

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Daniel de Oliveira Vargas

**IMPACTO DA ESTRATÉGIA DE CARREGAMENTO V2G NO ESTUDO N-1 PARA
SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

Araranguá
2021

Daniel de Oliveira Vargas

**IMPACTO DA ESTRATÉGIA DE CARREGAMENTO V2G NO ESTUDO N-1 PARA
SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Orientador: Prof. Leonardo Elizeire Bremermann, Dr.

Araranguá
2021

Daniel de Oliveira Vargas

IMPACTO DA ESTRATÉGIA DE CARREGAMENTO V2G NO ESTUDO N-1 PARA SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Leonardo Elizeire Bremermann, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Letícia Toreti Scarabeloti, Me.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Leonardo Elizeire Bremermann, Dr.
Orientador

Daniel de Oliveira Vargas
Autor

Araranguá, 20 de dezembro de 2021.

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática da biblioteca universitária da UFSC.

VARGAS, DANIEL

IMPACTO DA ESTRATÉGIA DE CARREGAMENTO V2G NO ESTUDO N-1 PARA SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA / DANIEL VARGAS ; orientador, LEONARDO ELIZEIRE BREMERMAN, 2021.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. VEÍCULOS ELÉTRICOS. 3. CONEXÃO VEHICLE TO GRID. 4. FLUXO DE POTÊNCIA. 5. ESTADO DA ARTE. I. ELIZEIRE BREMERMAN, LEONARDO. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Energia. III. Título.

Daniel de Oliveira Vargas

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais, minha esposa e a todos que de qualquer forma, contribuíram para a produção do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a minha família e as pessoas que me incentivaram a persistir e não desistir dos meus objetivos, que estiveram comigo durante todo o meu processo de graduação até a conclusão final deste trabalho, principalmente ao meu professor orientador Leonardo que se dispôs a me auxiliar até o final deste.

RESUMO

Neste trabalho, será avaliado como está caracterizada a influência e o impacto do permanente aumento na produção e utilização dos veículos elétricos nas redes de transmissão do sistema elétrico de potência, considerando o seu crescimento exponencial devido a demanda do consumo de recursos para geração de energia. Utilizando tais informações se realizará um estudo de fluxo de cargas para analisar se o impacto da integração distribuída de veículos elétricos atuando como fontes de geração distribuída. Para tanto, considera-se que os VE atuam numa estratégia de carregamento denominada V2G, utilizando a energia armazenada como capacidade de potência para injetar no sistema quando necessário. Será utilizado o software Power World por meio de um sistema de 12 barras com a integração de veículos elétricos, variando a distribuição de linhas no sistema pelo método n-1 e as quantidades de potência que é injetado no sistema. Os resultados, ainda que preliminares, corroboram com o que as referências científicas vêm estabelecendo: o carregamento dos veículos elétricos, se realizado de forma apropriada, pode contribuir com os aspectos operacionais do sistema elétrico.

Palavras-chave: Veículos Elétricos. Carregamento inteligente. Fluxo de Potência.

ABSTRACT

In this work, the influence and impact of the permanent increase in the production and use of electric vehicles in the transmission networks of the electric power system will be evaluated considering its exponential growth due to the demand for consumption of resources for power generation. Using this information, a load flow study will be carried out to analyze the impact of the distributed integration of electric vehicles acting as distributed generation sources. For this purpose, it is considered that the EVs act in a charging strategy called V2G, using the stored energy as power capacity to inject into the system when necessary, using the Power World software through a 12-bar system with vehicle integration by varying the distribution of lines in the system by the n-1 method and the amounts of power that are injected into the system. The results, although preliminary, corroborate what scientific references have been establishing: the charging of electric vehicles, if carried out properly, can contribute to the operational aspects of the electric system.

Keywords: Electric Vehicles. Smart charging. Power Flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz energética brasileira (Fonte: EPE)	17
Figura 2: Ilustração do sistema de 12 barras antes da aplicação n-1	31
Figura 3: Ilustração cenário de base 2 do sistema de 12 barras com a aplicação n-1	34
Figura 4: Ilustração dos casos com aumento de potência na forma Vehicle to Grid sobre o sistema n-1.....	39
Figura 5: Ilustração cenário de base 3 do sistema de 12 barras com a aplicação n-1	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das barras do sistema sem injeção de potência....	26
Tabela 2: Características das linhas do sistema considerando o cenário 1 ...	27
Tabela 3: Características dos cenários do sistema considerando o cenário 2	27
Tabela 4: Características das linhas do sistema considerando o cenário 2 ...	27
Tabela 5: Utilização de fluxo das linhas entre as barras do sistema para o caso de base 1 (fonte: O autor)	33
Tabela 6: Utilização de fluxo das linhas entre as barras do sistema para o caso de base 2 (fonte: O autor)	36
Tabela 7: Características do carregamento das linhas do sistema n-1 do cenário e base 2 com injeção de potência na forma Vehicle to Grid.....	37
Tabela 8: Utilização de fluxo das linhas entre as barras do sistema para o caso de base 3 (fonte: O autor)	41
Tabela 9: Características do carregamento das linhas do sistema n-1 do cenário e base 3 com injeção de potência na forma Vehicle to Grid.....	42

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.2	MÉTODO N-1	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos	19
2	DESENVOLVIMENTO	20
2.2	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	20
2.2	MODELOS DE INTERESSE	22
2.2.1	Modelos das LT	22
2.2.2	Modelos dos VE	23
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	SISTEMAS TESTES E PERFIS DE CARGA	24
3.2	FLUXO DE CARGA.....	28
3.3	FERRAMENTA COMPUTACIONAL POWER WORLD	30
4	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	32
4.1	CENÁRIO DE BASE 1	32
4.1.1	– Resultados do carregamento das linhas de transmissão do sistema proposto ...	32
4.2	CENÁRIO DE BASE 2	34
4.2.1	Resultado do carregamento das linhas do sistema proposto	34
4.3	CENÁRIOS COM INJEÇÃO DE POTÊNCIA NO CENÁRIO DE BASE 2 EM 33%, 66% e 100% (VEHICLE TO GRID).....	36
4.3.1	Resultado do carregamento das linhas do sistema proposto	36
4.4	CENÁRIO DE BASE 3	40
4.4.1	Resultado do carregamento das linhas do sistema proposto	41
1.1.1	41
4.5	CENÁRIOS COM INJEÇÃO DE POTÊNCIA NO CENÁRIO DE BASE 3 EM 33%, 66% e 100% (VEHICLE TO GRID).....	42
5	CONCLUSÃO.....	44
6	REFERENCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira vem se modificando nos últimos anos, tendo as fontes de energia renováveis uma parcela importante na mesma. A energia eólica por exemplo já representa em torno de 9% da matriz energética nacional. A energia solar fotovoltaica fonte que está em constante crescimento como é possível ver na Figura 1. (EPE,2020).

