1 - Índices Bibliométricos

ÍNDICES	INÍCIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
Data de Publicação	2009-19	2009-19	2010-19	2017-19	2017-19
Anos de Citação	10	10	9	2	2
Artigos	1000	347	55	20	9
Citações	6011	3335	985	103	30
Citações por Ano	601,10	333,50	109,44	51,50	15,00
Citações por Artigo:	6,01	9,61	17,91	5,15	3,33
Citações por Autor	2567,92	1410,76	336,68	29,82	10,90
Artigos por Autor	490,57	139,65	16,18	5,78	2,38
Autores por Artigo	2,93	3,39	4,00	4,15	4,11
Índice H	32	21	15	8	3
Índice G	69	55	31	9	5

FONTE: O autor (2019)

A etapa 1 consistia em remover destes 1000 artigos aquelas que provinham das fontes menos confiáveis, atendo-se as bases de dados mais relevantes, como IEEE, Elsevier, Scopus, Web of Science, Science Direct, Springer e Wiley. Além disso, foram removidos artigos de idiomas diferentes de inglês e português.

Na segunda etapa, foram lidos os títulos dos 347 artigos, e selecionados aqueles cujos títulos indicavam um trabalho de escopo relevante a este estudo.

Durante a etapa 3, leu-se o resumo, ou *abstract*, dos 55 artigos, procurando aqueles que teriam aplicação sobre o presente trabalho.

Os 20 artigos restantes tiveram seus capítulos de Introdução e de Conclusão lidos na etapa 4, para confirmar se a pesquisa destes é importante para esse estudo.

Ao final do processo de filtragem, foi possível obter 9 artigos de cunho relevante ao presente trabalho.

3.2 ANÁLISE DA LITERATURA

O artigo *Comparative review and discussion on P2P electricity trading* (PARK & YONG, 2017) aborda a temática do mercado de energias renováveis com trocas ponto-a-ponto de maneira abrangente, explicando os conceitos dessa tecnologia com alguns exemplos pontuais.

Com foco nas cargas das baterias dos veículos elétricos, o artigo *A Decentralised Energy Trading Architecture for Future Smart Grid Load Balancing* (HIJGENAAR, et al., 2017) traz a proposta de um algoritmo de descentralização capaz de melhorar o balanceamento das cargas em *Smart Grids*, capaz de incorporar preferências dos usuários e incentivos financeiros. O trabalho é feito através de um modelo baseado em agentes, porém os autores citam a intenção de usar o Blockchain em trabalhos futuros.

Da revista *Applied Energy*, o artigo *Real-time renewable energy incentive system for electric vehicles using prioritization and cryptocurrency* (ZHANG, POTA, CHU, & GADH, 2018) trata os temas de energias renováveis bem como o crescimento dos veículos elétricos, e os seus impactos na rede de distribuição. Através de um sistema como o Blockchain, foi possível estudar os efeitos na

rede por 15 meses na *University of California*, instaurando inclusive incentivos simbólicos na forma de tokens de prioridade de usuários.

O artigo *Adaptive Blockchain-Based Electric Vehicle Participation Scheme in Smart Grid Platform* (LIU, CHAI, ZHANG, LAU, & CHEN, 2018) demonstra um estudo que buscou melhorar o mercado de energia, transformando os impactos negativos que os veículos elétricos trazem à rede em efeitos benéficos ao incluir a troca descentralizada através do Blockchain, permitindo a melhora da curva de carga sem perturbar a privacidade dos usuários.

Ainda buscando preservar a privacidade das informações do usuário, ao se tratar do retorno da energia na forma V2G, o artigo *Privacy-preserving communication and power injection over vehicle networks and 5G smart grid slice* (ZHANG, LI, ZHENG, LI, & TIAN, 2018) introduz uma esquemática de troca de energia V2G e V2V capaz de operar de maneira autenticada e sem risco de vazamento de informações sigilosas.

Da revista *Future Generation Computer Systems*, o artigo *An optimal scheduling algorithm for hybrid EV charging scenario using consortium blockchains* (HUANG, ZHANG, LI, & HAN, 2019) propõe um algoritmo de agendamento da recarga dos veículos elétricos (G2V), bem como a devolução de energia para outros veículos (V2V), usando o Blockchain por ser uma plataforma descentralizada, segura e privativa. O algoritmo busca maximizar a satisfação do usuário e minimizar os custos. Os estudos feitos levam em consideração a curva de carga real de uma área em Pequim, considerando também vários parâmetros da forma de carregamento dos veículos elétricos.

O artigo *Automatic Demand Response Strategy of Local Pure Electric Vehicle With Battery Energy Storage System Based on Blockchain Technology* (XIANG, et al., 2018) aborda os temas G2V e V2G com o uso de baterias de armazenamento para prover uma resposta automática conforme a demanda. A troca de energia entre a rede, as baterias, e os veículos elétricos, é feita através do Blockchain para garantir segurança e automatizar através de Contratos Inteligentes.

Da revista *Computer Networks*, o artigo *SURVIVOR: A Blockchain based edge-as-a-service framework for secure energy trading in SDN-enabled vehicle-to-grid environment* (JINDAL, AUJLA, & KUMAR, 2019) agrega ao tema das

revendas de energia V2G os detalhes intrínsecos da operação do sistema Blockchain, propondo soluções para centros de controle em áreas remotas.

O artigo *BBARS: Blockchain-Based Anonymous Rewarding Scheme for V2G Networks* (WANG, WANG, HE, LI, & LIU, 2019) foca os estudos no desenvolvimento de uma forma de compensação aos usuários pela prática do V2G em uma *Smart Grid*.

De forma a sumarizar o conteúdo abordado pelos artigos selecionados, foi elaborada a tabela 2. Os artigos são apresentados em ordem cronológica, tal qual esse capítulo.

TABELA 2 - Tabela Comparativa dos Artigos

Título do Artigo	Veículos Elétricos			Blockchain		Rede
	G2V	V2G	V2V	Descentr. e Segurança	Token	Curva de Carga
Comparative review and discussion on P2P...	~	-	-	~	-	-
A Decentralised Energy Trading Architecture...	✓	-	-	~	-	-
Real-time renewable energy incentive system...	✓	-	-	✓	✓	✓
Adaptive Blockchain-Based Electric Vehicle...	✓	✓	-	✓	-	✓
Privacy-preserving communication and...	-	✓	✓	~	-	-
Na optimal scheduling algorithm for hybrid EV...	✓	-	✓	✓	-	✓
Automatic Demand Response Strategy of...	✓	✓	-	✓	-	-
SURVIVOR: A Blockchain based edge-as-a...	-	✓	-	✓	-	✓
BBARS: Blockchain-Based Anonymous...	-	✓	-	✓	-	-

FONTE: O autor (2019)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho, bem como o método aplicado para a obtenção dos resultados, são apresentados a seguir.

4.1 MATERIAIS

Para a realização do presente trabalho, foram necessários os recursos abaixo. Os que requerem explicações adicionais são apresentados na sequência.

- Ferramenta computacional de simulação GridLAB-D;
- Ferramenta computacional Microsoft Office Excel;
- Sistema de Teste IEEE 13 Barras;
- Curvas de Carga reais;
- Ferramenta computacional de simulação do Blockchain;
- Arquivo editor de textos (utilizado *Notepad++*).

Todas as simulações foram realizadas em um computador com processador Intel® Core™ i5-3210M CPU @ 2.50GHz, com 8,00GB de memória RAM e sistema operacional Windows 8.1 de 64 bits.

4.1.1 GridLAB-D

O GridLAB-D é um software de distribuição gratuita desenvolvido pelo departamento de energia dos Estados Unidos (*U. S. Department of Energy*), no *Pacific Northwest National Laboratory* (PNNL), com financiamento do *Office of Electricity* em colaboração com os meios industriais e acadêmicos. (GRIDLAB-D, 2019)

O software é capaz de simular e analisar sistemas de distribuição de energia através de técnicas de modelagem avançadas e algoritmos de alto desempenho. As simulações permitem a escrita e monitoramento de diversos objetos simultaneamente, permitindo ao usuário a manipulação dos parâmetros que deseja inserir no sistema, bem como obter em resposta.

