

AVALIAÇÃO DE SOFTWARE ACADÊMICO PARA ANÁLISE DE HARMÔNICOS EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

*Primeiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço **

*CEP – Cidade – Estado**

*Segundo Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Terceiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Quarto Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Quinto Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

** Como as avaliações serão às cegas, os nomes/dados dos autores não deverão constar na versão para a submissão. Caso não seja atendida essa determinação o artigo será desclassificado. Aqueles artigos que obtiverem aprovação deverão ser reenviados com tais informações.*

Resumo: *Este trabalho tem como objetivo explicar o funcionamento do HarmSimFlow, um software desenvolvido para cálculo e análise do fluxo de carga harmônico em um sistema elétrico de potência. A presença de harmônicas é um indicador da distorção da forma de onda da tensão e da corrente, podendo causar o mau funcionamento dos equipamentos. Desenvolvido na linguagem C++, o software agrega os conhecimentos obtidos no curso de engenharia elétrica com base em disciplinas como Análise de Sistemas de Energia e Sistemas de Energia Elétrica, permitindo o entendimento sobre o efeito provocado pelos harmônicos nas redes de distribuição de energia elétrica. A interface gráfica do software foi criada para facilitar a interação de modo intuitivo entre o usuário e o sistema computacional, e, portanto, a compreensão do assunto. O método de cálculo utilizado é o somatório de correntes associado a montagem da matriz de admitância nodal para cada frequência harmônica. Durante o desenvolvimento da interface do HarmSimFlow realizou-se uma pesquisa avaliativa com os discentes do curso acerca da aplicabilidade do software como uma alternativa de aprendizado no ambiente acadêmico.*

Palavras-chave: Fluxo de Carga. Harmônicos. Redes de Distribuição. Software.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de fluxo de carga é de extrema importância no planejamento e desenho dos sistemas de potência, assim como também, na determinação das melhores condições de operação, controle e supervisão dos sistemas existentes. Através do fluxo de carga é possível acompanhar as tensões e fluxos de potência de uma rede elétrica em função da sua topologia e dos níveis de demanda e geração de potência. Nesse tipo de problema a modelagem do sistema é estática, significando que a rede é representada por um conjunto de equações algébricas. Utiliza-se esse tipo de representação em situações nas quais as variações com o tempo são suficientemente lentas para que se possa ignorar os efeitos de transitórios (MONTICELLI, 1983).

A presença de harmônicos é registrada através de deformações provocadas na tensão de alimentação do sistema ou na corrente absorvida por um equipamento de natureza não-linear. Sob condição de regime permanente, a decomposição da onda distorcida resulta em várias ondas sobrepostas à onda de frequência nominal do sistema. A frequência dessas ondas (denominadas de harmônicos) é um múltiplo inteiro da frequência nominal de operação da onda (frequência fundamental). Por exemplo, se a frequência de operação da onda fundamental for 60 Hz, o segundo harmônico encontra-se na frequência de 120 Hz, a frequência do terceiro harmônico será de 180 Hz e assim por diante.

Os harmônicos provocam efeitos negativos nos sistemas de energia elétrica, interferindo diretamente na qualidade da energia elétrica, seus principais efeitos são perdas ativas e reativas nos condutores, sobreaquecimento em máquinas elétricas e interferências na rede elétrica, entre outros.

Portanto, é necessária a monitoração dos harmônicos no sistema de energia, pois entendendo a ocorrência do distúrbio é possível propor soluções para minimizar os seus efeitos. Os objetivos da monitoração são: diagnosticar incompatibilidade entre a fonte de energia elétrica e a carga; medir desempenho de carga/processo; analisar a causa raiz do problema; avaliar a conformidade com requisitos legais; e prever o desempenho de futuros equipamentos (carga) ou de dispositivos de mitigação da Qualidade de Energia Elétrica (LEÃO *et al*, 2014).

No presente trabalho apresenta-se o um *software* acadêmico desenvolvido para cálculo de fluxo de carga harmônico (*HarmSimFlow*). O estudo permite, entre outras finalidades, avaliar a penetração harmônica no sistema de distribuição, possibilitando ações de planejamento visando a mitigação dos problemas provocados por eles.

2 JUSTIFICATIVA

Nos sistemas atuais, a modernização implementada nos equipamentos utilizados pelos consumidores melhora a eficiência energética dos mesmos, porém, sob outros aspectos, produz efeitos negativos como os elevados níveis de harmônicos na rede. Equipamentos de auxílio no acionamento e controle de velocidade de motores, como os inversores de frequência, bem como outros equipamentos não-lineares presentes nos sistemas de energia elétrica, provocam

distorções nos diversos componentes dos sinais do sistema de potência afetando a qualidade da energia elétrica. Esta situação pode causar o mau funcionamento de equipamentos de medição e de controle, sobrecarga em transformadores e condutores, entre outros problemas.

