



Grupo de Estudo de Desempenho de Sistemas Elétricos-GDS

ANÁLISE DA DISTORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM A CONEXÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

**ALAN VIEIRA DA SILVA(1); ANDRÉ BERNARDES MICHEL(2); ANDRÉA CANTARELLI MORALES(3);
GUILHERME HOMRICH(4);
UCS(1);UCS(2);UCS(3);UCS(4);**

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a análise do impacto da distorção harmônica de tensão devido a inserção de veículos elétricos em uma rede de distribuição de energia real. Nesta proposição, o sistema e todos os seus elementos foram modelados via software OpenDSS. A avaliação dos indicadores de distorção seguiu a normativa do PRODIST, Módulo 8. O estudo foi realizado com base em diferentes condições, contemplando seis cenários. Nos três primeiros a conexão dos veículos foi realizada em um sistema já contendo distorção harmônica de tensão, com diferentes níveis de penetração dos veículos, e nos últimos três cenários, conecta-se os carros elétricos no sistema sem distorção harmônica de tensão. Por fim, foi calculado o número máximo de veículos a serem conectados simultaneamente em dois dos cenários anteriores.

PALAVRAS-CHAVE

Distorção harmônica, veículos elétricos, rede de distribuição, OpenDSS.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os veículos elétricos são uma das opções para a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa no transporte. Motivados por tais questões ambientais, os mesmos poderão chegar a 70 milhões de unidades em 2025, conforme Agência Internacional de Energia (AIE) (VASCONCELOS, 2017). O número de veículos elétricos fabricados em diversas regiões do mundo, como: China, Estados Unidos, Europa, Japão e Coreia do Sul, vem aumentando a cada ano, em razão de determinados incentivos que o governo da região concede a empresas fabricantes e a população (BARBOSA, 2018). No Brasil, segundo Reghin (2018), o número de veículos elétricos híbridos comercializados no ano de 2017 foi de 3296 e pretende-se aumentar estes números, com incentivos que o governo planeja colocar em prática a fim de incentivar sua comercialização.

Estes veículos utilizam a energia elétrica para recarregar as suas baterias, por meio de carregadores que alteram a forma de onda da corrente, por consequência do processo de conversão CA/CC (Fortes et al., 2016). Em função do fenômeno citado acima e do cenário de comercialização dos veículos elétricos no Brasil é de extrema importância que a concessionária de energia elétrica, antecipadamente tenha conhecimentos dos efeitos que podem ocorrer nas redes de distribuição, com a ocorrência da penetração massiva dos veículos elétricos no país. Desta forma, o objetivo do desenvolvimento deste trabalho é analisar uma rede de distribuição de energia elétrica, perante a inserção de veículos elétricos na mesma, com o intuito de avaliar os impactos de distorção harmônica de tensão em nós e barramentos de média tensão. O trabalho segue com a seção de desenvolvimento, contendo a metodologia aplicada e os resultados obtidos. Na seção seguinte são elencadas as conclusões.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

Este capítulo constituirá na apresentação dos indicadores da distorção harmônica de tensão, no fluxo harmônico de potência utilizado pelo programa OpenDSS, bem como conterá as descrições do sistema dos veículos elétricos e dos cenários nos quais os estudos dos níveis de distorção harmônica foram realizados. Por fim, os resultados obtidos são apresentados.

2.1 Distorção Harmônica: Módulo 8 Prodist

Os sistemas elétricos de distribuição no Brasil têm como órgão responsável por fiscalização e desenvolvimento de normas a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A partir de uma série de procedimentos criados pela ANEEL, relacionados com redes de distribuição, encontra-se o Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica que faz referência a qualidade do produto, serviço prestado e tratamento de reclamações.

De acordo com normativa ANEEL (2018), em relação a qualidade do produto, o objetivo da mesma é tratar fenômenos da qualidade em regime permanente (tensão, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação e variação de frequência) e transitório (variações de tensão de curta duração).