O GridLAB-D não possui interface, operando diretamente no *prompt* de comando. A escrita do programa é dada pelo formato *GridLAB-D Modeling* (GLM, com a extensão *.glm*), editável em programas de edição de texto.

Os diferentes objetos e parâmetros que o GridLAB-D recebe são oferecidos em pacotes denominados “*modules*”, para atender à procura de diversas áreas a serem simuladas no sistema de distribuição. São eles:

- *Climate*: contém informações climáticas;
- *Generator*: simula baterias e sistemas de armazenamento;
- *Market*: permite simulação de mercado livre;
- *Powerflow*: simula os níveis de potência de distribuição;
- *Residential*: parametriza itens de uso residencial;
- *Reliability*: gera análises de confiabilidade nos modelos de *Powerflow*;
- *Assert*: módulo para testes, usados para avaliação das simulações;
- *Tape*: módulo para estabelecer condições limite para os objetos.

Os módulos de maior relevância para as simulações deste trabalho são o *Powerflow*, o *Generators*, o *Tape*, o *Assert* e o *Residential*.

As simulações do GridLAB-D são parametrizadas principalmente pelos objetos que representam as barras (*nodes*) e as linhas (*lines*) de um diagrama unifilar.

As linhas são parametrizadas conforme as características físicas, como diâmetro, condutância, comprimento, espaçamento entre as fases, bem como pelos objetos que a ela estão conectados.

As barras são parametrizadas conforme o tipo de conexão, o número de fases, a tensão nominal, e as cargas a elas conectadas

A saída de informações das simulações do GridLAB-D pode ser feita na forma de valores separados por vírgula (CSV, da extensão *.csv*), que então pode ser importada numa planilha Excel para manipulação dos dados.

O GridLAB-D faz simulações em regime permanente, porém é possível parametrizar cargas de forma a variar no tempo. Dessa forma, podem ser feitos vários cálculos em regime permanente em diferentes pontos no tempo, simulando resultados dinâmicos.

4.1.2 Sistema de Teste 13 Barras

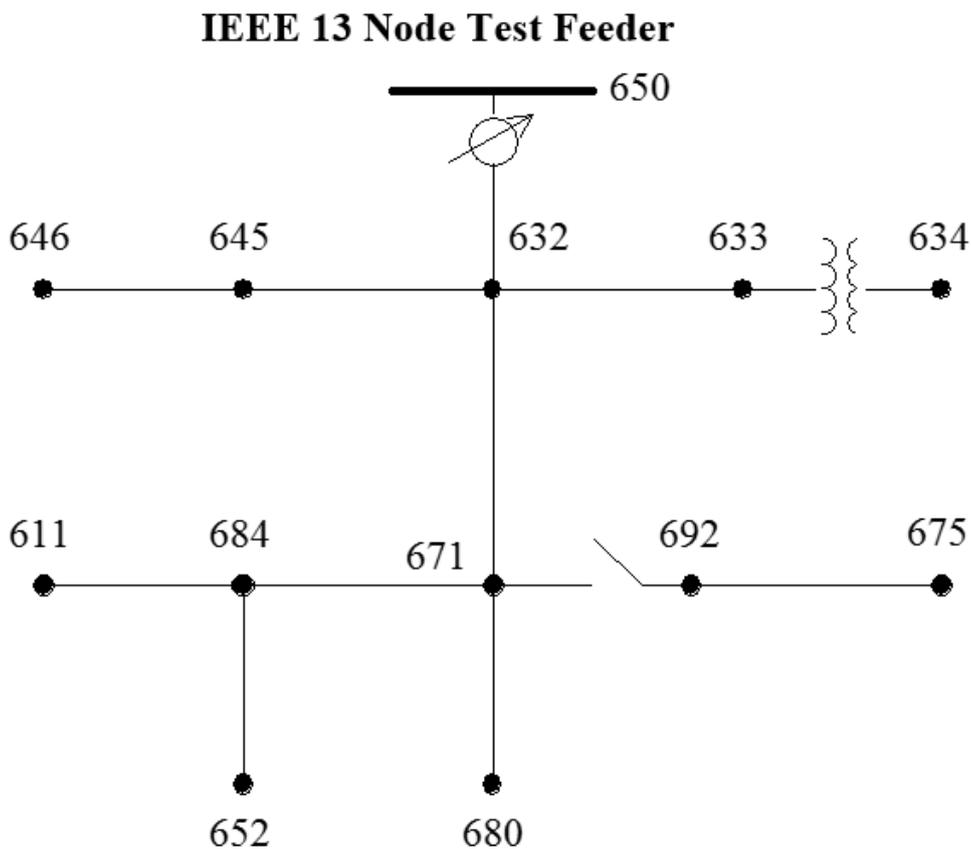
A rede a ser simulada na presente análise é o sistema de testes do IEEE de alimentadores a 13 barras, doravante denominado “13-barras”.

O 13-barras é um dos casos de testes de alimentadores criados em 1992 e aprovados pelo *DSA Subcommittee* durante a *PES Summer Meeting* de 2000. Trata-se de um sistema cujo objetivo é ser usado para avaliar a capacidade de algoritmos quando aplicados a um sistema radial trifásico desequilibrado. Como os outros casos aprovados em 1992, o 13-barras é um modelo de escala reduzida baseado em um circuito real. (IEEE, 2017)

O modelo é considerado pela IEEE como pequeno, e destinado a testar ferramentas comuns em softwares de análise de redes de distribuição. Ele opera a 4.16kV, é curto, com carga relativamente alta, com 1 regulador de tensão na subestação, linhas aéreas e subterrâneas, capacitores shunt, 1 transformador e carga desequilibrada. (IEEE, 2017)

Na figura 2 é apresentado o diagrama unifilar o 13-barras.

FIGURA 2 - Diagrama Unifilar do 13-barras



FONTE: IEEE (2017)

As tabelas a seguir apresentam os parâmetros utilizados no sistema de teste de 13 barras, e foram retiradas diretamente do arquivo disponível abertamente no endereço da IEEE.

As tabelas 3, 4 e 5 possuem os parâmetros das linhas do sistema.

TABELA 3 - Dados de Configuração das Linhas Aéreas

Config.	Phasing	Phase	Neutral	Spacing
		ACSR	ACSR	ID
601	B A C N	556,500 26/7	4/0 6/1	500
602	C A B N	4/0 6/1	4/0 6/1	500
603	C B N	1/0	1/0	505
604	A C N	1/0	1/0	505
605	C N	1/0	1/0	510

FONTE: IEEE (2017)

TABELA 4 - Dados de Configuração das Linhas Subterrâneas

Config.	Phasing	Cable	Neutral	Space ID
606	A B C N	250,000 AA, CN	None	515
607	A N	1/0 AA, TS	1/0 Cu	520

FONTE: IEEE (2017)

TABELA 5 - Dados dos Segmentos das Linhas

Node A	Node B	Length(ft.)	Config.
632	645	500	603
632	633	500	602
633	634	0	XFM-1
645	646	300	603
650	632	2000	601
684	652	800	607
632	671	2000	601
671	684	300	604
671	680	1000	601
671	692	0	Switch
684	611	300	605
692	675	500	606

FONTE: IEEE (2017)

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam os parâmetros do transformador, dos capacitores e do regulador de tensão, respectivamente.

