



ANÁLISE DE IMPACTOS CAUSADOS PELA CONEXÃO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM UMA REDE DE BAIXA TENSÃO

Evelise de Godoy Antunes – eveliseantunes@gmail.com
Orientador: Roberto Chouhy Leborgne – roberto.leborgne@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia de Energia

Com o crescimento da utilização de geração distribuída, principalmente causado pelo incentivo ao uso de energia solar fotovoltaica (GD), e a busca de descarbonização dos transportes que leva ao crescimento da eletrificação dos mesmos, como veículos elétricos (EV), o estudo dos efeitos causados nos sistemas elétricos de potência pela adoção dessas tecnologias se torna necessário. Ambos, geração fotovoltaica e veículos elétricos, são considerados cargas não lineares, pois utilizam eletrônica de potência em seus conversores, e por isso injetam correntes harmônicas na rede, que causam distorções harmônicas na tensão. Visando esta questão, o presente trabalho analisa as distorções harmônicas causadas no sistema, conforme o indicador de distorção harmônica total de tensão (DTT) do Módulo 8 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), que é calculado utilizando a equação

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^h \max V_h^2}}{V_1} \times 100$$

onde h igual à ordem harmônica e V_1 é a tensão fundamental. Para tensões nominais de até 1kV, caso deste estudo, o limite da DTT é de 10%.

O modelo de rede escolhido para análise foi o residencial de baixa tensão europeu do *Benchmark C6.04* do CIGRE. A Figura 1 apresenta o modelo modificado com a indicação dos pontos de conexão de GD e EV. O nível de tensão da rede é 400V com sistema de distribuição subterrâneo.

A simulação foi realizada com o programa *Open Distribution System Simulator (OpenDSS)* integrado pela COM interface no *Matlab*. Foi simulado um cenário sem inserção de geração fotovoltaica e veículos elétricos para validar a modelagem da rede e também servir como referência, um cenário com conexão de geração fotovoltaica, um com carregamento de veículos elétricos e outro cenário com a conexão de geração distribuída proveniente de fonte solar fotovoltaica e carregamento de veículos elétricos, para verificar os efeitos conjuntos dessas duas tecnologias. Nos dois últimos cenários, são considerados dois horários de carregamento dos veículos, um coincidente com o período de geração fotovoltaica e outro no período da noite. Serão apresentados os resultados do primeiro e do último cenário.

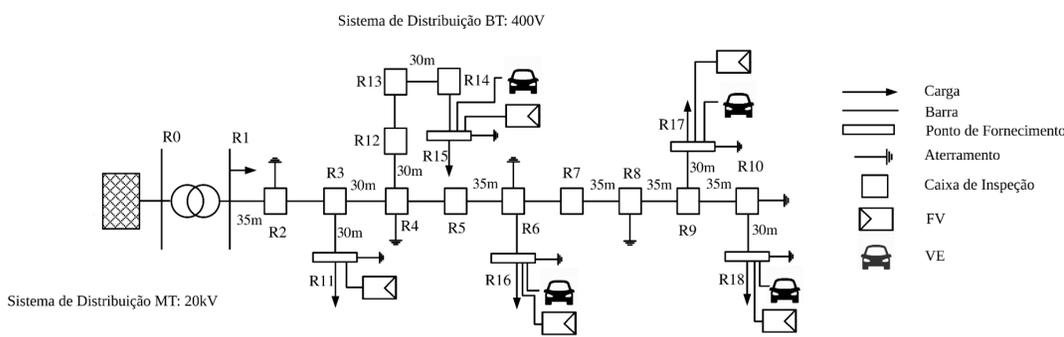


Figura 1 – Modelo de rede de baixa tensão do *Benchmark C6.04* do CIGRE modificado.

Na Tabela 1 são apresentadas as amplitudes e fases das ordens harmônicas que caracterizam o espectro harmônico das cargas ou geração. No caso da GD, as harmônicas variam de acordo com o nível da potência gerada. Pode-se observar que algumas ordens harmônicas residenciais e dos EV possuem fases em direções opostas, o que pode levar a um decréscimo da DTT.

Tabela 1 – Ordens harmônicas características das cargas e da geração.

Ordem Harmônica	Residencial		Geração Fotovoltaica			Veículos Elétricos		
	Amplitude [%fund.]	Fase [graus]	Baixa Geração [%fund.]	Média Geração [%fund.]	Alta Geração [%fund.]	Fase [graus]	Amplitude [%fund.]	Fase [graus]
1	100	0	100	100	100	0	100	0
3	7,4	148,60	18,75	2,98	1,15	92	8,92	-129
5	1,7	-78,34	20,39	5,53	3,46	93	0,39	67
7	2,4	199,73	11,22	3,21	1,54	-68	0,26	-157
9	1,7	83,23	7,40	2,10	0,69	117	0,45	166
11	0,2	-76,30	2,87	1,67	0,77	44	0,51	172
13	1,2	158,74	3,23	2,12	0,92	122	0,45	160

A Figura 2 apresenta as curvas de potência utilizadas, sendo a (a) a curva de carga residencial típica para consumidores nível 4 (consumo de 500 a 1.000 kWh/mês), a (b) a curva de geração fotovoltaica durante um dia, a (c) a curva de carregamento diurno de um EV e a (d) a curva de carregamento noturno de um EV.