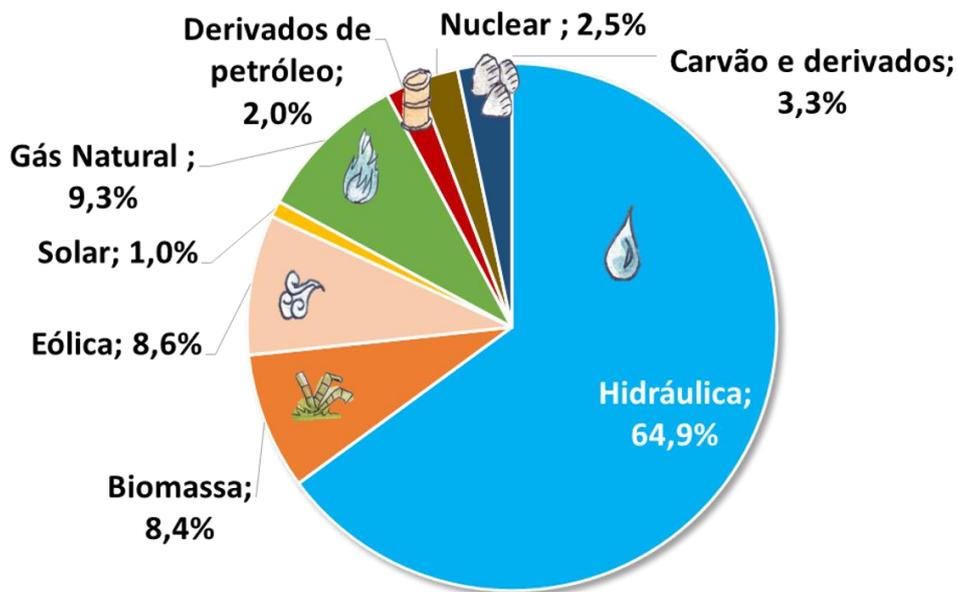


Figura 1: Matriz energética brasileira (Fonte: EPE)

No cenário mais favorável, tem-se uma parcela de participação na produção de energia elétrica concentrada na parte das fontes renováveis, em grande parte as usinas hidrelétricas e demais fontes não controláveis, como usinas eólicas e solares. Todavia, tem uma estimativa de produção controlável, chegando ao cenário mais desfavorável, em que a participação das termelétricas continua com grande contribuição no número de geração de energia. Porém, ainda desta forma a expectativa é que as gerações renováveis tenham uma ainda maior parcela da geração de energia do país.

Por apresentarem uma sazonalidade na geração e exigir a utilização imediata após a produção já que ainda não existem meios sustentáveis e viáveis economicamente para armazenamento da mesma, se torna difícil garantir a

confiabilidade do sistema elétrico brasileiro provindo das fontes de energia renovável. As fontes não renováveis, por sua vez, como as termelétricas movidas a carvão, apresentam alta previsibilidade de geração, porém tendem a ser menos utilizadas por questões ambientais e por também apresentar a dificuldade de armazenamento de energia. Logo, a utilização dos veículos elétricos como uma forma de “bateria” pode se tornar interessante devido a sua potencialidade de atuar como carga e fonte de potência através do método vehicle to grid que usa os conceitos do fluxo de carga, que posteriormente será apresentado.

A inserção dos veículos elétricos (VE) na sociedade terá um impacto relevante no sistema elétrico de potência (SEP) brasileiro, necessitando de análise e estudos de fluxo de potência, considerando os diversos cenários relativos à integração desses.

A análise do fluxo de potência juntamente com a modelagem dos VE é relevante para mapear soluções e possíveis problemas do sistema elétrico nacional.

1.2 MÉTODO N-1

Neste trabalho será feito uma análise de um estudo de caso, dando continuidade a um trabalho onde foi utilizado um sistema de 12 barras no software Power World. O objetivo entender qual o impacto da agregação dos veículos elétricos no sistema, onde foi tomado o método N-1 para o mesmo, ou seja, será avaliado qual o efeito da retirada de uma barra do sistema, criando novas formas de distribuição do mesmo, como por exemplo fechar o circuito em outro ponto do sistema que antes se encontrava aberto, sem interferência do fluxo de potência, com o objetivo de analisar os resultados que serão efetivados em decorrência dessa mudança.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos dos veículos elétricos no sistema elétrico de potência a partir da análise do fluxo de carga.

1.3.2 Objetivos Específicos

Avaliar o congestionamento da linha utilizando o método de fluxo de carga.

Revisar o estado da arte e procurar identificar e conhecer os métodos de modelagem de VE.

Estudar metodologias de fluxo de carga.

Conhecer ferramentas de fluxo de carga para análise do impacto dos veículos elétricos no SEP.

Identificar a necessidade de estudos futuros para a introdução dos VE no SEP.

2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do estudo proposto.

2.2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abordará a revisão bibliográfica do tema principal deste trabalho, tendo como objetivo apresentar as mais atuais pesquisas da área.

O estudo de SU *et al.* (2019), propõe análises matemáticas das demandas de carregamento de EV, nas quais o modelo de tráfego dinâmico e a teoria das filas foram utilizados para avaliar o cobrando demandas em relação à dinâmica espacial e temporal.

Segundo os autores Jun Su *, T.T. Lie , Ramon Zamora, as principais contribuições do artigo foram ter um modelo de carregamento VE em grande escala que preenche a lacuna entre a representações do comportamento de carregamento usado no transporte e energia integrados a análise de sistema para a avaliação de estratégias de carregamento inteligente e também por ser um modelo probabilístico multivariado para estimar cargas de carga de EVs agregadas com a consideração de aleatoriedade e heterogeneidade com base em dados estatísticos de transporte. Além disso, foi um estudo de caso para testar a eficácia de estratégias de carregamento não inteligentes e inteligentes em relação aos impactos de pico e preenchimento de vale nos EVs agregados carregamento de cargas.

No estudo de Mies *et al.* (2018), é direcionado para a análise dos fatores que influenciam o perfil de cobrança de VEs individuais baseados nas sessões de cobranças na Holanda, para poder otimizar o esquema de cobrança inteligente.

O artigo conclui que muitas variáveis influenciam o tempo de carregamento. Foi mostrado que o nível de tensão de um VE acarrete em um grande impacto, principalmente combinado com o número de VEs conectados de uma única vez, na velocidade de carregamento.

O artigo de Soares *et al.* (2010), apresenta um algoritmo para avaliar os impactos dos VE em uma rede elétrica. O autor apresenta esse algoritmo como sendo uma ferramenta de planejamento, que é baseada em um método de Monte Carlo que

obtêm valores médios e intervalos de confiança para alguns índices da rede.

Os autores (FJ Soares, JA Peças Lopes, PM Rocha Almeida) concluíram que a rede em ilha é muito robusta, sendo, portanto, capaz de integrar um grande número de EV sem a ocorrência da linha de carga e de limites de violação da tensão. Também relacionaram os níveis de perdas com a porcentagem de VE conectados à rede.

Segundo o artigo de Ouali e Cherkaoui (2020), a solução para o controle da rede de média e alta tensão é a análise do fluxo de carga. Utilizando os métodos de newton-raphson e Gaus acarretam alguns problemas, como um tempo e esforço computacional elevados. O método proposto pelo artigo é um procedimento iterativo baseado no algoritmo de varredura para trás / para frente com o único uso da formulação de Kirchhoff.

A abordagem de varredura para trás / para frente é baseada em três etapas sendo a etapa 1 (cálculo da corrente nodal) a injeção de corrente em cada nó "i" é calculada. A etapa 2 (varredura para trás) se dá a partir do último ramo pedido, J_i atual, $i + 1$, no ramo do nó i para o nó "i + 1" é calculado. E a etapa 3 (varredura para frente) acontece a partir do barramento raiz, as tensões dos nós são atualizadas.

O artigo sugere que o método analisado é de fácil aplicação para o sistema de média tensão marroquino devido a avançada infraestrutura de medição já existente na região. Segundo o autor, o método proposto pode ser explorado em várias aplicações de rede de distribuição como controle de tensão e gerenciamento da demanda de energia. A limitação do método proposto é que ele pode ser usado apenas para o sistema de distribuição radial e não para malha sistemas de distribuição ou sistemas de transmissão.

Encontrar o despacho ideal de VE, quando a demanda para VE é maior que no tempo é o objetivo do artigo de Wang *et al.* (2021). É apresentado os desafios da introdução da energia eólica na rede elétrica. Veículos elétricos são apresentados como uma boa opção para armazenamento de energia, uma vez que o carregamento e descarregamento de VE na rede aliviaria a variabilidade da geração eólica na rede.

No método proposto, usam os VE como uma bateria. O veículo permanece plugado na tomada e fica injetando energia na rede quando necessário. Antes de tempo limite de uso ele é carregado para que possa ser usado para o transporte normalmente. Esse conceito de usar o VE para fornecer energia a rede se chama vehicle-to-grid (V2G).