TABELA 6 - Dados do Transformador

	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Substation:	5,000	115 - D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	500	4.16 – Gr.W	0.48 – Gr.W	1.1	2

FONTE: IEEE (2017)

TABELA 7 - Dados dos Capacitores

Node	Ph-A	Ph-B	Ph-C
	kVAr	kVAr	kVAr
675	200	200	200
611			100
Total	200	200	300

FONTE: IEEE (2017)

TABELA 8 - Dados do Regulador

Regulator ID:	1		
Line Segment:	650 - 632		
Location:	50		
Phases:	A - B -C		
Connection:	3-Ph,LG		
Monitoring Phase:	A-B-C		
Bandwidth:	2.0 volts		
PT Ratio:	20		
Primary CT Rating:	700		
Compensator Settings:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Setting:	3	3	3
X - Setting:	9	9	9
Voltage Level:	122	122	122

FONTE: IEEE (2017)

As tabelas 9 e 10 apresentam os parâmetros das cargas pontuais e distribuídas, respectivamente.

TABELA 9 - Dados das Cargas Pontuais

Node	Load	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
	Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
646	D-Z	0	0	230	132	0	0
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
692	D-I	0	0	0	0	170	151
611	Y-I	0	0	0	0	170	80
	TOTAL	1158	606	973	627	1135	753

FONTE: IEEE (2017)

TABELA 10 - Dados da Carga Distribuída

Node A	Node B	Load	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
		Model	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
632	671	Y-PQ	17	10	66	38	117	68

FONTE: IEEE (2017)

4.1.3 Curvas de Carga

O sistema de teste 13-barras tem natureza estática, visto o seu propósito para teste de plataformas de simulação. Entretanto, o presente trabalho requer variações de carga em relação ao tempo, de forma a simular as curvas de carga.

Para isso, as cargas nas barras 634, 645, 671 e 675, alvejadas por essa análise, terão sua carga variante, discretizadas em períodos de 30 minutos, pelas 24 horas simuladas no GridLAB-D.

Os dados das cargas correspondem a medidas características de residências de média renda em dias úteis, já feitas em estudo anterior sobre o mesmo sistema teste de 13 barras. (YAMAKAWA, 2007)

4.2 MÉTODOS

O método de análise do problema pode ser dividido em diferentes etapas, conforme apresentado nos itens a seguir.

4.2.1 Primeira Etapa – Caso Base

A primeira etapa do desenvolvimento da análise consiste em simular o sistema de teste de 13 barras no software GridLAB-D. Isso deve ser feito utilizando os parâmetros disponibilizados pelo IEEE, e comparando os resultados da simulação com estes. O objetivo dessa etapa é validar o software como uma ferramenta de simulação válida, bem como consolidar os conhecimentos necessários para dar sequência às simulações.

4.2.2 Segunda Etapa – Curvas de Carga

A segunda etapa consiste em trocar as cargas constantes por cargas variáveis com o tempo. Essa alteração deve ser feita nas barras do tipo PQ, de números 634, 645, 671 e 675. Isso é feito aplicando a definição *schedule* aos parâmetros das cargas dessas barras no GridLAB-D. Os valores correspondentes a estas cargas são dados pelos estudos citados no capítulo 4.1.3. O objetivo dessa etapa é validar a aplicação de cargas variáveis às barras do sistema de 13 barras.

4.2.3 Terceira Etapa – Veículo Elétrico Singular

A terceira etapa requer a aplicação da carga equivalente a 1 veículo elétrico em cada uma das barras PQ sendo estudadas. A carga utilizada considera uma média de 30 kWh por veículo elétrico. Para o presente trabalho, foi considerada a carga rápida com duração de 1 hora, e a carga lenta com duração de 6 horas. Nota-se que a carga rápida seria equivalente à DCFC, e esta somente é possível em pontos trifásicos, logo a barra 645 não pode carregar veículos em carga rápida. O objetivo dessa etapa é executar uma simulação funcional com a carga de veículos elétricos de forma inicial.

4.2.4 Quarta Etapa – Múltiplos Veículos Elétricos

A quarta etapa traz o impacto dos veículos elétricos disseminados em escala significativa à rede de distribuição. O número de veículos sendo carregados em cada barra deve ser aumentado, bem como os horários de recarga variados. Essa etapa tem como objetivo simular o impacto real dos veículos elétricos na rede de distribuição.

4.2.5 Quinta Etapa – Aplicação do Blockchain

A quinta etapa consiste no processo de tradução dos dados exportados pelo GridLAB-D no formato CSV para importá-los ao Blockchain. Isso é feito por meio de funções específicas escritas na linguagem de programação Python.

Em seguida, o mesmo programa avalia os impactos da aplicação dos veículos elétricos na rede. Se a recarga de um veículo reduzir o fator de potência abaixo de 0,92, a recarga não é autorizada e a transação não é realizada. Semelhantemente, se a recarga de um veículo causar variação nos níveis de tensão maior que 5% do original, a recarga não é autorizada e a transação não é realizada.

A transação financeira é simulada em função da potência demandada pelo usuário, do preço da energia estipulado (usa-se R\$0,706897/kWh, conforme tarifa do subgrupo B1 Residencial, considerando impostos (ANEEL, 2018)).

Finalmente, o programa simula a criação de blocos do Blockchain de maneira equivalente a real, com funções hash que preservam a privacidade dos usuários. Os blocos são criados a cada intervalo de tempo de 30 minutos. Ao final das 24 horas, é feita a soma dos gastos com energia de cada usuário.

O objetivo dessa etapa é utilizar o Blockchain como ferramenta de transações ponto-a-ponto.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações conforme as etapas propostas anteriormente, bem como a análise crítica destes.

5.1 RESULTADOS – CASO BASE

A parametrização dos objetos no software GridLAB-D foi realizada com dificuldade inicialmente, devido à falta de familiaridade com o programa, bem como a ausência de qualquer tipo de interface.

Relevante à essa etapa, a barra 634 se provou especialmente difícil de trabalhar, devido a sua conexão com o lado de baixa tensão do transformador não permitir a inserção de medidores da mesma maneira que as outras barras. Tendo essas peculiaridades em vista, e considerando as restrições de tempo, decidiu-se por abandonar a barra 634 dos estudos.

As outras barras foram simuladas com sucesso, com os níveis de potência correspondendo aos das tabelas 9 e 10 para todos os intervalos de tempo, visto que os níveis são constantes para a simulação do caso base.

5.2 RESULTADOS – CURVAS DE CARGA

Nessa etapa, foram inseridos no programa parâmetros que alteravam a potência e o fator de potência conforme a passagem do tempo dentro do período de um dia.

A carga distribuída entre as barras 632 e 671 ($\frac{2}{3}$ da carga a $\frac{1}{4}$ da distância da linha) também trouxe dificuldades para o cenário, com particularidades que não agregavam valor aos estudos. Visto que ainda constavam no trabalho as barras 645 e 675, com distribuição de fases diferentes, e ainda considerando as restrições de tempo, decidiu-se por abandonar a barra 671 dos estudos.

A agenda das potências e do fator de potência para as barras 645 e 675 é demonstrada na tabela 11.

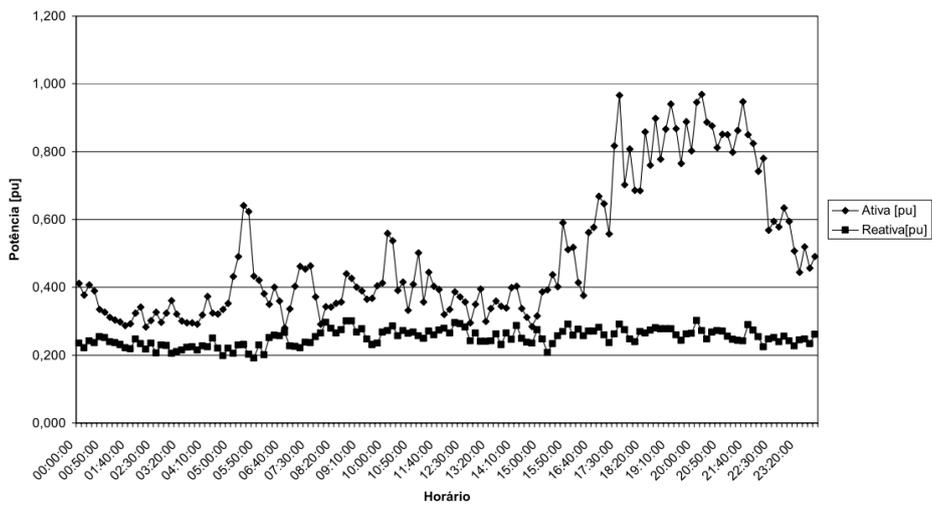
Para exemplificar a leitura do software da curva de carga, traz-se a figura 3, retirada diretamente do estudo de YAMAKAWA (2007), para ser comparada com as figuras 4 e 5, elaboradas com os dados do GridLAB-D.