As equações (1)-(4) são referentes aos indicadores da distorção harmônica de tensão:

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hm\acute{a}x} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

sendo:

DTT% = distorção harmônica total de tensão

h = todas as ordens harmônicas de 2 até hmáx

hmáx = conforme classe A ou S

V_h = tensão de ordem h

V_1 = tensão fundamental medida

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hp} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

sendo:

DTT_p% = distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3

h = todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 (h = 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38, ...)

hp = máxima ordem harmônica par, não múltipla de 3

$$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{hi} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

sendo:

DTT_i% = distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3

h = todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 (h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 35, 37, ...)

hi = máxima ordem harmônica ímpar, não múltipla de 3

$$DTT_3 = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h3} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

sendo:

DTT₃% = distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3

h = todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 (h = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39...)

h3 = máxima ordem harmônica múltipla de 3

A Tabela 1 indica os limites para as distorções harmônicas totais. ANEEL (2018).

Tabela 1 - Limites das distorções harmônicas totais

Indicador	Tensão nominal		
	$v_n \leq 1,0kV$	$1,0kV < v_n \leq 0,5kV$	$0,5kV < v_n \leq 250kV$
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _p 95%	2,5%	2,0%	1,0%

DTT ₁ 95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT ₃ 95%	6,5%	5,0%	3,0%

Os quatro indicadores permitem uma tolerância de transgressão de 5% em relação às 1008 leituras válidas.

2.2 Fluxo Harmônico

O programa OpenDSS utiliza o método iterativo do ponto fixo para solução do fluxo harmônico (DUGAN, 2016). Este método consiste em encontrar uma matriz de admitância para cada elemento do sistema, chamada de matriz admitância primitiva, $Y_{\text{primitiva}}$. Após encontrar todas as matrizes primitivas, alocam-se as mesmas em uma matriz do sistema, denominada Y_{sistema} . Todos os elementos que não possuem característica linear são convertidos em um equivalente de Norton. Inicia-se, a primeira etapa, estimando um valor para as tensões nas barras. No segundo passo, calcula-se as correntes injetadas para cada elemento (cargas) e monta-se a matriz das correntes de injeção. Na terceira parte, utiliza-se as correntes de injeção e a matriz Y_{sistema} para o cálculo das novas tensões nodais, como mostra a equação (5):

$$V_{n+1} = [Y_{\text{sistema}}]^{-1} \times [I(V_n)] \quad (5)$$

onde:

V_{n+1} = valor da tensão nodal em (n+1)

$[Y_{\text{sistema}}]^k$ = matriz de admitância do sistema

$[I(V_n)]$ = matriz das correntes de injeção

n = número de iterações (de 0 até a convergência do sistema)

Finalmente, no quarto passo, de posse dos valores das tensões nodais verifica-se se o sistema convergiu. Se ocorrer a convergência o processo acaba, porém caso não ocorra repete-se o processo do segundo ao quarto passo. Para a solução do fluxo de potência harmônico deve-se realizar a solução do sistema matricial linear para cada frequência de interesse (FARHANA; NOR; SAID, 2012).

2.2.1 Espectro Harmônico das Cargas

O espectro das cargas não lineares do sistema foi baseado no conteúdo harmônico das formas de onda de corrente de uma residência de consumo médio, extraído do trabalho de Pires (2006). O espectro original foi submetido a ajustes por meio de coeficientes, 0,45 para as componentes harmônicas múltiplas de 3 e 1,5 para as componentes harmônicas ímpares não múltiplas de 3, a fim de que o sistema somente com estas cargas não ultrapassasse os limites permitidos de distorção harmônica antes da conexão dos veículos elétricos. Na Figura 1 ilustra-se o espectro harmônico utilizado.

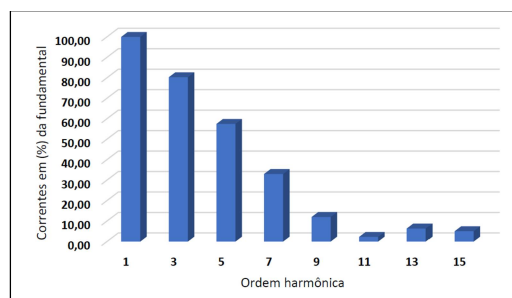


Figura 1 - Espectro harmônico de corrente residência de consumo médio

2.2.2 Modelagem dos veículos elétricos

Os dados característicos da recarga utilizados para posterior simulação serão de um veículo elétrico, denominado Nissan Leaf, cuja motorização é totalmente elétrica. O mesmo será caracterizado pela potência consumida durante a recarga e pelo espectro harmônico de corrente.