Para aproveitar ao máximo os sistemas V2G e aumentar a taxa de penetração da energia eólica na rede elétrica, o artigo propôs um novo modelo de programação baseado no equilíbrio entre oferta e demanda, chegando à conclusão que o uso de VE é altamente possível para diminuir os impactos causados pela energia eólica e foi sugerido um estudo do controle bidirecional do carregamento de VE.

2.2 MODELOS DE INTERESSE

Quando se fala em sistema elétrico de potência inúmeros componentes com diferentes configurações surgem como possibilidades. Neste cenário, será apresentado nesta seção os modelos dos componentes do sistema elétrico de potência que são pertinentes para a produção deste trabalho

2.2.1 Modelos das LT

Existem muitos modelos de linhas de transmissão que podem ser usados em estudos relacionados a análise do fluxo de potência, entre eles os modelos estáticos a parâmetros distribuídos, dinâmico a parâmetros distribuídos e o modelo PI. Este sendo o mais difundido e usado, já os dois primeiros ainda em fase de estudos e análises.

No presente trabalho usaremos o modelo PI como base dos estudos por se tratar de um modelo simples, de fácil compreensão e implementação computacional, mas que ao mesmo tempo, consegue captar as principais características de um sistema elétrico.

2.2.2 Modelos dos VE

Da mesma forma que se estuda os modelos das linhas de distribuição, se faz necessário entender a tecnologia presente no mercado internacional em relação aos veículos elétricos, atualmente, existem 4 tipos de veículos que envolvem a produção de energia elétrica na sua mobilidade, são eles, os veículos híbridos, estes que por sua vez podem ter um acoplamento de motores movidos a combustão e eletricidade, funcionando de formas independentes ou conjunta, porém não possuem meios de abastecimento externo se não em combustíveis com derivação petrolífera. Veículos híbridos com plug in, que diferentemente do anterior, pode atuar de forma completamente elétrica, já que possui conectores para o carregamento na rede elétrica, como também pode atuar com o motor movido a combustão. Veículos movidos a queima de células combustível de hidrogênio para geração de energia elétrica, estes que atualmente apresentam valores monetários muito elevados e poucos competitivos ao mercado automobilístico. E por fim os veículos totalmente elétricos, que não dependem de nenhum tipo de combustível fóssil e podem ser carregados de maneira integrativa a rede de distribuição de energia, este tipo de veículo será o foco de análise na produção deste trabalho.

O carregamento dos veículos elétricos pode ser dado de diferentes formas, o carregamento direto, quando o proprietário do veículo não tem um planejamento prévio do carregamento do seu automóvel, realizando a recarga sempre que houver uma demanda, sendo considerável, ou não, neste modo a utilização descontrolada da rede se torna muito agressiva e apresenta grandes chances de complicar o sistema interligado. Diferentemente, o modo de carregamento “No Vale” é uma estratégia de carregamento, na qual se busca carregar o veículo elétrico dentro das vinte e quatro horas do dia em que se tornará o mínimo agressivo possível para a rede e irá apresentar a menor taxa de valor pelo kilowatt hora consumido, este período, segundo o estudo do estado da arte, se encontra entre as 22:00 horas da noite e aproximadamente 05:00 horas da manhã evitando-se assim os picos de demanda

energética da população.

Por fim, temos o carregamento V2G ou Vehicle to Grid, neste modo, o automóvel poderá atuar de forma variada, hora se comportando como uma carga na rede e em momentos do dia que a demanda for excessiva, poderá se tornar uma fonte de potência para a mesma, diminuindo os impactos dos picos de demanda energética e contribuindo para um controle da variação de tensão, graças ao controle de fluxo de potência, que no decorrer do trabalho será abordado para avaliar se os impactos gerados pelo carregamento V2G serão realmente positivos ou negativos para a rede interligada. Desta forma, o modelo de injeção de potência dos veículos elétricos, seguirá, para os estudos de fluxo de carga, o modelo dos geradores para injeção de potência ativa.

3 METODOLOGIA

3.1 SISTEMAS TESTES E PERFIS DE CARGA

Para se analisar os impactos da agregação de carga pelos veículos elétricos em uma rede de distribuição de energia, tomaremos um sistema de 12 barras que irá simular o efeito de uma rede, criado na ferramenta computacional de cálculo de fluxo de carga chamada Power World.

Para realizar a análise de fluxo de carga, foram criados um cenário base e quatro cenários de integração de veículos elétricos:

- Cenário 1 de carga base: neste cenário não há carregamento de veículos elétricos e, portanto, o sistema conta com a carga convencional. Verifica-se o carregamento das linhas do sistema;
- Cenário 2 de carga base: neste cenário não há carregamento de veículos elétricos e, portanto, o sistema conta com a carga convencional, porém as linhas entre as barras 632 e 671 serão abertas e será fechado duas novas linhas entre as barras 634 e 675, 646 e 611. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;
- Cenário da estratégia V2G com integração de 33% no cenário 2: neste cenário

é realizada a integração de veículos elétricos correspondente a um terço do valor da carga convencional. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;

- Cenário da estratégia V2G com integração de 66% no cenário 2: neste cenário é realizada a integração de veículos elétricos correspondente a dois terços do valor da carga convencional. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;
- Cenário da estratégia V2G com integração de 100% no cenário 2: neste cenário é realizada a integração de veículos elétricos correspondente a total do valor da carga convencional. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;

As Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4, apresentam as características do sistema proposto e as características dos cenários citados acima.

- Cenário 3 de carga de base: neste cenário não há carregamento de veículos elétricos e, portanto, o sistema conta com a carga convencional, porém a linhas entre as barras 634, 675 e 684, 671 serão abertas e será fechado as linhas entre as barras 634 e 675, 684 e 671. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;
- Cenário da estratégia V2G com integração de 33% no cenário 3: neste cenário é realizada a integração de veículos elétricos correspondente a um terço do valor da carga convencional. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;
- Cenário da estratégia V2G com integração de 66% no cenário 3: neste cenário é realizada a integração de veículos elétricos correspondente a dois terços do valor da carga convencional. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema;
- Cenário da estratégia V2G com integração de 100% no cenário 3: neste cenário é realizada a integração de veículos elétricos correspondente a total do valor da carga convencional. Verifica-se o impacto desta integração de veículos por meio da análise do carregamento das linhas do sistema.

Identificação da Barra	Tipo de Barra	P (MW)	Q (Mvar)
650	V θ	1,68	0,77
632	-	-	-
633	-	-	-
634	PQ	- 0,12	- 0,09
645	PQ	- 0,17	- 0,12
646	PQ	- 0,23	- 0,13
671	PQ	- 0,38	- 0,22
692	PQ	- 0,17	- 0,15
675	PQ	- 0,29	- 0,21
684	PQ	-	-
611	PQ	- 0,17	- 0,08
652	PQ	- 0,13	- 0,86
TOTAL	-	1,66	1,86

Tabela 1: Características das barras do sistema sem injeção de potência

De	Para	R (pu)	X (pu)	Bsh (pu)	Carregamento nominal (MVA)
650	632	0,01000	0,08000	0,00000	1,85
632	633	0,00374	0,00595	0,00103	0,15
632	645	0,04337	0,04395	0,00557	0,53
632	671	0,75842	2,22800	0,00000	1,62
633	634	0,01100	0,02000	0,00000	0,15
645	646	0,00397	0,00402	0,00051	0,27
671	692	0,00400	0,00300	0,00000	0,50
671	684	0,00397	0,00402	0,00051	0,76
692	675	0,00397	0,00222	0,00175	0,36
684	611	0,00702	0,00712	0,00000	0,19
684	652	0,01068	0,00408	0,00257	0,87

Tabela 2: Características das linhas do sistema considerando o cenário 1

Marcado em negrito na Tabela 4, é possível notar os valores correspondentes a abertura da linha entre as barras 632 e 671 e ao fechamento entre as linhas 634 e 675, 646 e 611.