TABELA 11 - Agenda da Curva de Carga para as Barras 645 e 675

Schedule	645 - Fase B		675 - Fase A		675 - Fase B		675 - Fase C	
	base_pow er	pow erfactor						
00:00	86,740	0,971	148,699	0,968	35,134	0,959	147,379	0,870
00:30	73,650	0,947	158,574	0,964	30,117	0,927	143,900	0,897
01:00	50,188	0,896	153,721	0,952	20,930	0,859	123,671	0,865
01:30	45,230	0,901	134,956	0,955	18,823	0,866	120,597	0,853
02:00	49,904	0,898	177,559	0,961	20,795	0,862	132,158	0,903
02:30	49,519	0,889	174,618	0,991	20,704	0,850	124,809	0,847
03:00	57,365	0,924	186,908	0,976	23,669	0,896	123,907	0,924
03:30	47,428	0,912	140,136	0,958	19,664	0,880	120,995	0,850
04:00	52,953	0,912	129,831	0,956	21,948	0,881	137,379	0,880
04:30	55,284	0,944	141,285	0,957	22,640	0,922	126,786	0,869
05:00	75,794	0,970	194,337	0,967	30,707	0,958	144,941	0,953
05:30	108,055	0,986	271,238	0,992	43,494	0,979	207,959	0,957
06:00	53,177	0,969	157,610	0,969	21,554	0,956	164,620	0,927
06:30	58,033	0,831	226,999	0,984	24,744	0,779	116,767	0,834
07:00	46,450	0,883	230,231	0,986	19,457	0,844	158,007	0,917
07:30	50,164	0,940	257,899	0,978	20,576	0,916	182,157	0,942
08:00	72,899	0,862	123,678	0,938	30,765	0,817	144,588	0,840
08:30	61,793	0,862	181,332	0,950	26,080	0,817	130,659	0,894
09:00	78,383	0,940	188,047	0,971	32,146	0,917	136,352	0,837
09:30	79,984	0,933	137,850	0,969	32,894	0,907	127,416	0,881
10:00	67,595	0,896	420,633	0,992	28,189	0,859	147,815	0,903
10:30	70,253	0,896	233,214	0,981	29,297	0,859	135,521	0,862
11:00	65,325	0,843	279,838	0,985	27,741	0,794	184,725	0,962
11:30	54,048	0,889	140,401	0,950	22,597	0,850	203,432	0,931
12:00	59,937	0,833	125,444	0,943	25,535	0,782	150,752	0,900
12:30	62,744	0,831	151,103	0,944	26,752	0,780	150,536	0,904
13:00	53,523	0,914	152,415	0,951	22,175	0,882	184,873	0,939
13:30	60,542	0,860	136,202	0,933	25,569	0,814	159,705	0,928
14:00	51,130	0,869	264,194	0,981	21,522	0,826	128,967	0,898
14:30	53,451	0,917	110,645	0,947	22,116	0,887	145,385	0,856
15:00	53,388	0,955	130,845	0,937	21,768	0,936	192,912	0,913
15:30	56,776	0,896	145,739	0,953	23,671	0,860	193,749	0,930
16:00	58,143	0,913	173,009	0,959	24,098	0,881	269,443	0,967
16:30	103,999	0,967	265,166	0,989	42,197	0,953	180,241	0,888
17:00	108,305	0,982	205,727	0,980	43,666	0,974	273,259	0,951
17:30	138,969	0,970	557,489	0,996	56,311	0,957	287,688	0,968
18:00	80,957	0,963	314,044	0,988	32,894	0,948	284,548	0,977
18:30	154,899	0,988	254,818	0,985	62,277	0,983	263,457	0,947
19:00	118,043	0,983	398,954	0,994	47,575	0,975	332,145	0,961
19:30	113,415	0,979	348,036	0,993	45,770	0,971	278,446	0,968
20:00	152,162	0,985	325,817	0,991	61,254	0,979	387,248	0,968
20:30	131,507	0,974	326,781	0,993	53,185	0,964	358,025	0,977
21:00	130,504	0,979	392,515	0,995	52,679	0,970	297,273	0,969
21:30	168,687	0,978	521,757	0,998	68,115	0,969	239,032	0,965
22:00	136,877	0,979	404,868	0,994	55,247	0,970	188,429	0,939
22:30	85,381	0,952	293,787	0,986	34,842	0,934	214,329	0,957
23:00	103,625	0,968	322,486	0,992	42,018	0,955	168,364	0,921
23:30	80,832	0,973	244,946	0,982	32,716	0,961	188,923	0,921

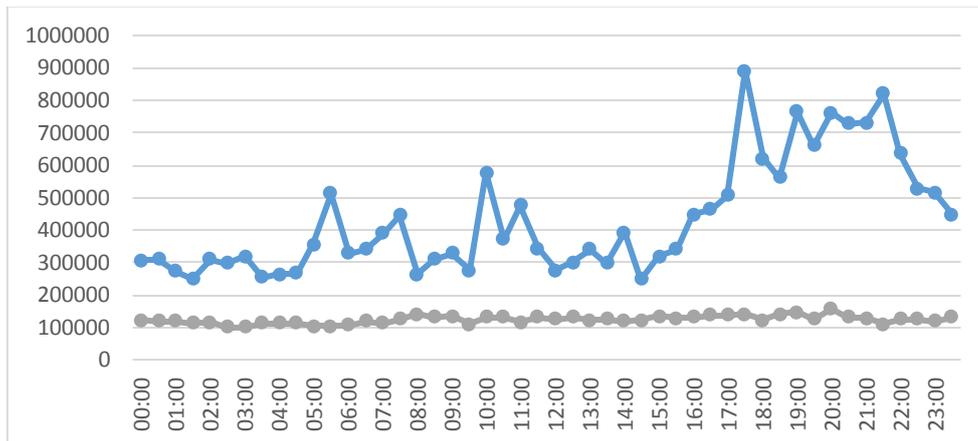
FONTE: O autor (2019)

FIGURA 3 - Curva de Carga Residencial de Média Renda de Dias Úteis



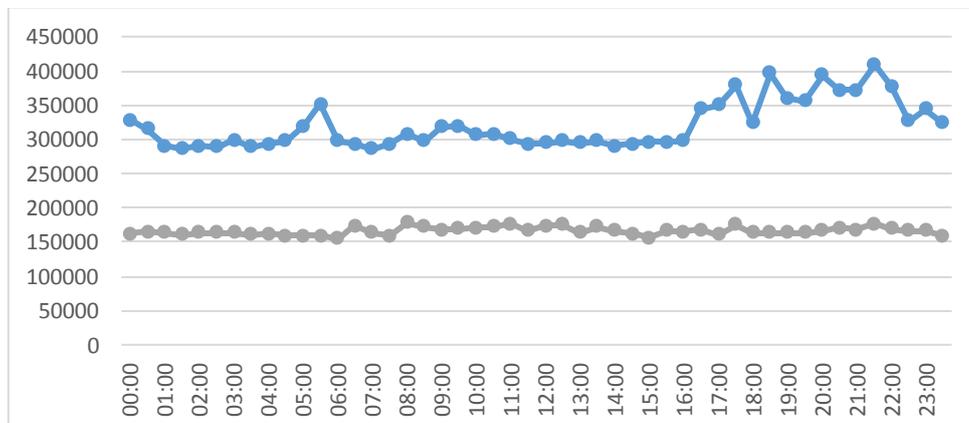
FONTE: YAMAKAWA (2007)

FIGURA 4 - Curva de Carga da Barra 675



FONTE: O autor (2019)

FIGURA 5 - Curva de Carga da Barra 645



FONTE: O autor (2019)

É possível perceber que a Barra 675 obedece à curva de carga, embora com a potência reativa ligeiramente abaixo do esperado. Para a Barra 645, entretanto, a potência reativa encontra-se tão reduzida que distorce o desenho da potência ativa. Ainda assim, é possível ver pelos picos de potência que a Barra 645 tenta seguir a curva de carga.