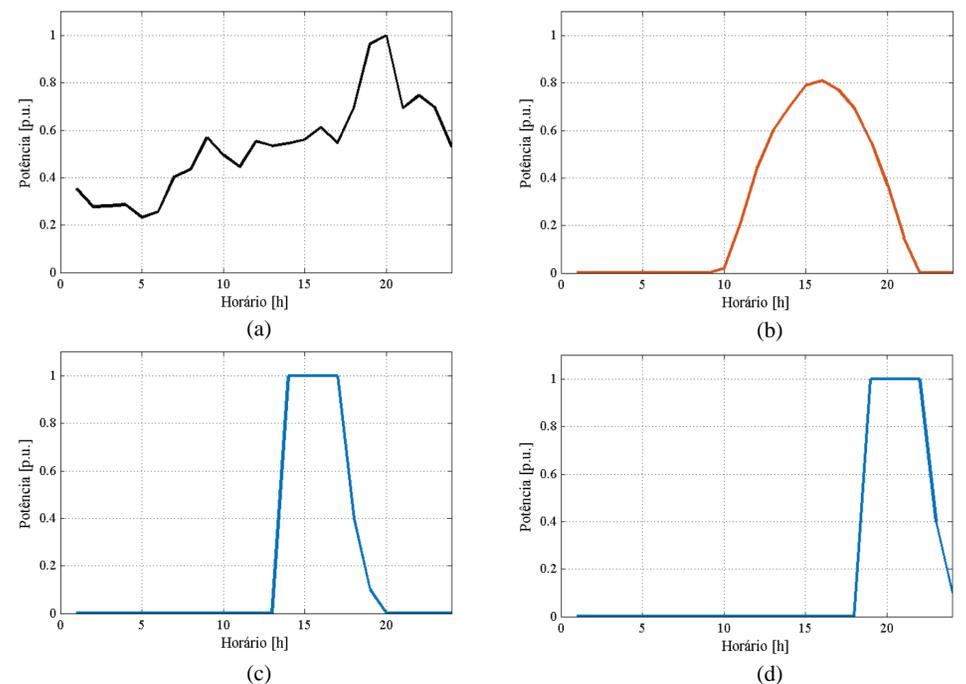


Figura 2 – Curvas utilizadas: (a) Curva de carga residencial; (b) Curva de geração fotovoltaica; (c) Curva de carregamento diurno do EV; (d) Curva de carregamento noturno do EV.

Percebe-se, na Figura 3, que os níveis de distorção harmônica permanecem dentro do limite de 10% estabelecido pelo PRODIST. Além disso, as distorções harmônicas causadas pelas duas tecnologias podem se subtrair, devido ao caráter fasorial delas. A redução da DTT com o uso de GD+EV depende da posição do ponto na rede, ocorrendo uma redução maior quanto mais distante do transformador.

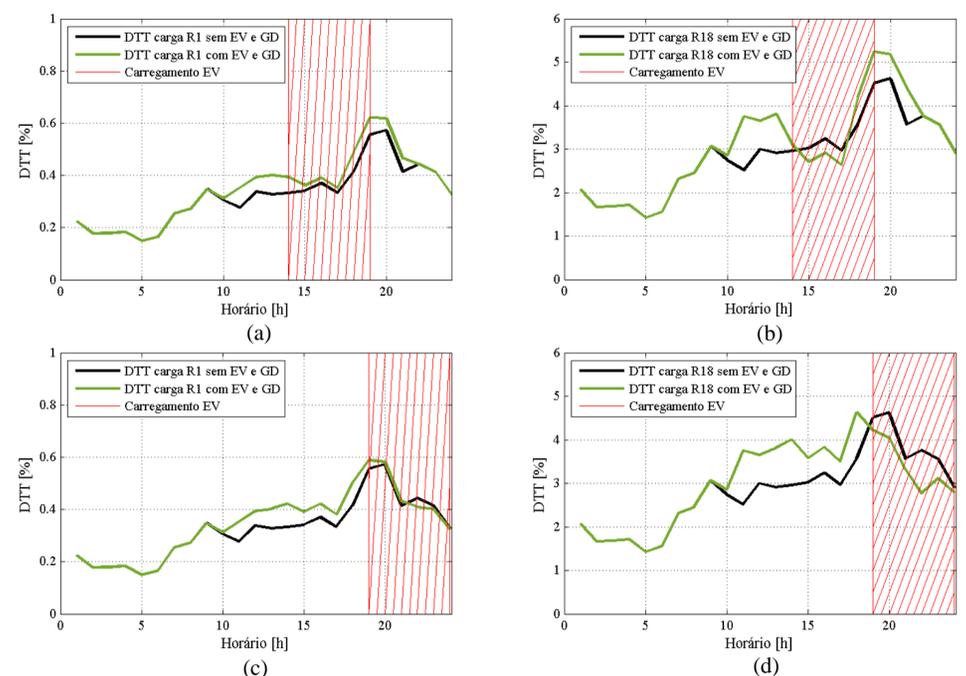


Figura 3 – Resultados obtidos: (a) Carregamento diurno – Barra R1; (b) Carregamento diurno – Barra R18; (c) Carregamento noturno – Barra R1; (d) Carregamento noturno – Barra R18;

Conclusões

A inserção de geração fotovoltaica e veículos elétricos em uma rede de baixa tensão altera o perfil da DTT da mesma. As correntes harmônicas provenientes da GD tendem a aumentar a DTT, enquanto o carregamento de EV's mostra uma redução da DTT, comportamentos causados pela fase das ordens harmônicas de cada espectro. O impacto das harmônicas na rede também depende da distância que o ponto de fornecimento está do transformador MT/BT, sendo maior o DTT quanto mais distante. Em nenhum momento ou ponto de fornecimento os níveis de DTT ficaram acima do limite de 10% estabelecido pelo PRODIST.