Cenário	Injeção de Potência total no sistema (MW)
33%	0,571
66%	1,101
100%	1,662

Tabela 3: Características dos cenários do sistema considerando o cenário 2

De	Para	R (pu)	X (pu)	Bsh (pu)	Carregamento nominal (MVA)
650	632	0,01000	0,08000	0,00000	1,80
632	633	0,00374	0,00595	0,00103	0,93
632	645	0,04337	0,04395	0,00557	1,20
632	671	0,75842	2,22800	0,00000	0,00
633	634	0,01100	0,02000	0,00000	0,93
634	675	0,75842	2,22800	0,00000	0,79
645	646	0,00397	0,00402	0,00051	1,02
646	611	0,75842	2,22800	0,00000	0,77
671	692	0,00400	0,00300	0,00000	0,36
671	684	0,00397	0,00402	0,00051	0,33
692	675	0,00397	0,00222	0,00175	0,58
684	611	0,00702	0,00712	0,00000	0,60
684	652	0,01068	0,00408	0,00257	0,87

Tabela 4: Características das linhas do sistema considerando o cenário 2

3.2 FLUXO DE CARGA

O estudo do fluxo de carga aborda o sistema elétrico de potência do ponto de vista do regime normal de funcionamento e permanente. Neste caso é possível analisar as características gerais do sistema.

O estudo deste método é muito importante para o planejamento e visualização do sistema de potência, além de auxiliar nas tomadas de decisão para melhor controle, operação e supervisão do sistema, sendo ele novo ou existente.

A análise do fluxo de potência tem uma modelagem do sistema estático (regime permanente), feita por meio de equações algébricas e consiste basicamente na determinação de como a rede se encontra, onde podemos determinar os valores de tensão, ângulo de fase, distribuição dos fluxos e injeção de potências nas barras, sendo ativa ou reativa.

Existem duas possibilidades para ligar os componentes do sistema de potência, sendo elas entre nós (barras do sistema) ou entre um nó de referência e um nó qualquer. Neste segundo caso estão os geradores, cargas, compensadores síncronos, etc. A parte externa do sistema (geradores e cargas) são modelados como injeções constantes de potência na rede. A parte interna da rede (demais componentes) é modelada pela matriz admitância de barra e tratada como um conjunto de circuitos passivos.

Para obter as equações básicas do fluxo de potência é levado em consideração a conservação das potências ativas e reativas em cada nó da rede. Explicando de maneira simplificada, a potência líquida injetada deve ser igual a soma das potências que resultam para os nós seguintes.

Através do cálculo do fluxo de carga, é possível avaliar qual será o efeito da agregação de carga resultante pela implementação de veículos elétricos na rede de distribuição, já que este irá nos apresentar quais serão as mudanças nas tensões, nos ângulos, potências ativas e reativas e quais os impactos nas linhas de transmissão do sistema, onde também é possível integrar os veículos elétricos para atuarem como

armazenadores de energia elétrica e funcionarem como uma “grande bateria” para ser usada nos momentos de maior demanda da rede de distribuição a fim de evitar os danos provindos dos grandes picos do consumo de energia.

Existem muitos métodos iterativos para resolver os problemas de fluxo de potência. Entre os principais estão o método de Gauss-Seidel e Newton-Raphson. No presente trabalho será discorrido sobre o segundo dos métodos citados.

O método de Newton-Raphson se tornou mais comumente usado para sistemas elétricos grandes e complexos, como os reais já que mais se aplica na prática. O método apresenta o melhor desempenho para redes de transmissão e sub-transmissão reais, isto porque converge para um ótimo local seguindo a direção da Jacobiana do sistema elétrico, sendo assim, a convergência depende do ponto inicial de partida.

De uma forma geral, neste método, deve-se classificar os tipos de barras conforme seus valores já pré-estabelecidos, barras PQ, onde sua potência ativa e reativa são fixadas, barras PV, onde sua potência ativa e tensão são fixadas e barras de referência ou V θ onde seus valores de tensão e ângulo são fixados, e através de um conjunto de equações calcular os valores restantes para encontrar os valores de variação de potência ativa e reativa até que estes apresentem um erro menor ou igual ao erro pré-estabelecido e chegando a convergência do sistema.

O algoritmo a seguir apresenta quais os passos que devem ser seguidos no momento do cálculo de fluxo de potência.

1 – Tomar $v = 0$ e escolhendo os valores iniciais dos ângulos das tensões das barras PQ e PV ($\theta = \theta^v = \theta^0$) e as magnitudes das tensões das barras PQ ($V = V^v = V^0$).

2 – Cálculo de $P_k(V, \theta)$ para as barras PQ e PV, $Q_k(V, \theta)$ para as barras PQ e determinar o vetor dos resíduos ΔP^v e ΔQ^v .

3 – Teste de convergência: se $\Delta P_k^v \text{ máx} < E_p$ e $\Delta Q_k^v \text{ máx} < E_q$, o processo convergiu para a solução (V^v, θ^v) ; caso contrário, continuar.

4 – Calcular a matriz Jacobiana:

$$J(V^v, \theta^v) = -\left\{ \frac{H(V^v, \theta^v)}{M(V^v, \theta^v)} \mid \frac{N(V^v, \theta^v)}{L(V^v, \theta^v)} \right\}$$

Equação 1: Matriz Jacobiana

5 – Determinar a nova solução (V^{v+1}, θ^{v+1}) onde:

$$\theta^{v+1} = \theta^v + \Delta\theta^v$$

$$V^{v+1} = V^v + \Delta V^v$$

Equação 2: Solução (V^{v+1}, θ^{v+1})

sendo, $(\Delta V^v$ e $\Delta\theta^v)$ obtidos com a solução do seguinte sistema linear:

$$\left\{ -\frac{\Delta P^v}{\Delta Q^v} = \left\{ \frac{H(V^v, \theta^v)}{M(V^v, \theta^v)} \mid \frac{N(V^v, \theta^v)}{L(V^v, \theta^v)} \right\}^v \left\{ \frac{\Delta\theta^v}{\Delta V^v} \right\} \right.$$

Equação 3: Sistema linear

6 – Fazer $v = v + 1$ e voltar para o passo (2).

Vale a ressalva que o padrão de cálculo foi retirado de estudos já realizados, utilizando o software Power World para realização das simulações executando juntamente o método N-1, onde o nosso foco não é compreender o funcionamento do método, mas o que ele representa na prática, para que seja possível analisar os resultados obtidos no software de forma segura e entender quais os impactos reais da agregação de carga em resposta ao carregamento de veículos elétricos na rede de distribuição.

3.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL POWER WORLD

Como já discutido anteriormente, para aplicação dos sistemas de testes e análise dos resultados, é necessário a utilização de um software programável para o cálculo do fluxo de potência que está agindo sobre as linhas do mesmo, neste caso, o software escolhido e utilizado para a aplicação das análises foi o POWER WORLD.

Além de possibilitar o cálculo do fluxo de potência, também será possível realizar a aplicação do estudo de caso n-1, no qual iremos abrir a linha de fluxo de potência entre algumas barras específicas, como ao mesmo tempo fechar em outras, para analisar quais os resultados possíveis em um cenário de integração de veículos elétricos as redes de distribuição.

Sobre o sistema, os quadrados em vermelho representam as condições de chaveamento fechado, em contrapartida, os quadrados brancos representam chaveamento aberto, logo, nesta primeira condição de análise, o sistema base será composto apenas por uma fonte de potência nominal, que está conectado na barra de referência 650, e conexões de carga nos barramentos representado pela integração de veículos elétricos no consumo de energia, representados pela flecha com legenda escrito BASE. Cada fonte de injeção de potência, na forma vehicle to grid possui valor nominal de um terço da carga que está presente na mesma barra, ou seja 33%. Uma ilustração do sistema pode ser encontrada na Figura 2.