5.3 RESULTADOS – VEÍCULO ELÉTRICO SINGULAR

Para essa etapa do trabalho, a tarefa principal era a inserção de um veículo elétrico em cada uma das barras, de forma a analisar a execução.

Um dos módulos do GridLAB-D (*Residential*) possui pré-definições para a aplicação de carregadores de veículos elétricos na rede, porém esse item encontra-se em processo de implementação preliminar. Com parâmetros insuficientes e não correspondentes com o cunho deste trabalho, não foi possível utilizar o módulo *Residential* para aplicação dos veículos elétricos.

A solução para esse contratempo foi utilizar o módulo *Generators*, que permite o uso de aplicações como Inversores e Baterias, de forma a simplificar os veículos elétricos a baterias estáticas, porém com mesmos níveis de carga e capacidade para buscar verossimilhança. A consequência dessa adaptação impacta nos resultados da potência reativa: As baterias e inversores do GridLAB-D ainda não são capazes de simular corretamente a demanda de potência reativa quando carregam, sendo simuladas somente como cargas ativas.

Devido a esse efeito, não é possível considerar futuramente (na quinta etapa do método) o fator de potência como item limitador de transações e criação de blocos, visto que as características eletroeletrônicas das baterias dos veículos elétricos não são simuladas, e, portanto, somente a demanda de potência ativa é elevada. Com isso, quaisquer inserções de veículos elétricos na rede sob esse sistema irão melhorar o fator de potência.

Como não é produtivo ao presente trabalho inserir veículos elétricos em estado de recarga durante o horário de pico, já que esses não serão bloqueados de entrar na rede, as simulações a partir desse ponto buscam evitar os horários de alta demanda da curva de carga.

Ainda assim, foram instalados próximos às barras 645 e 675 veículos elétricos, na forma de baterias e inversores. Para isso, foi necessário incluir um

medidor logo antes da barra (a 1 pé de distância – sistema de medidas americano), e anexar o inversor a este, porque o GridLAB-D não é receptível a inserção de cargas nas barras propriamente ditas.

Os gráficos para essas inserções não foram inclusos no presente trabalho devido à natureza diminuta do impacto de 1 veículo elétrico na rede 13-barras não permitir visualização notável.

5.4 RESULTADOS - MÚLTIPLOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Nessa etapa do trabalho, os veículos elétricos tiveram seu número aumentado, totalizando 40 veículos, distribuídos entre as barras 645 e 675.

Nesse cenário, é estipulado um carregador hipotético capaz de iniciar a carga dos veículos elétricos em horário pré-programado pelo usuário, sem necessidade de intervenção física direta.

Os 10 veículos da barra 645, todos de carga lenta, foram divididos em 4 perfis de usuário.

Os perfis 1 e 2 realizam carga durante a noite, na residência, em horários defasados, procurando simular aleatoriedade.

Os perfis 3 e 4 realizam carga durante o dia, logo após o início do horário comercial, com intuito de simular um usuário que carrega o veículo em seu ambiente de trabalho, logo após chegar no local, para que o veículo esteja carregado antes do horário de pico.

Dos 30 veículos da barra 675, 10 foram considerados de carga rápida e 20 de carga lenta. Estes podem ser divididos em 10 perfis diferentes.

Os perfis 1, 2 e 3, de carga rápida, iniciam a carga ao acordarem pela manhã, de forma que o veículo esteja pronto para uso 1 hora depois, quando saírem de casa.

O perfil 4, de carga rápida, simula o usuário que utiliza a estação de carga rápida em seu ambiente de trabalho, iniciando a carga próximo do início do horário comercial.

O perfil 5, de carga rápida, representa o usuário que inicia a recarga das baterias de seu veículo às 22h, após o horário de pico.

Os perfis 6 e 7, de carga lenta, simulam usuários que realizam carga durante o dia, de maneira quase idêntica aos perfis 3 e 4 da barra 645, diferindo somente por serem da barra 675 e na quantidade de veículos.

Os perfis 8, 9 e 10 simulam uma grande quantidade de usuários que buscam recarregar as baterias de seus veículos durante a madrugada, utilizando o carregador hipotético pré-programável.

A tabela 12 demonstra a quantidade de veículos por perfil de usuário na barra 645, enquanto a tabela 13 demonstra a quantidade na barra 675.

TABELA 12 - Número de Veículos na Barra 645 por Perfil

Hora	Carga Lenta			
	Pr.1	Pr.2	Pr.3	Pr.4
00:00	-	-	-	-
00:30	2	-	-	-
01:00	2	3	-	-
01:30	2	3	-	-
02:00	2	3	-	-
02:30	2	3	-	-
03:00	2	3	-	-
03:30	2	3	-	-
04:00	2	3	-	-
04:30	2	3	-	-
05:00	2	3	-	-
05:30	2	3	-	-
06:00	2	3	-	-
06:30	-	3	-	-
07:00	-	-	-	-
07:30	-	-	-	-
08:00	-	-	-	-
08:30	-	-	-	-
09:00	-	-	2	-
09:30	-	-	2	-
10:00	-	-	2	3
10:30	-	-	2	3
11:00	-	-	2	3
11:30	-	-	2	3
12:00	-	-	2	3
12:30	-	-	2	3
13:00	-	-	2	3
13:30	-	-	2	3
14:00	-	-	2	3
14:30	-	-	2	3

CONTINUA

CONTINUAÇÃO TABELA 12

15:00	-	-	-	3
15:30	-	-	-	3
16:00	-	-	-	-
16:30	-	-	-	-
17:00	-	-	-	-
17:30	-	-	-	-
18:00	-	-	-	-
18:30	-	-	-	-
19:00	-	-	-	-
19:30	-	-	-	-
20:00	-	-	-	-
20:30	-	-	-	-
21:00	-	-	-	-
21:30	-	-	-	-
22:00	-	-	-	-
22:30	-	-	-	-
23:00	-	-	-	-
23:30	-	-	-	-

FONTE: O autor (2019)

TABELA 13 - Número de Veículos na Barra 675 por Perfil

Hora	Carga Rápida					Carga Lenta				
	Pr.1	Pr.2	Pr.3	Pr.4	Pr.5	Pr.6	Pr.7	Pr.8	Pr.9	Pr.10
00:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:30	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
01:00	-	-	-	-	-	-	-	3	10	-
01:30	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
02:00	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
02:30	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
03:00	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
03:30	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
04:00	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
04:30	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
05:00	-	-	-	-	-	-	-	3	10	3
05:30	2	-	-	-	-	-	-	3	10	3
06:00	2	2	-	-	-	-	-	3	10	3
06:30	-	2	2	-	-	-	-	-	10	3
07:00	-	-	2	-	-	-	-	-	-	3
07:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:00	-	-	-	3	-	2	-	-	-	-