Conforme demonstrado por Arioli (2016), durante o processo de recarga os veículos elétricos apresentam potência consumida constante e fator de potência praticamente unitário. Validando essa característica de recarga

apresentada por Arioli (2016), no trabalho desenvolvido por Valle (2015) foram realizados testes de recarga no veículo Nissan Leaf e os resultados para uma recarga normal, operando com tensão nominal de 220V, demonstraram que a potência permaneceu constante em torno de 3,5 kW e o fator de potência permaneceu praticamente unitário.

O espectro harmônico de corrente do veículo Nissan Leaf durante o carregamento pode ser analisado pela Figura 2.

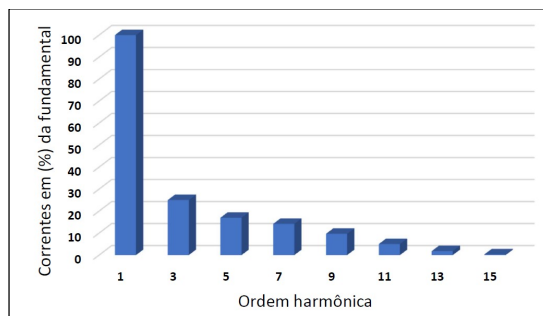


Figura 2 - Espectro harmônico de corrente do veículo Nissan Leaf (Aljanad e Mohamed, 2016)

2.3 Sistema Teste

A rede de distribuição utilizada é baseada em dados reais, de um alimentador urbano, pertencente a uma concessionária da região Sul do Brasil, que possui tensão nominal de 13,8 kV. Para avaliar o sistema conforme normativa estabelecida no Módulo 8 do PRODIST, referente as distorções harmônicas de tensão (DTT95%, DTTP95%, DTTI95% e DTT395%), utilizou-se os valores das cargas de quatro períodos distintos: período 1 (0:00 às 07:00), período 2 (07:00 às 12:00), período 3 (12:00 às 18:00) e período 4 (18:00 às 24:00). Portanto, as 1008 medições são divididas em: 42 leituras, 30 leituras, 36 leituras, 36 leituras, respectivamente, do período 1 ao período 4, durante 7 dias. A carga total de cada período é de 4,162 MVA, 4,561 MVA, 4,562 MVA e 3,446 MVA respectivamente. O comprimento total aproximado dos trechos é de 6,366 quilômetros e 103 nós. A Figura 3 ilustra a rede de distribuição de energia elétrica com seus respectivos trechos. Destaca-se que os nós e cargas estão numeradas a fim de identificação, e o ponto de conexão do alimentador com a subestação faz-se pelo nó 001.

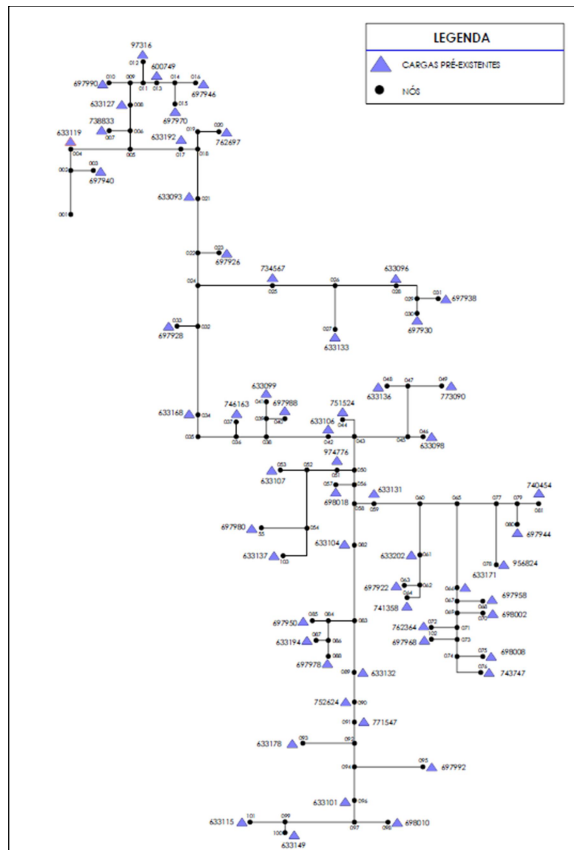


Figura 3 - Rede de distribuição de energia elétrica

2.3.1 Inserção dos Veículos Elétricos

Os níveis de penetração dos veículos elétricos na rede de distribuição de energia elétrica serão realizados com base na potência aparente total do alimentador do sistema de distribuição. A equação 6 relaciona o nível de penetração do veículo elétrico, a potência total da rede de distribuição e do veículo elétrico com o número de veículos a serem inseridos no sistema.