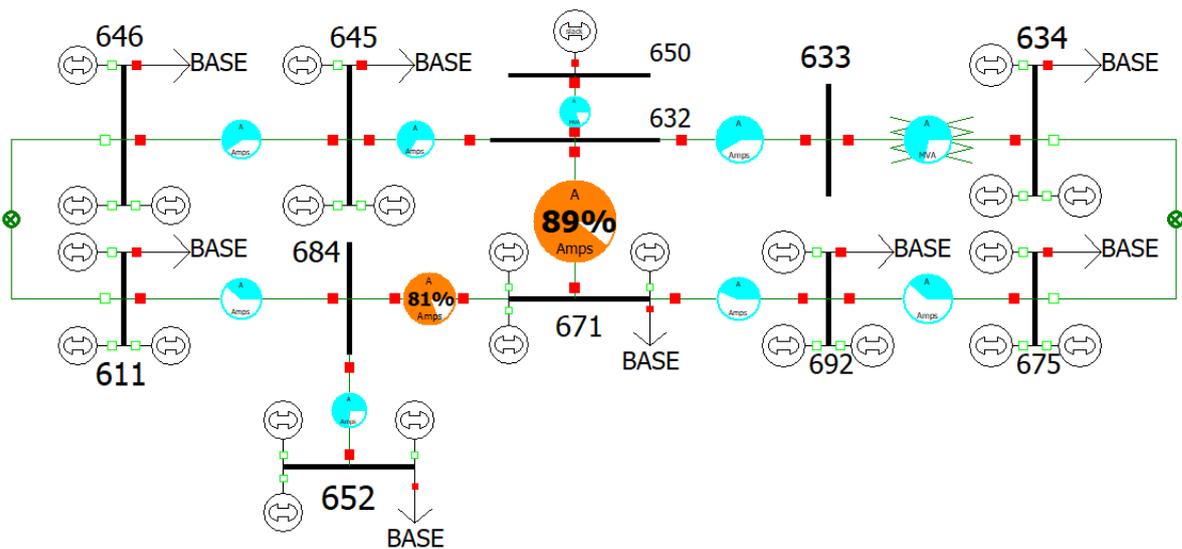


Figura 2: Ilustração do sistema de 12 barras antes da aplicação n-1

Durante a aplicação do trabalho será padronizado o modelo de apresentação dos resultados, de forma a apresentar as ilustrações correspondentes do sistema proposto, juntamente com seus resultados em forma de tabela e análise das mesmas.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção, será avaliado, de acordo com o conjunto de simulações feitas no software Power World, as condições de carregamento em percentual das linhas onde o foco de comparações será no efeito de implementar o estudo de caso n-1 no sistema, para entender quais os efeitos de mudar a organização das linhas de transmissão e suas consequências no fluxo de potência do sistema.

Durante as comparações será sugerido algumas mudanças a fim de melhorar a condição de operação das linhas de transmissão. Neste caso, a integração de veículos elétricos no sistema *vehicle to grid* para atuar como fonte de energia elétrica para a rede. A mudança será na forma de injeção de potência nas barras, referente à quantidade total de carga resultante sobre as barras, os casos analisados serão em 33%, 66% e 100% de injeção de potência, ou seja, um terço da carga, dois terços da carga e a carga total que é exercida em cada barra específica.

O que se busca nesta seção é analisar o impacto dos VE no sistema elétrico de potência, avaliando o congestionamento das linhas de transmissão.

4.1 CENÁRIO DE BASE 1

Para início das análises, será tomado um sistema de 12 barras produzido no Power World. Este sistema é baseado em trabalhos anteriores desenvolvidos por alunos orientados pelo mesmo orientador do presente trabalho. A Figura 2 apresenta as ilustrações do padrão de linhas do modelo padrão sem injeção de potência nos barramentos antes da implementação do estudo de caso n-1.

4.1.1 – Resultados do carregamento das linhas de transmissão do sistema proposto

A Tabela 5 apresenta os valores, em porcentagem (%), da utilização do limite de fluxo das linhas do sistema no caso de base 1.

Vale a ressalva que a distância das linhas de transmissão entre as barras

possui valores nominais diferentes, a fim de se buscar resultados que se aproximem com a realidade.

O valor médio obtido para a utilização do fluxo de potência no caso base foi de 66,38%, logo, nesta análise é possível chegar à conclusão que o sistema base se encontra em um estado carregado, pois a literatura estabelece que para uma condição ideal de carregamento, as linhas tenham em torno de 30% de sua capacidade utilizada. Essa condição foi estabelecida para podermos analisar o impacto da integração dos veículos elétricos como carga e fonte de injeção de potência.

DA BARRA	PARA A BARRA	LIMITE DE FLUXO DA LINHA (MVA)	FLUXO DA LINHA UTILIZADO (MVA)	UTILIZAÇÃO (%)
650	632	2,30	1,85	80,50
632	633	0,20	0,15	75,00
632	645	0,80	0,53	66,50
632	671	1,80	1,62	90,20
633	634	0,20	0,15	75,00
645	646	0,40	0,27	66,30
671	692	1,20	0,50	41,80
671	684	0,90	0,76	84,60
692	675	0,80	0,36	44,90
684	611	0,25	0,19	75,20
684	652	0,90	0,87	96,60

Tabela 5: Utilização de fluxo das linhas entre as barras do sistema para o caso de base 1 (fonte: O autor)

Observa-se que os três geradores conectados em cada barra do sistema, representam os níveis de integração de VE. Para o caso base, todos possuem as chaves abertas, como se verifica na figura 2. Para este caso, o ramal principal

apresenta um nível de capacidade de transmissão quase esgotado, 81 % no primeiro trecho e 90 % no segundo trecho. Apesar da capacidade de transmissão não estar esgotada, verifica-se um nível de carregamento elevado, podendo o sistema entrar em colapso no caso de uma entrada de carga significativa.

4.2 CENÁRIO DE BASE 2

A partir de agora será analisado qual o efeito sobre o sistema quando se é aplicado um estudo de caso baseado na técnica n-1, na qual será forçada a abertura da linha de transmissão entre as barras 632 e 671, e fechamento de linhas entre as barras 634 e 675, 646 e 611 para identificar os impactos sobre o mesmo. A Figura 3 apresenta a nova característica do sistema.

Em um primeiro momento, já é possível identificar impactos negativos sobre o sistema, já que na sua representação gráfica é possível observar níveis elevados de sobrecarga no sistema, porém para tal confirmação é necessário avaliar os resultados do software.

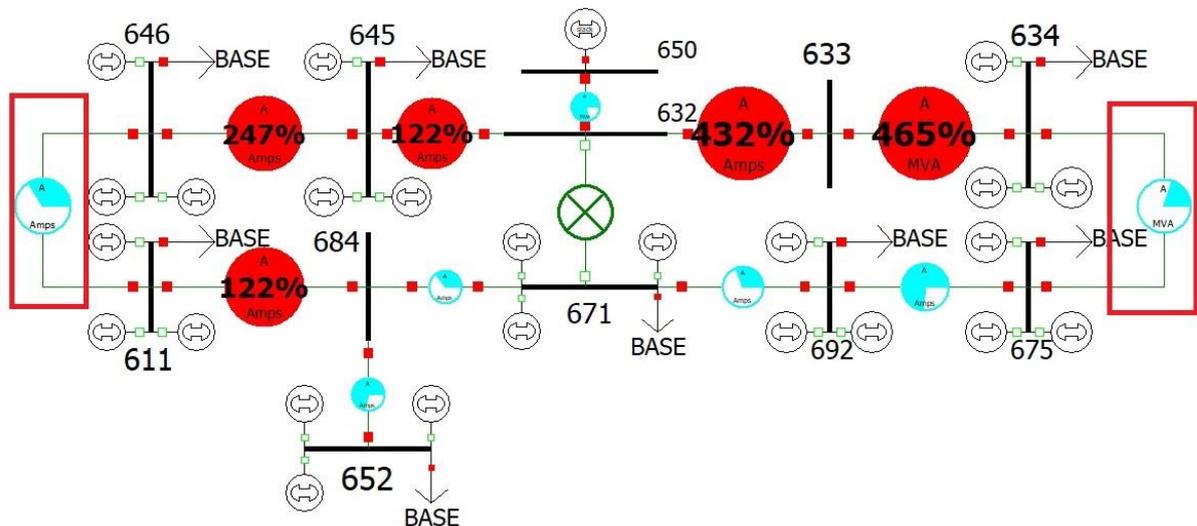


Figura 3: Ilustração cenário de base 2 do sistema de 12 barras com a aplicação n-1