CONTINUA

CONTINUAÇÃO TABELA 13

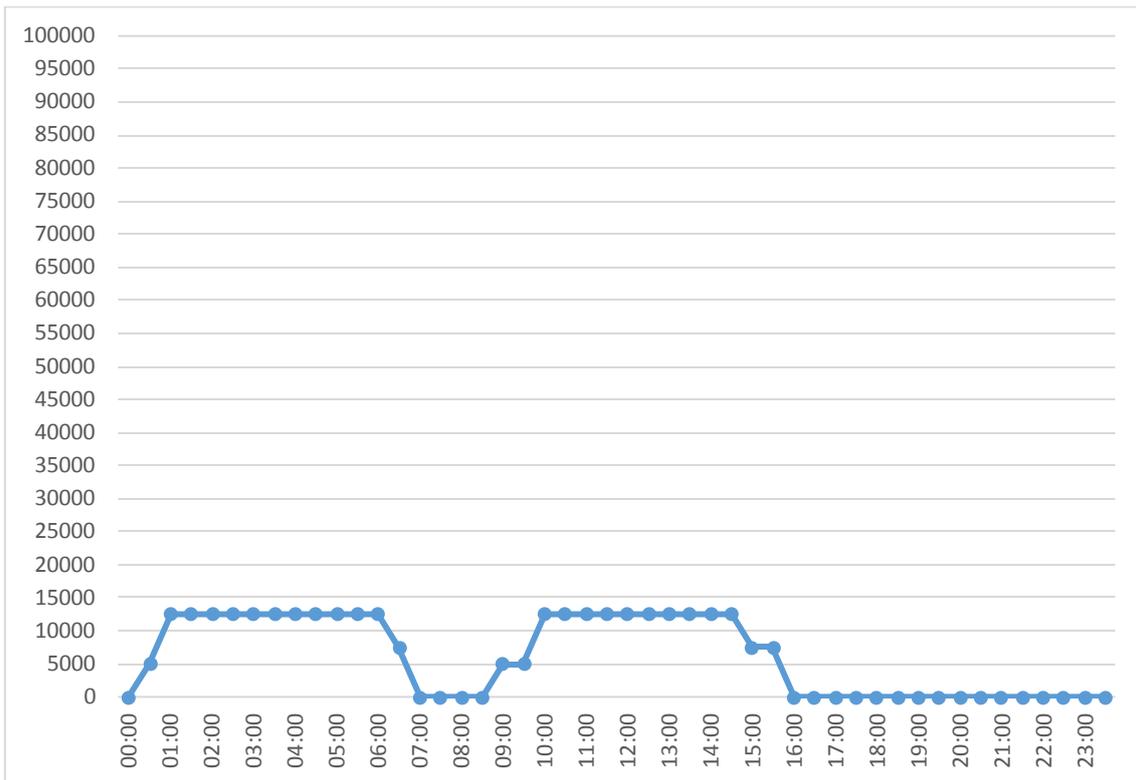
09:30	-	-	-	3	-	2	-	-	-	-
10:00	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
10:30	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
11:00	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
11:30	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
12:00	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
12:30	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
13:00	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
13:30	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
14:00	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
14:30	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
15:00	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
15:30	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
22:30	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FONTE: O autor (2019)

As figuras 6 e 7 permitem visualizar a demanda nas barras 645 e 675 causadas pelo novo número de veículos elétricos em cada uma delas. Ambas se encontram na mesma escala, de forma a não distorcer a visualização e permitir uma comparação mais ágil.

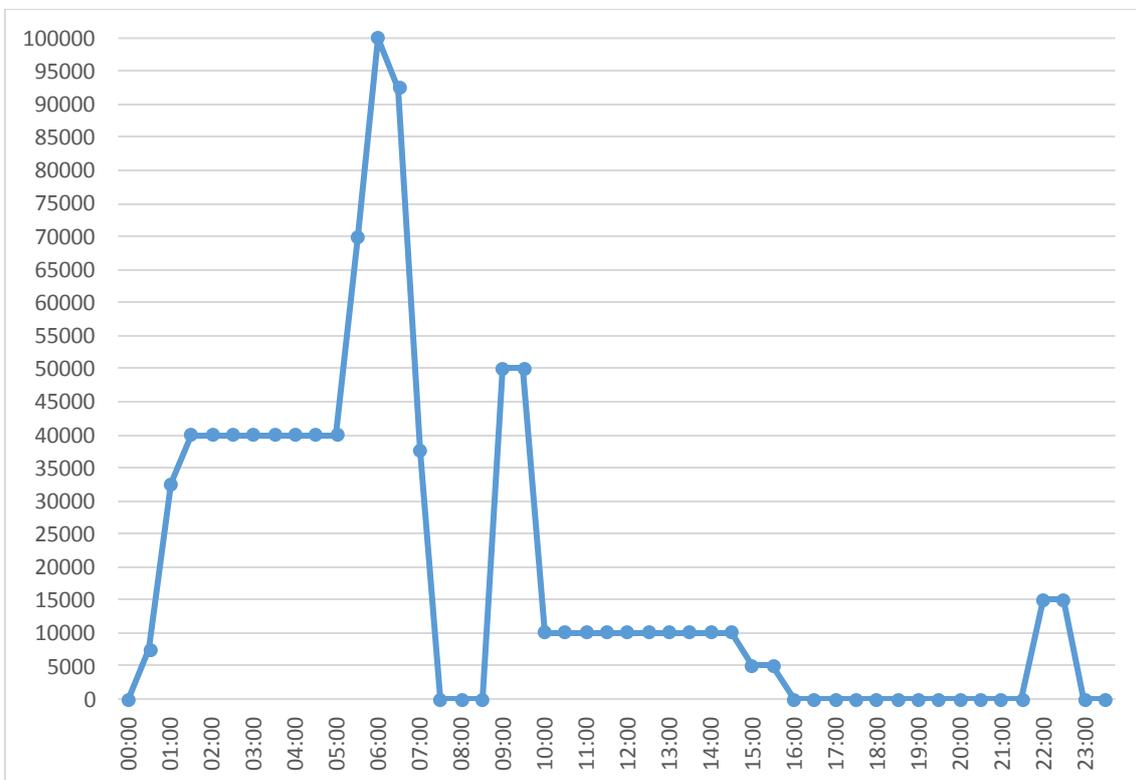
Analisando as tabelas 12 e 13 em conjunto com as figuras 6 e 7, é possível visualizar o momento de entrada e saída de cada grupo de veículos elétricos no sistema de distribuição.

FIGURA 6 - Demanda de Potência dos VE's na Barra 645



FONTE: O autor (2019)

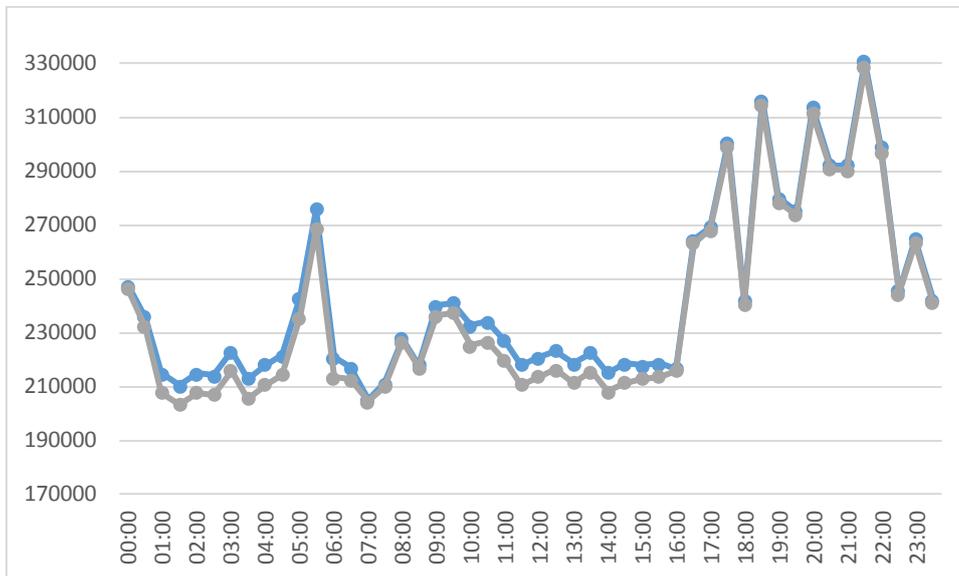
FIGURA 7 - Demanda de Potência dos VE's na Barra 675



FONTE: O autor (2019)

Na figura 8 é apresentada a diferença da potência aparente na barra 645 antes e após a implementação dos veículos elétricos.