$$N_{\text{VEÍCULOS}} = \frac{S_{\text{REDE}} \times N_{\text{PENETRAÇÃO}}}{S_{\text{VEÍCULOS}} \times 100} \quad (6)$$

onde:

$N_{\text{VEÍCULOS}}$ = quantidade de veículos a serem inseridos no sistema

S_{REDE} = potência aparente total da rede (kVA)

$S_{\text{VEÍCULOS}}$ = potência aparente do veículo elétrico (kVA)

$N_{\text{PENETRAÇÃO}}$ = nível de penetração dos veículos elétricos no sistema (%)

Os veículos serão inseridos de maneira equilibrada no sistema, agrupados em conjuntos trifásicos interligados em estrela, em todos os pontos de acoplamento de carga pré-existent na rede de distribuição.

2.4 Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados das simulações realizadas no *software* OpenDSS. As distorções harmônicas foram calculadas de acordo com a metodologia estabelecida no Módulo 8 do PRODIST, contida na

seção 2.1 deste trabalho. Os parâmetros envolvidos nos seis cenários sob testes são mostrados na Tabela 2. Por fim, com base nos resultados obtidos de cada cenário, serão realizados testes na rede de distribuição com o objetivo de definir o número máximo de veículos que poderão ser conectados no sistema, no período 04, contendo distorção harmônica de tensão e sem distorção, sem que os limites sejam extrapolados.

Tabela 2 – Parâmetros dos utilizados nos cenários

CENÁRIOS	DISTORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO PRÉ-EXISTENTE	NÍVEL DE PENETRAÇÃO	Nº DE VEÍCULOS
Cenário 01	Ausente	36,55%	360
Cenário 02	Ausente	54,83%	540
Cenário 03	Ausente	73,11%	720
Cenário 04	Presente	36,55%	360
Cenário 05	Presente	54,83%	540
Cenário 06	Presente	73,11%	720

2.4.1 Cenários sem distorção de harmônica prévia no sistema

Nestes cenários os níveis de distorção harmônica de tensão de nenhum trecho foram ultrapassados, como comparativo entre os valores obtidos com os limites estabelecidos no Módulo 8 do PRODIST. Assim, de igual modo em todos os cenários, os trechos (074-075) e (074-076) apresentaram os maiores valores de distorção harmônica e tensão. A Tabela 3, apresenta os maiores níveis da distorção harmônica de tensão obtidos nos diferentes cenários.

Tabela 3 – Maiores distorções harmônicas de tensão

CENÁRIOS	TRECHOS	PERÍODOS	DTT	DTT ₁	DTT ₃
Cenário 01	074 - 075 074 - 076	Período 1	1,57	0,36	1,50
		Período 2	1,50	0,36	1,52
		Período 3	1,57	0,36	1,52
		Período 4	1,58	0,36	1,53
Cenário 02		Período 1	2,34	0,55	2,28
		Período 2	2,33	0,55	2,26
		Período 3	2,33	0,55	2,26
		Período 4	2,34	0,55	2,28
Cenário 03		Período 1	3,09	0,73	3,00
		Período 2	3,07	0,73	2,98
		Período 3	3,08	0,73	2,99
		Período 4	3,10	0,73	3,01

2.4.2 Cenários com distorção de harmônica prévia no sistema

Em todos testes foram ultrapassados os índices da distorção harmônica total de tensão referente as componentes ímpares múltiplas de 3. Os indicadores da distorção harmônica total de tensão foram extrapolados no cenário 05, durante os períodos 2 e 3, bem como, para o cenário 06 em todos os períodos. A Tabela 4 exibe os maiores índices obtidos nos diferentes cenários, bem como, a Figura 4 ilustra os trechos em que os indicadores foram ultrapassados, sendo a cor vermelha referente a níveis excedidos dos indicadores da distorção harmônica total de tensão e distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 e a rosa somente em relação a distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3, em determinado horário.