4.2.1 Resultado do carregamento das linhas do sistema proposto

Na Tabela 6 é possível identificar os resultados após a implementação do estudo de caso n-1 no sistema, onde a linha marcada com o fundo amarelo representa a linha entre as barras 632 e 671, a qual foi aberta e sua influência foi retirada do sistema, e as linhas marcadas com o fundo verde representa a linha entre as barras 634 e 675, 646 e 611, a qual foi fechada e agora exerce influência sobre o sistema.

Pode-se perceber que esta alteração específica do método n-1 aplicado correspondeu sua influência de forma negativa ao sistema, pois algumas linhas se encontram agora em um estado sobrecarregado, chegando à valores de 464,70% como é o caso da linha entre as barras 632 e 633, como também todas as linhas da parte superior do sistema se encontraram em um estado sobrecarregado, juntamente com o fato das novas linhas aplicadas ao sistema possuírem valor resistivo igual ao da linha retirada, valor este que era um pouco maior que a média do sistema, pode – se concluir que sua influência resultou na sobrecarga da parte superior do sistema e manutenção do equilíbrio na parte inferior, onde o sistema não se encontra na forma sobrecarregada.

Nos próximos cenários será incluída a participação efetiva de carregamento inteligente dos veículos elétricos no formato vehicle to grid, analisando diferentes níveis de injeção de potência, para tentar mitigar esses impactos criados pelo novo formato do sistema pelo estudo de caso n-1.

DA BARRA	PARA A BARRA	LIMITE DE FLUXO DA LINHA (MVA)	FLUXO DA LINHA UTILIZADO (MVA)	UTILIZAÇÃO (%)
650	632	2,30	1,80	78,30
632	633	0,20	0,93	464,70
632	645	0,80	1,20	149,90
632	671	1,80	0,00	0,00
633	634	0,20	0,93	464,70
634	675	4,00	0,79	19,80
645	646	0,40	1,02	254,90

646	611	2,30	0,77	33,50
671	692	1,20	0,36	30,40
671	684	0,90	0,33	36,20
692	675	0,80	0,58	71,90
684	611	0,50	0,60	119,70
684	652	0,90	0,87	96,60

Tabela 6: Utilização de fluxo das linhas entre as barras do sistema para o caso de base 2 (fonte: O autor)

4.3 CENÁRIOS COM INJEÇÃO DE POTÊNCIA NO CENÁRIO DE BASE 2 EM 33%, 66% E 100% (VEHICLE TO GRID)

Os próximos cenários apresentam os resultados obtidos sobre o carregamento das linhas quando é aumentando em um terço, dois terços e o valor total da carga sobre as barras o valor de potência ativa e reativa que exerce sobre as mesmas. Esse aumento será sobre o sistema com estudo de caso n-1. Para possibilitar uma análise mais eficiente, será apresentado em uma tabela todos os resultados obtidos neste procedimento. Na Figura 4 é possível identificar como será configurado as novas características do sistema. Em um primeiro momento, apenas uma das fontes de potência será fechada, proporcionando 33% no aumento de injeção de potência, procedimento indicado na cor verde, em um segundo momento, duas das fontes de potência serão fechadas, proporcionando 66% no aumento de injeção de potência, indicado pela cor vermelha, no último momento, as três fontes de potência serão fechadas, proporcionando 100% de aumento na injeção de potência sobre as barras, indicado pela cor amarela, levando em consideração que este aumento se dá pela relação de carga que exerce sobre cada barra específica.

4.3.1 Resultado do carregamento das linhas do sistema proposto

Na Tabela 7 é possível encontrar os resultados obtidos pela análise das linhas dos 3 casos com injeção de potência na forma *vehicle to grid*, com valores para 33%, 66% e 100% de injeção de potência.

No primeiro caso, quando um terço da carga é injetada na forma de potência ativa e reativa, é possível perceber que o sistema se encontra em um estado sobrecarregado, da mesma forma quando não havia a agregação de veículos elétricos no sistema, porém apesar da sobrecarga, os valores de utilização de fluxo das linhas diminuíram, chegando a uma média de utilização de 94%, o que já mostra uma vantagem em relação à utilização dos veículos elétricos com a estratégia de carregamento vehicle to grid.

UTILIZAÇÃO EQUIVALENTE (%)

DA BARRA	PARA BARRA	INJEÇÃO DE POTÊNCIA EM 33%	INJEÇÃO DE POTÊNCIA EM 66%	INJEÇÃO DE POTÊNCIA EM 100%
650	632	48,8	34,6	48,8
632	633	289,9	121,7	175,4
632	645	94,6	75,1	96,8
632	671	0	0	0
633	634	289,9	119,6	123,8
634	675	12	4,9	6,2
645	646	160,8	67,4	64,4
646	611	20,2	8,1	10,5
671	692	18,2	6,4	5,9
671	684	22,9	10,8	7,9
692	675	45	19	31
684	611	67,8	26,1	48,3
684	652	64,3	32,1	29

Tabela 7: Características do carregamento das linhas do sistema n-1 do cenário e base 2 com injeção de potência na forma Vehicle to Grid

No segundo caso, quando dois terços da carga é injetado na forma de potência ativa e reativa, o sistema continua sobrecarregado, porém com uma melhora evidente,

já que a demanda de utilização de fluxo das linhas diminuiu consideravelmente, principalmente na linha superior que antes estava com valores muito acima do limite pré-estabelecido, a média de utilização agora é de 44%, com isso pode-se concluir que o sistema obteve uma grande melhora em relação ao caso anterior.

No terceiro caso, quando toda a carga presente em cada barra específica é injetada na forma de potência ativa e reativa, ao invés de seguir o padrão de melhora do sistema com aumento de potência injetado, aconteceu o contrário, a média de utilização de fluxo do sistema agora é de 54% e as linhas se encontram em um valor mais sobrecarregado que no segundo caso, porém com valores melhores do que o primeiro. Com isso pode-se concluir que a integração de veículos elétricos pode contribuir para o equilíbrio e manutenção do sistema, porém, o simples fato de aumentar a potência injetada pode não ser a melhor maneira de mitigação em todos os casos, como provado no estudo de caso, que o cenário que mais se aproximou de um sistema em equilíbrio foi o cenário em que 66% da carga é injetada no sistema na forma de potência ativa e reativa.