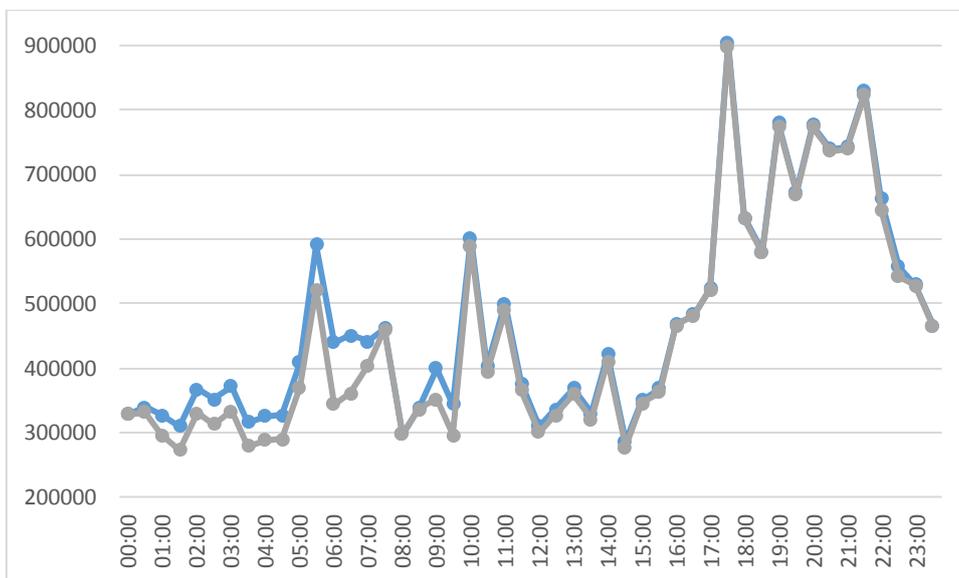
FIGURA 8 - Diferença da Potência Aparente na Barra 645



FONTE: O autor (2019)

Na figura 9 é apresentada a diferença da potência aparente na barra 675 antes e após a implementação dos veículos elétricos.

FIGURA 9 - Diferença da Potência Aparente na Barra 675



FONTE: O autor (2019)

Pode-se perceber que o impacto na potência só é visível para casos com quantidades significativas de veículos elétricos em carga lenta, e para casos de carga rápida em horários de pico.

5.5 RESULTADOS - APLICAÇÃO DO BLOCKCHAIN

Como mencionado anteriormente, o fator de potência não pode ser utilizado como fator limitante para a aceitação de transações e blocos. Portanto, buscou-se utilizar a queda de tensão como fator limitante, bloqueando transações que, ao acumuladas à rede, causassem impactos maiores que 5% da rede original.

Porém, mesmo com um grande número de veículos elétricos, não foi possível quebrar os limites de queda de tensão. Como a simulação de um número absurdo de veículos elétricos não faz parte do escopo desse trabalho, todas as condicionais para bloqueio de transações e blocos se tornaram inutilizáveis.

Mesmo assim, o programa foi executado de forma a demonstrar a funcionalidade do Blockchain. Com a geração de 1 bloco a cada 30 minutos, a simulação totalizou 48 blocos, tratando-se de 24 horas.

A tabela 14 foi elaborada pela coleta dos dados resultantes do programa, e simplificada para melhorar a visualização neste documento. As funções hash foram abreviadas em 6 caracteres para evitar poluição visual.

TABELA 14 - Resultados do Blockchain para as Barras 645 e 675

Hora	Número do bloco	Hash Atual	Hash Ant.	VE's 675			VE's 645		
				Valor	De	Para	Valor	De	Para
00:00	1	0x0000	996f68	0,000	-	-	0,000	-	-
00:30	2	996f6	362f0	5,302	fc200b	423a45	3,534	2cca4e	7659b8
01:00	3	362f0	357b2	22,974	6c4240	1d71bf	8,836	f7edd6	ed0421
01:30	4	357b2	1b0ff	28,276	7c1e75	9eb740	8,836	9d2c7a	954bae
02:00	5	1b0ff	7065f	28,276	652a73	5e037d	8,836	513ad7	e0cbba
02:30	6	7065f	25338	28,276	df7592	80f4fb	8,836	eef0e4	ffb943
03:00	7	25338	11925	28,276	4db02b	46af39	8,836	712e68	15ed6a
03:30	8	11925	fb9de	28,276	9a7a18	a0fc8a	8,836	6434af	a38a54
04:00	9	fb9de	6fe3e	28,276	186f2a	6daea5	8,836	d35011	0034eb
04:30	10	6fe3e	856aa	28,276	e5e6f4	7b976b	8,836	5fde3e	5e676a
05:00	11	856aa	95060	28,276	ee4b66	a394a3	8,836	4a6fc2	bce96b
05:30	12	95060	27faf	49,483	9a2b32	0b2573	8,836	4d916c	2e6200
06:00	13	27faf	f7c7f	70,690	43d7c5	3f74e7	8,836	91a6ef	fd97b9
06:30	14	f7c7f	3a806	65,388	ac0091	c6d343	5,302	ac9f78	db7207
07:00	15	3a806	9e3b1	26,509	1529d2	73f9b6	0,000	-	-
07:30	16	9e3b1	d85ad	0,000	-	-	0,000	-	-
08:00	17	d85ad	971ae	0,000	-	-	0,000	-	-

CONTINUA

CONTINUAÇÃO TABELA 14

08:30	18	971ae	a0e75	0,000	-	-	0,000	-	-
09:00	19	a0e75	c144c	35,345	cdb8a3	f840cd	3,534	068d44	ab2295
09:30	20	c144c	ee5e4	35,345	527a7f	05184c	3,534	769cf2	99cc93
10:00	21	ee5e4	c6b34	7,069	fff2a2	358683	8,836	675240	f1f7e6
10:30	22	c6b34	0b5f7	7,069	a7f3a9	c4add6	8,836	a97ae6	4dfb48
11:00	23	0b5f7	8ab99	7,069	daeed2	2e8ea9	8,836	a30660	e33e80
11:30	24	8ab99	96a12	7,069	bb3c3d	462451	8,836	06b5fe	88014f
12:00	25	96a12	750e8	7,069	ebad9f	f25e98	8,836	a8de5c	ee4be9
12:30	26	750e8	4a03c	7,069	88b4ee	6b84eb	8,836	d4c341	1ef456
13:00	27	4a03c	21caf	7,069	20b9fc	fedbd3	8,836	ee374e	ee26bf
13:30	28	21caf	9f5da	7,069	e94236	fe20f9	8,836	d363ea	7b63c5
14:00	29	9f5da	c2831	7,069	2fdc64	18be92	8,836	4ca55f	71ae41
14:30	30	c2831	99f7b	7,069	ace446	f4e163	8,836	82fabb	add691
15:00	31	99f7b	c5b04	3,534	f17878	8a298e	5,302	dd23c7	fdfaa7
15:30	32	c5b04	c8889	3,534	9aa845	fac16e	5,302	854275	8ef5f0
16:00	33	c8889	28dca	0,000	-	-	0,000	-	-
16:30	34	28dca	733a3	0,000	-	-	0,000	-	-
17:00	35	733a3	8453f	0,000	-	-	0,000	-	-
17:30	36	8453f	b1720	0,000	-	-	0,000	-	-
18:00	37	b1720	283a6	0,000	-	-	0,000	-	-
18:30	38	283a6	61bb3	0,000	-	-	0,000	-	-
19:00	39	61bb3	a5415	0,000	-	-	0,000	-	-
19:30	40	a5415	6d324	0,000	-	-	0,000	-	-
20:00	41	6d324	1de66	0,000	-	-	0,000	-	-
20:30	42	1de66	88675	0,000	-	-	0,000	-	-
21:00	43	88675	1c76d	0,000	-	-	0,000	-	-
21:30	44	1c76d	4b5b6	0,000	-	-	0,000	-	-
22:00	45	4b5b6	986bb	10,603	09a9d2	ec12c7	0,000	-	-
22:30	46	986bb	b619c	10,603	fee1bb	244369	0,000	-	-
23:00	47	b619c	8fe9d	0,000	-	-	0,000	-	-
23:30	48	8fe9d	e30e5	0,000	-	-	0,000	-	-

FONTE: O autor (2019)

Nota-se que foi possível realizar todas as transações para carga dos veículos elétricos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho tinha como proposta a simulação de uma rede de distribuição de energia, expandida pela implementação de veículos elétricos, e submetida à plataforma Blockchain para gerenciamento de transações.