Tabela 4 – Maiores distorções harmônicas de tensão

CENÁRIOS	TRECHOS	PERÍODOS	DTT	DTT ₁	DTT ₃
Cenário 04	074 - 075 074 - 076	Período 1	7,22	3,76	6,17
		Período 2	7,83	4,16	6,63
		Período 3	7,73	4,09	6,56
		Período 4	7,08	3,69	6,04
Cenário 05		Período 1	7,72	3,70	6,77
		Período 2	8,31	4,09	7,22
		Período 3	8,21	4,03	7,15

Cenário 06	Período 4	7,58	3,63	6,65
	Período 1	8,24	3,65	7,39
	Período 2	8,81	4,04	7,82
	Período 3	8,72	3,98	7,76
	Período 4	8,10	3,57	7,27

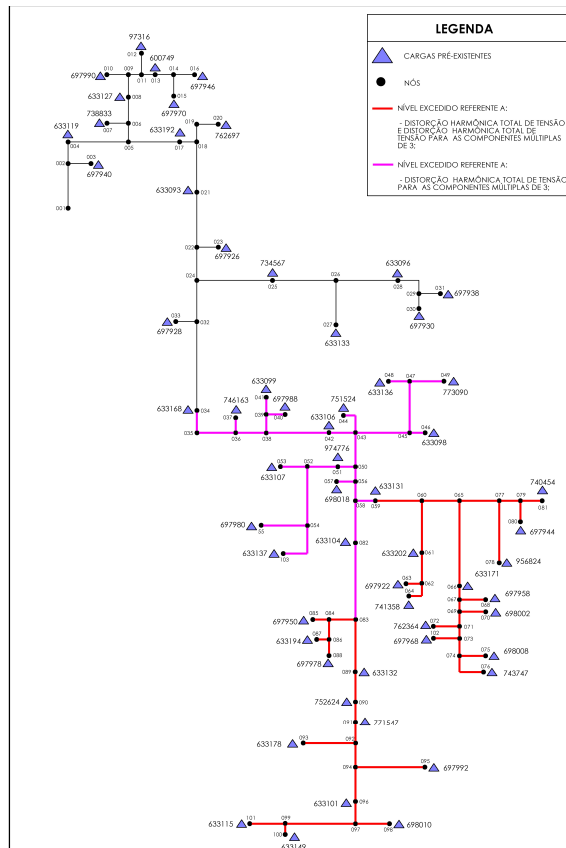


Figura 4 – Regiões com índices acima do limite

2.4.3 Número Máximo de veículos conectados simultaneamente

Nos itens a seguir serão definidas as quantidades máximas de veículos que a rede de distribuição de energia elétrica pode suportar sem que os limites de distorção harmônica de tensão sejam extrapolados. Para esta determinação utiliza-se como base os seis cenários analisados anteriormente, posto que o número máximo será definido tanto para o sistema sem distorção harmônica de tensão (antes da conexão dos veículos elétricos) quanto com distorção harmônica.

a) SISTEMA SEM DISTORÇÃO HARMÔNICA PRECEDENTE A CONEXÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

A partir dos cenários simulados, de 01 a 03, pode-se atestar que o número de veículos conectados na rede de distribuição pode ser aumentado, devido aos limites de distorção harmônica de tensão não serem excedidos. Aumentando-se o nível de penetração para 109,66%, ou seja, 1080 veículos distribuídos entre os 60 pontos de acoplamento para carga, alcançou-se valores de distorção harmônica de tensão aceitáveis em todos os trechos do sistema. A Tabela 5 relaciona os maiores valores encontrados da distorção harmônica de tensão.

Tabela 5 - Distorção harmônica de tensão mais elevada

TRECHOS	DTT	DTT ₁	DTT ₃
---------	-----	------------------	------------------

074-076	4,50	1,09	4,36
074-075			

b) SISTEMA COM DISTORÇÃO HARMÔNICA ANTES DA CONEXÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Em relação aos resultados dos cenários 4 e 5, fica evidente que os níveis de penetração utilizados estavam acima do ideal. Em consequência disso, buscou-se diminuir o número de veículos conectados utilizando-se o nível de penetração de 18,27% que, de acordo com a equação 6, resulta na conexão de 180 veículos. Porém, mesmo com o número de veículos reduzidos a distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 ficou acima do limite em alguns trechos, sendo desconsiderado este cenário.

Tomando como base este efeito, retirou-se todos os veículos de alguns pontos de acoplamento de carga até que atingissem um limiar em que não houvesse valores de distorção harmônica de tensão acima dos limites estabelecidos em normativa. O limiar foi atingido com o total de 75 veículos conectados, distribuídos igualmente entre vinte e cinco primeiros pontos de acoplamento de carga do sistema, como indicado na Figura 4. Este número de veículos representa uma taxa de penetração de 7,61% em relação a carga total do alimentador em estudo.