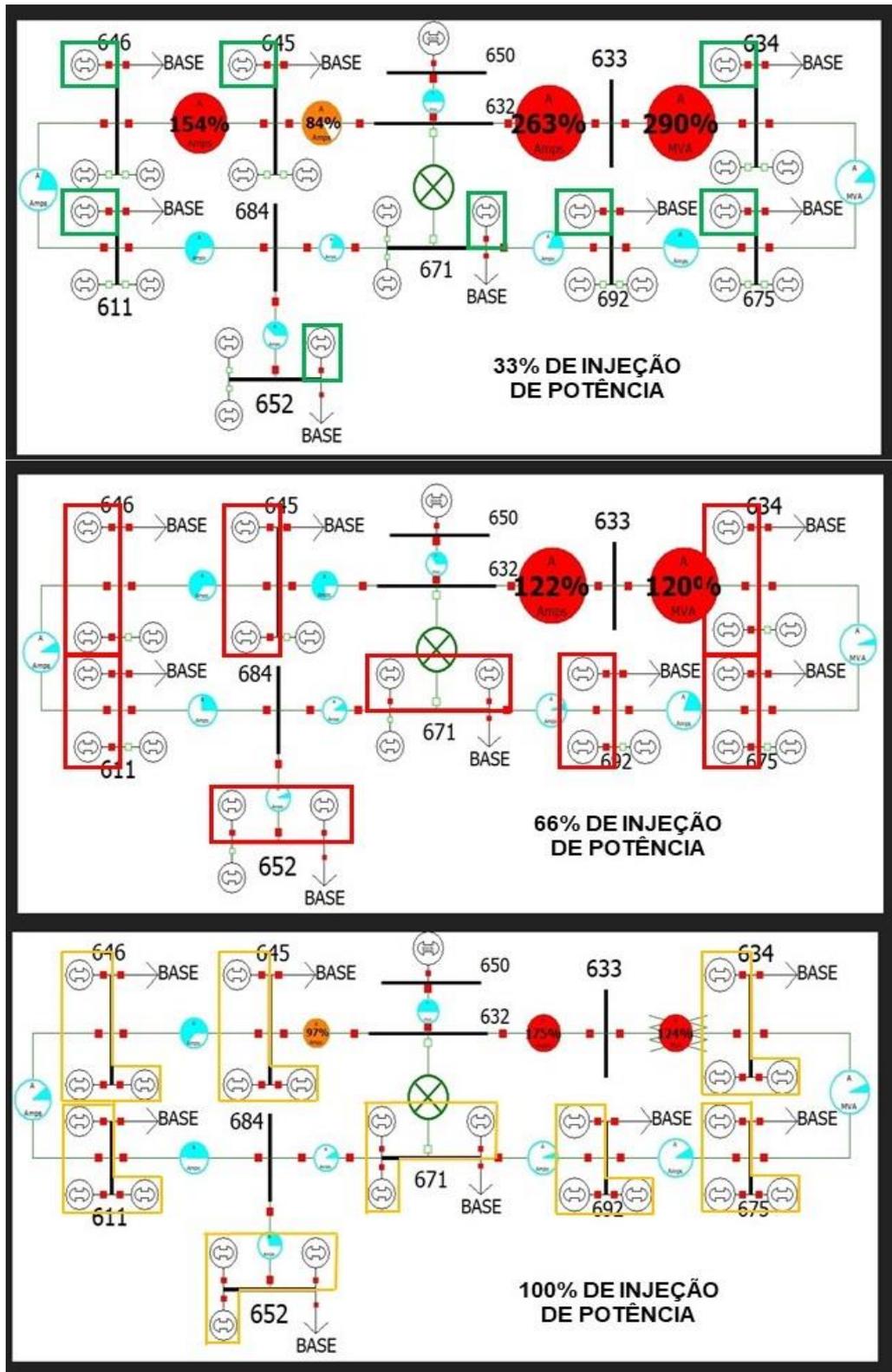


Figura 4: Ilustração dos casos com aumento de potência na forma Vehicle to Grid sobre o sistema n-1

4.4 CENÁRIO DE BASE 3

Neste caso, considerando o terceiro cenário de base, será analisado qual o efeito sobre o sistema considerando uma nova configuração do mesmo. Será aberto de linha de transmissão entre as barras 684 e 671, 634 e 675, e fechado a linha entre as barras 632 e 671 como também as entre as barras 646 e 611 buscando identificar os impactos sobre a nova configuração. A Figura 5 apresenta a nova característica do sistema.

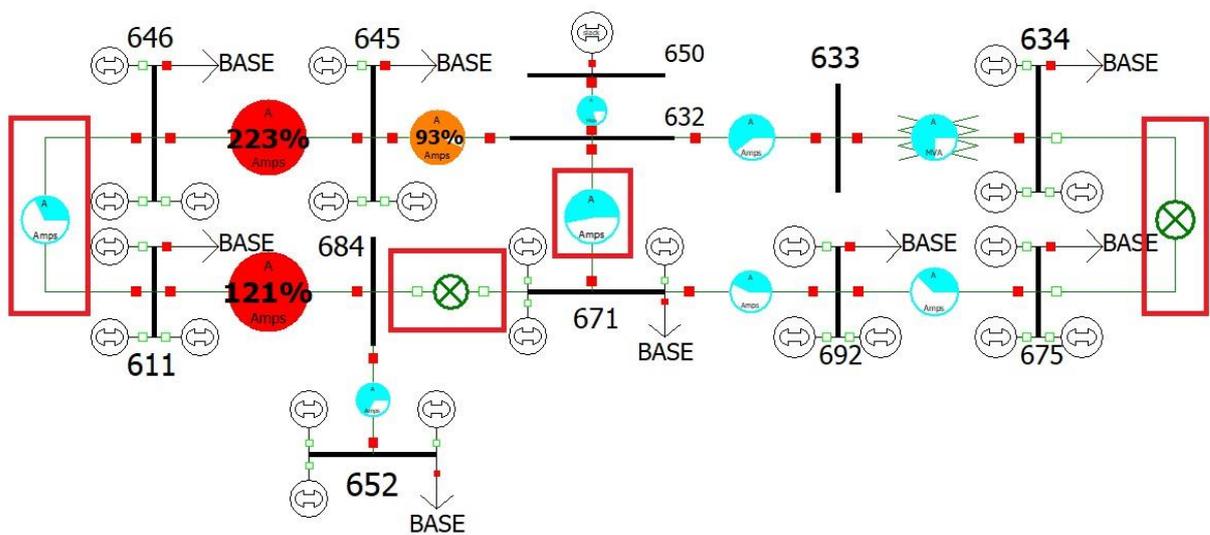


Figura 5: Ilustração cenário de base 3 do sistema de 12 barras com a aplicação n-1

Como agora existe fluxo de potência novamente pela linha central que conecta a parte superior do sistema com a parte inferior, pode-se notar uma ligeira melhora no nível de carregamento do mesmo, a qual é mais perceptível no lado direito do arranjo, já que houve um fechamento entre a linha 634 e 675, as quais haviam sido adicionado na implementação do método n-1, no lado esquerdo, onde a linha entre 646 e 611 permaneceu aberta para o fluxo de potência existe uma sobrecarga nas condições de uso da linha de transmissão já que a quantidade de resistência nessas linhas é maior, resultado da abertura entre as linhas 671 e 684.

4.4.1 Resultado do carregamento das linhas do sistema proposto

1.1.1

DA BARRA	PARA A BARRA	LIMITE DE FLUXO DA LINHA (MVA)	FLUXO DA LINHA UTILIZADO (MVA)	UTILIZAÇÃO (%)
650	632	1,81	2,3	78,5
632	633	0,15	0,2	75
632	645	1,09	0,8	136,4
632	671	0,96	1,8	53,1
633	634	0,15	0,2	75
634	675	0	4	0
645	646	0,93	0,4	232,7
646	611	0,73	2,3	31,8
671	692	0,5	1,2	41,6
671	684	0	0,9	0
692	675	0,36	0,8	44,9
684	611	0,6	0,5	119,2
684	652	0,84	0,9	93,4

Tabela 8: Utilização de fluxo das linhas entre as barras do sistema para o caso de base 3 (fonte: O autor)

Os resultados da Tabela 8 comprovam as análises anteriormente realizadas da configuração do sistema, onde o fechamento da linha central e abertura da linha 671 e 684 fez com que exista uma sobrecarga no lado esquerdo, chegando a valores 232,7% na linha 645 e 646, e apresentando valores de carga aceitáveis para o lado esquerdo, onde não existiu a presença de sobrecarga e o maior valor apresentado de utilização do fluxo das linhas foi de 75% entre as barras 633 e 634.