A ferramenta computacional de simulação de redes GridLAB-D provou-se útil para a simulação de sistemas desequilibrados, como é o caso do sistema de teste de 13 barras do IEEE. Trata-se de um software de distribuição livre, que sempre será gratuito e receberá atualizações, permitindo expandir a biblioteca de módulos pré-configurados para simular redes diversas.

Entretanto, foi possível notar que a maioria dos problemas encontrados durante a realização deste trabalho foram oriundos do próprio GridLAB-D. A falta de interface dificultou o aprendizado da ferramenta. A capacidade de análise puramente estática do programa, sem dinamismo verdadeiro, impossibilitou a implementação de lógicas que bloqueassem a ação de cargas em períodos indesejados, limitando o potencial de respostas a serem obtidas nos estudos. Os veículos elétricos ainda não foram completamente implementados ao sistema do GridLAB-D, assingelando o uso destes nas análises, e inibindo estudos realísticos de simulações de veículos elétricos no formato V2G.

Para futuros projetos de temas relacionados, é recomendada a busca por outros softwares com ferramentas mais completas. Além disso, é interessante destacar os potenciais de uma frota de veículos elétricos em V2G, bem como a economia de tokens do Blockchain. São propícias também simulações que adicionem à presente itens como geração distribuída de energias renováveis e baterias de grande porte, de forma a tornar o cenário simulado mais próximo das potenciais redes inteligentes.

7 REFERÊNCIAS

- ANEEL. (2018). *Resolução Homologatória Nº 2,402 de 19 de Junho*.
- ANWAR, H. (13 de Julho de 2018). *Ultimate Blockchain Technology Guide*.
Fonte: 101Blockchains.com: <https://101blockchains.com/ultimate-blockchain-technology-guide/>
- BATTERY UNIVERSITY. (18 de Abril de 2019). *BU-1003: Electric Vehicle (EV)*.
Fonte: BatteryUniversity.com:
https://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev
- CHARGEHUB. (2019). *Guide On How To Charge Your Electric Car With Charging Stations*. Fonte: ChargeHub.com:
<https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>
- CNBC. (30 de 05 de 2018). *Electric Vehicles Will Grow From 3 Million to 125 Million By 2030, International Energy Agency Forecasts*. Fonte: CNBC:
<https://www.cnn.com/2018/05/30/electric-vehicles-will-grow-from-3-million-to-125-million-by-2030-iea.html>
- ENGEL, H., HENSLEY, R., KNUPFER, S., & SAHDEV, S. (Agosto de 2018). *Charging ahead: Electric-vehicle infrastructure demand*. Fonte: McKinsey.com: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand>
- ENGEL, H., HENSLEY, R., SAHDEV, S., & KNUPFER, S. (Agosto de 2018). *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*. Fonte: McKinsey.com: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-potential-impact-of-electric-vehicles-on-global-energy-systems>
- ENSSLIN, L., ENSSLIN, S. R., & PINTO, H. d. (2013). Processo de investigação e análise bibliométrica: avaliação da qualidade dos serviços bancários. *Revista de Administração Contemporânea*, 325-349.
- FELIX, L., BRITO, E. A., & MATSUBARA, V. (Abril de 2019). *Nova Rota Para Os Carros*. Fonte: Uol.com: <https://www.uol.com.br/carros/especiais/rota-2030-o-que-muda-no-carro-do-brasil.htm#nova-rota-para-os-carros>
- GRIDLAB-D. (Março de 2019). *GridLAB-D: A Unique Tool to Design the Smart Grid*. Fonte: Gridlabd.org: <https://www.gridlabd.org>

- GUMTREE. (2018). *Electric Cars Buying Guide*. Fonte: Gumtree.com.au: http://www.gumtree.com.au/scam-security-centre/buying-on-gumtree/the-ultimate-electric-cars-buying-guide/gory2=Selling_and_Buying_Guides&s=a002I00000Z376RQAR
- HJGENAAR, S., ERKIN, Z., KEVICZKY, T., SIEMONS, J., BISSCHOPS, R., & VERBRAECK, A. (2017). A Decentralised Energy Trading Architecture for Future Smart Grid Load Balancing. *Smart Grid Communications* (pp. 23-26). Dresden, Germany: IEEE.
- HUANG, X., ZHANG, Y., LI, D., & HAN, L. (2019). An optimal scheduling algorithm for hybrid EV charging scenario using consortium blockchains. *Future Generation Computer Systems*, 555-562.
- IEEE. (2017). *IEEE PES AMPS DSAS Test Feeder Working Group*. Fonte: Sites.IEEE.org: <http://sites.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>
- JINDAL, A., AUJLA, G. S., & KUMAR, N. (2019). SURVIVOR: A blockchain based edge-as-a-service framework for secure energy trading in SDN-enabled vehicle-to-grid environment. *Computer Networks*, 36-48.
- LIU, C., CHAI, K. K., ZHANG, X., LAU, E. T., & CHEN, Y. (2018). Adaptive Blockchain-Based Electric Vehicle Participation Scheme in Smart Grid Platform. *IEEE Access*.
- MARR, B. (16 de Fevereiro de 2018). *A Very Brief History Of Blockchain Technology Everyone Should Read*. Fonte: Forbes.com: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/16/a-very-brief-history-of-blockchain-technology-everyone-should-read/#b1fcc2e7bc47>
- MORGAN, J. P. (10 de Outubro de 2018). *Driving into 2025: The Future of Electric Vehicles*. Fonte: J. P. Morgan: <https://www.jpmorgan.com/global/research/electric-vehicles>
- PARK, C., & YONG, T. (2017). Comparative review and discussion on P2P electricity trading. *Environmental and Climate Technologies* (pp. 3-9). Riga, Latvia: ELSEVIER.
- ROSIC, A. (2016). *What is Blockchain Technology*. Fonte: Blockgeeks: <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>
- SHANAN, Z. (10 de Setembro de 2015). *Electric Car Charging 101 - Types of Charging, Charging Networks, Apps & More*. Fonte: Evobsession.com:

<https://evobsession.com/electric-car-charging-101-types-of-charging-apps-more/>

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2015). *Timeline: History of the Electric Car*.

Fonte: Energy.gov: <https://www.energy.gov/timeline/timeline-history-electric-car>

WANG, H., WANG, Q., HE, D., LI, Q., & LIU, Z. (2019). BBARS: Blockchain-Based Anonymous Rewarding Scheme for V2G Networks. *IEEE Internet of Things Journal*.

XIANG, K., CHEN, B., LIN, H., SHEN, Y., DU, Y., & YAN, T. (Outubro de 2018). Automatic Demand Response Strategy of Local Pure Electric Vehicle With Battery Energy Storage System Based on Blockchain Technology.

YAMAKAWA, E. K. (2007). *Sistema de Controle Nebuloso para Bancos de Capacitores Automáticos Aplicados em Alimentadores de Distribuição de Energia Elétrica*. Curitiba.

ZHANG, T., POTA, H., CHU, C.-C., & GADH, R. (14 de Junho de 2018). Real-time renewable energy incentive system for electric vehicles using prioritization and cryptocurrency. *Applied Energy*, pp. 582-594.

ZHANG, Y., LI, J., ZHENG, D., LI, P., & TIAN, Y. (2018). Privacy-preserving communication and power injection over vehicle. *Journal of Network and Computer Applications*, 50-60.