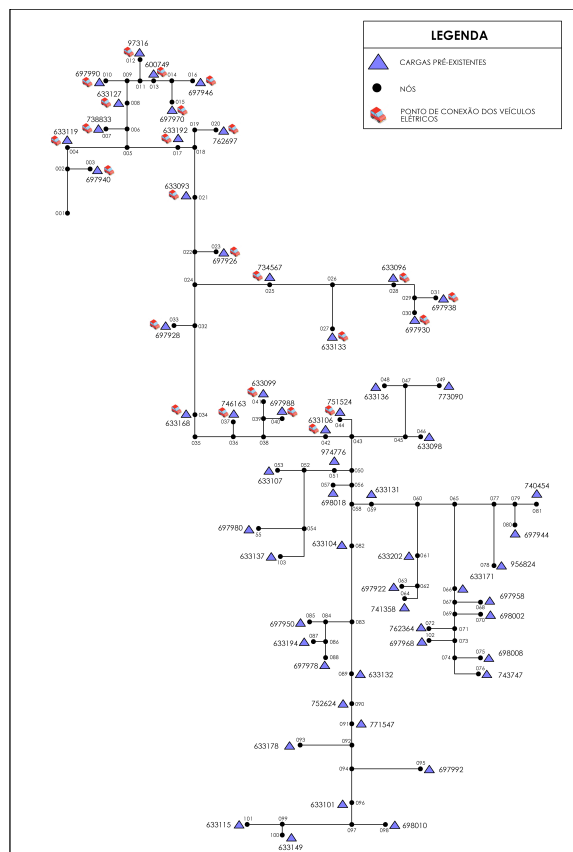


Figura 4 - Área de conexão dos veículos elétricos

O maior valor de distorção harmônica de tensão está exposto na Tabela 6.

Tabela 6 – Locais com maiores distorções harmônicas de tensão

TRECHOS	DTT	DTT ₁	DTT ₃
074-076	6,29	3,82	4,99
074-075			

3.0 - CONCLUSÕES

Observa-se que nos cenários em que o sistema não dispunha de distorção harmônica de tensão antes da conexão dos veículos, os níveis de distorção harmônica ficaram dentro dos limites aceitáveis. Já nos cenários em que o sistema possui distorção harmônica de tensão (prévia a conexão), os veículos acarretaram na extrapolação dos índices da distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 (com índices harmônicos superiores ao aceitável de 5%), sendo perceptível que em cada incremento da penetração dos veículos maiores áreas eram afetadas. A simulação em que se obteve o maior impacto foi o cenário 6, em função do nível da distorção harmônica de tensão pré-existente na rede e do elevado número de veículos conectados, sendo ultrapassado os limites de distorção harmônica total de tensão (com valores acima do permitido de 8% para este indicador) e da distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3. Devido as simulações em que tentou-se determinar o número máximo de veículos que poderiam ser conectados na rede de distribuição, evidenciou-se que os índices da distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 também seriam extrapolados nos cenários em que eles seriam conectados somente com cargas lineares, estabelecendo-se a quantidade máxima de 1080 veículos. Para a definição do número máximo de veículos conectados em um sistema com distorção harmônica antes da conexão dos mesmos, verificou-se que a interligação somente foi possível nas regiões mais próximas da subestação, devido a extrapolação dos índices de distorção harmônica de determinadas regiões. Os trechos mais críticos em todos os cenários para acoplamento dos veículos foram os que apresentavam maior número de cargas e que possuíam uma considerável distância em relação a subestação.

Nos cenários de números 04 ao 06, nota-se uma diminuição dos indicadores da distorção harmônica de tensão referente as componentes ímpares não múltiplas de 3 (DTT_i), com o incremento da quantidade de veículos na rede de energia elétrica. Segundo Carter et al. (2012), caso um conjunto de cargas não-lineares não estiver com as correntes “em fase”, ou seja, os ângulos das correntes iguais, pode ocorrer diminuição de determinados índices harmônicos. A diferença entre o fator de potência das cargas pré-existentes no sistema em relação aos veículos, faz com que a defasagem da corrente na frequência fundamental entre tais cargas seja diferente. Os ângulos das correntes injetadas, referente as cargas não-lineares, nas diferentes ordens harmônicas são atribuídos relacionando o ângulo da corrente na frequência fundamental com os ângulos definidos no espectro harmônico de corrente da carga. Portanto, tal efeito de decrescimento do índice ocorre em consequência da rede de distribuição possuir cargas harmônicas com fator de potência e espectro harmônico de corrente diferentes.