A seguir será novamente injetado potência no sistema na forma *vehicle to grid* para analisar se os impactos gerados nessa nova característica do sistema podem ser mitigados.

4.5 CENÁRIOS COM INJEÇÃO DE POTÊNCIA NO CENÁRIO DE BASE 3 EM 33%, 66% E 100% (VEHICLE TO GRID)

Da mesma forma que na seção 4.3, será analisado quais os efeitos da implementação *vehicle to grid* para mitigar os impactos da implementação n-1 no sistema de base, as configurações de implementação de potência no sistema serão as mesmas observados anteriormente, ou seja, três diferentes cenários, em cada um aumentando 33% na injeção de potência até todos os três pontos de injeção estarem com circuito fechado e injetando 100% de potência no sistema.

UTILIZAÇÃO EQUIVALENTE (%)

DA BARRA	PARA BARRA A	INJEÇÃO DE POTÊNCIA EM 33%	INJEÇÃO DE POTÊNCIA EM 66%	INJEÇÃO DE POTÊNCIA EM 100%
650	632	61,1	33,2	44,1
632	633	75	41,6	41,7
632	645	94,1	65,1	108,6
632	671	44,7	15,8	9
633	634	75	25,4	25
634	675	0	0	0
645	646	146,4	50,9	77,6
646	611	18,6	5	11,3
671	692	41,6	13,7	13,5
671	684	0	0	0
692	675	44,9	17,9	17,8
684	611	66,6	10,5	52,1
684	652	64,4	32,2	29

Tabela 9: Características do carregamento das linhas do sistema n-1 do cenário e base 3 com injeção de potência na forma Vehicle to Grid

Nos resultados apresentados na tabela 9 pode-se perceber que os impactos do sistema do cenário de base 3 puderam ser de forma significativa diminuídos com a

implementação dos veículos elétricos na estratégia de carregamento *vehicle to grid* ao sistema, já que no caso com 33% de injeção apenas a linha entre as barras 645 e 646 apresentou valor de utilização e fluxo superior a 100%, o que se pode esperar pelo fato do aumento de resistência na parte esquerda do sistema pela nova implementação n-1. Porém este impacto pode ser, em sua totalidade, mitigado no segundo caso, quando 66% de potência é injetado no sistema, resultado em um sistema bem carregado, porém com ausência de desequilíbrios, resultando em um valor de utilização de fluxo mais alto na linha 632 e 645 com 65,1% de utilização. No terceiro cenário, com a injeção de 100% de potência pode-se notar que, como na seção 4.3, o sistema voltou para um estado sobrecarregado devido ao fato de a demanda de utilização de fluxo estar muito alta pela grande quantidade de injeção de potência. Isso pode ser percebido na linha 632 e 645 que agora apresenta valor de 108,6% de utilização do fluxo de potência, comprovando mais uma vez que a integração dos veículos elétricos no sistema pode ser benéfico e eficiente na busca pela mitigação dos impactos gerados pelo aumento de demanda energética como reorganização da rede pelo método n-1, porém necessita de um ajuste correto no nível de injeção de potência no sistema.

5 CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho, podemos notar a importância do crescimento/investimento no setor de veículos elétricos, pois, como as energia renováveis não possuem uma sensibilidade muito grande a demandas energéticas de pico de forma que a dependência de energia não renováveis se faz necessária, os veículos elétricos surgem como opção para a mitigação de tais consequência da grande demanda de produção de energia elétrica, já que eles podem atuar como uma carga controlável, a fim de fornecer potência elétrica para a rede interligada nos momentos de maiores demandas e picos de consumo elétrico, agindo também como um mediador para equilíbrio de tensão devido ao fato de existirem mais fontes de potência por toda a distribuição da rede. Claramente, aspectos regulatórios e de mercado não foram abordados neste estudo, mas espera-se que para essa integração ocorrer, estes aspectos sejam viáveis.

Com a aplicação de estudo de caso n-1 no sistema de 12 barras proposto, podemos chegar à conclusões que condizem com o as referência bibliográficas, já que no primeiro cenário, quando não havia mudança estrutural pela aplicação n-1, o sistema se encontrava, bem carregado, porém não apresentava características de sobrecarga, e nos caso seguintes, quando a condição n-1 foi aplicada no sistema, as redes de distribuição começaram a apresentar problemas devido a nova configuração do sistema, que aumentou a resistência do fluxo de potência sobre as linhas entre as barras 634 e 675, 646 e 611, fazendo com que a porção superior do sistema ficasse sobrecarregada, quando a potência é injetada no sistema pela integração de veículos elétricos no formato vehicle to grid, a sobrecarga do sistema diminui, mas não de forma a mitigar todos os impactos, já que a porção superior se encontrou em um estado sobrecarregado em todos os casos de injeção de potência, foram eles 33%, 66% e 100%, no último caso se notou um piora do sistema em relação ao segundo, o que é uma consideração interessante para análises futuras, já que aumentar demais a capacidade de injeção de potência no sistema acaba sendo prejudicial ao mesmo, com isso, pode-se concluir que a necessidade de outros estudos nesta área é válida, tanto na implementação de carregamento V2G, carregamento no Vale e também

questões estruturais dos sistemas de distribuição de energia elétrica, seja por reestruturação do sistema no formato n-1 ou aplicando estudo sobre sistemas diferentes do original.

Por fim, este estudo demonstrou que o impacto dos veículos elétricos no sistema elétrico de potência dependerá da forma como será realizado. Por outro lado, se bem adequado, poderá trazer benefícios como a mitigação do carregamento das linhas de transmissão, bem como, a postergação do reforço de redes por crescimento da demanda e, ainda, atenuar o impacto de picos de demanda no sistema elétrico de potência.

6 REFERENCIAS

PUC-RIO. Fluxo de Potência. 2019. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/26243/26243_4.PDF>. Acesso em: 30 de março de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acesso em: 21 de abril de 2021.

PUC-GOIAS. Estudos de Fluxo de Potência. 2017. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18795/material/04\)SistEletricosCap04-FluxPot.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18795/material/04)SistEletricosCap04-FluxPot.pdf)>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

CANOSSA, J. Um Programa Interativo para Estudos de Fluxo de Potência. 2007. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/202-dissertacao_jaine_henrique_canossa.pdf>. Acesso em 25 de abril de 2021.

OUALI, S.; CHERKAOUI, A. An Improved Backward/Forward Sweep Power Flow Method Based on a New Network Information Organization for Radial Distribution Systems. Journal of Electrical and Computer Engineering, v. 2020, p. 1–11, 17 jan. 2020.

MIES, J.; HELMUS, J.; VAN DEN HOED, R. Estimating the Charging Profile of Individual Charge Sessions of Electric Vehicles in The Netherlands. World Electric Vehicle Journal, v. 9, n. 2, p. 17, 22 jun. 2018.

LEMOS, J. Modelagem de Linhas de Transmissão para Estudos de Transitórios Eletromecânicos. 2008. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001145.pdf>>. Acesso em 27 de abril de 2021.

SOARES, F. J.; LOPES, J. A. P.; ALMEIDA, P. M. R. A Monte Carlo method to evaluate electric vehicles impacts in distribution networks. 2010 IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply, 2010.

SU, J.; LIE, T. T.; ZAMORA, R. Modelling of large-scale electric vehicles charging demand: A New Zealand case study. Electric Power Systems Research, v. 167, p. 171–182, fev. 2019.

REVISTA MUNDI. Engenharia, Tecnologia e Gestão. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ifpr.edu.br/index.php?journal=MundiETG&page=article&op=view&path%5B%5D=300&path%5B%5D=123>>. Acesso em 02 de maio de 2021.

AFFONSO, Carolina, DA SILVA, Luiz ; DA SILVA, Luciano. Avaliação da estabilidade de tensão do Sistema brasileiro: um estudo de caso. Scielo, Brasil, set. 2008.