Desta forma, por meio deste trabalho constata-se a necessidade de redução das correntes harmônicas ímpares múltiplas de 3 dos veículos elétricos utilizados nas simulações, principalmente a terceira harmônica que representa a maior ordem harmônica analisando-se o seu espectro. Tal redução poderia ser realizada com a inserção de filtros no carregador do próprio veículo. Desse modo é inevitável que as concessionárias realizem estudos harmônicos antecipados nas redes de distribuição, antes que as regiões passem a ter uma penetração massiva dos mesmos. Ainda, apesar de não fazer parte deste estudo, a quantidade de veículos que podem ser conectados na rede de distribuição de energia elétrica, nos cenários em que o sistema não possui distorção harmônica de tensão antes da sua conexão, representa um acréscimo na carga total do alimentador de 109,66% considerando-se o período de carga mais brando (período 4), tornando grande a possibilidade de que determinadas linhas possam sofrer com problemas de sobrecarga antes dos impactos da distorção harmônica.

Referente a possíveis trabalhos a serem realizados a partir destes tópicos pode-se citar: estudos de sobrecarga na rede de distribuição; análises da utilização da configuração *vehicle-to-grid*; determinação da quantidade de veículos elétricos e locais específicos a serem conectados no sistema a fim de minimizar os impactos harmônicos utilizando métodos de otimização; utilização da curva de carga diária do sistema para simulação dos cenários; avaliação de perdas técnicas com a conexão dos veículos, entre outros.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) VASCONCELOS, Yuri. **A ascensão dos elétricos**. 2017. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/08/15/a-ascensao-dos-eletricos/>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

(2) BARBOSA, Vanessa. **Estudo prevê crescimento de 35% ao ano para veículos elétricos até 2025**. 2018. Reportagem da revista Exame. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/estudo-preve-crescimento-de-35-ao-ano-para-veiculos-eletricos-ate-2025/>>. Acesso em: 27 maio 2018.

(3) REGHIN, Mariane. **Brasil tem potencial para vender 150 mil carros elétricos ao ano**. 2018. Reportagem da revista Época Negócios. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/02/brasil-tem-potencial-para-vender-150-mil-carros-eletricos-ao-ano.html>>. Acesso em: 27 maio 2018.

(4) FORTES, Marcio Zamboti et al. Impact Analysis of Plug-in Electric Vehicle Connected in Real Distribution Network. **IEEE Latin America Transactions**, [s.l.], v. 14, n. 5, p.2239-2245, maio 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tla.2016.7530419>.

(5) ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST - MÓDULO 8: Qualidade da Energia Elétrica**. 2017. 88 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo_8-Revisão_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 25 mar. 2018.

(6) DUGAN, R. C. **OpenDSS Circuit Solution Technique**. 2016. Disponível em: <[https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/Doc/OpenDSS Solution Technique.pdf](https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/Doc/OpenDSS%20Solution%20Technique.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2018.

(7) FARHANA, C. K.; NOR, K. M.; SAID, D. M.. Time series simulation of the impact of harmonics using measured harmonic data. **2012 IEEE International Conference On Power And Energy (pecon)**, [s.l.], p.661-666, dez. 2012. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/pecon.2012.6450298>.

(8) PIRES, Igor Amariz. **Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Ppgee, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/252M.PDF>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

(9) ARIOLI, Vitor Torquato. **ANÁLISE DE IMPACTOS TÉCNICOS PROVOCADOS PELA INTERAÇÃO MASSIVA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2016. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

(10) VALLE, Helena Bento Martins do. **APLICAÇÃO DO CONCEITO VEHICLE TO GRID PARA NIVELAMENTO DE CARGA E SUPRIMENTO DE PICO DE DEMANDA**. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015208.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

(11) ALJANAD, A.; MOHAMED, Azah. Harmonic Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicle on Electric Distribution System. **Modelling and Simulation in Engineering**, [s.l.], v. 2016, p.1-7, 2016. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5968943>. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/mse/2016/5968943/cta/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Alan Vieira da Silva
Universidade de Caxias do Sul, 2018
Engenheiro Eletricista