Deste modo, a análise deste distúrbio projeta-se como uma importante ferramenta para predição, prevenção e correção nos sistemas. As técnicas de simulação de fluxo de carga harmônico resolvem um sistema de equações para uma faixa de frequências múltiplas da frequência fundamental. A partir da determinação de perdas produzidas pelos sinais distorcidos avalia-se o desempenho e estudo das melhores alternativas de localização de filtros e banco de capacitores. O algoritmo do *HarmSimFlow* possibilita simulações de modo prático e automatizado, dependendo somente dos parâmetros de entrada definidos pelo usuário. A obtenção de resultados mais apurados permite ao usuário compreender melhor o efeito dos harmônicos nas redes de distribuição.

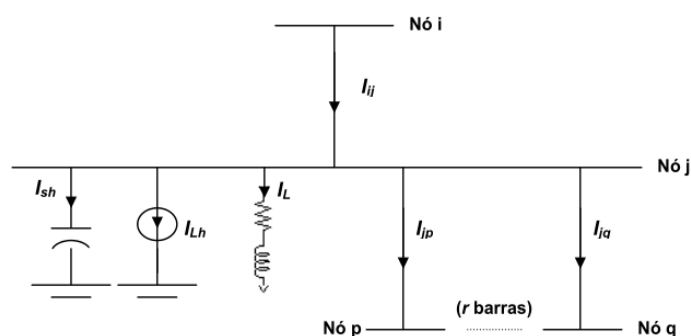
3 O SIMULADOR

O software *HarmSimFlow* é utilizado para cálculo de fluxo de carga harmônico visando à alocação ótima de filtros harmônicos passivos em sistemas de distribuição. Os dados de entrada são inseridos por meio de um arquivo (input.dat) contendo os dados de linha, de carga e dos transformadores do sistema. Como saída obtém-se os valores de tensão e de correntes *rms* individuais na frequência fundamental e harmônicas, além das distorções harmônicas totais de tensão e de corrente nos componentes do sistema (CARVALHO, 2006).

3.1 Método Somatório de Correntes

Em (CARVALHO, 2006) é aplicado o modelo de fluxo de carga para redes de distribuição e de transmissão fracamente malhadas, denominado Método de Somatório de Correntes estendido por (TOSTES, 2003) para o cálculo das correntes harmônicas injetadas por consumidores não-lineares em baixa tensão e adaptado para incluir outras barras de geração. A Figura 1 ilustra a representação de nós genéricos para o método.

Figura 1 – Representação dos nós genéricos para o método.



Fonte: CARVALHO, 2006.

Onde:

i, j, p, q: barras para onde convergem dois ou mais ramos, denominadas de nós;

I_{ij} : corrente que circula no ramo entre os nós i e j, p,u;

Ish: corrente absorvida pela carga shunt, p.u;

ILh: corrente absorvida pela carga não-linear, p.u;

IL: corrente absorvida pela carga linear, p.u;

I_{jp}: corrente que circula no ramo entre os nós j e p, p.u;

I_{jq}: corrente que circula no ramo entre os nós j e q, p.u.

O Algoritmo implementado segue a sequência de passos listadas a seguir:

1. Inicialmente, os valores das tensões em todas as barras de carga são estimados em 1,0 p.u., com ângulo igual a 0°. Para a barra slack e barras do tipo PV as tensões devem ser especificadas pelo usuário.
2. Calculam-se as correntes das cargas na frequência fundamental. No presente trabalho as cargas lineares são modeladas como circuitos R-L série, de corrente constante. Os bancos de capacitores são admitidos como “cargas shunt“ e as cargas não-lineares também são consideradas, na frequência fundamental, como cargas nas quais a corrente não se altera com as variações da tensão (cargas de corrente constante).
3. Calculam-se as correntes nodais através da soma dos valores calculados de corrente das cargas. Se existir algum filtro ligado à barra, a corrente fundamental desse componente também deverá ser considerada na composição da corrente total.
4. Calculam-se as correntes nos ramos, somando-se as correntes que fluem nos ramos inferiores interligados às barras com as correntes nodais provenientes dos componentes associados às mesmas.
5. Atualizam-se as tensões nodais.
6. A convergência do processo iterativo é alcançada quando as condições de tolerância para as tensões e correntes forem satisfeitas em cada nó elétrico. Para isso, calcula-se o erro máximo entre os valores de tensão e de corrente obtidos na iteração atual e anterior, em todas as barras do sistema.

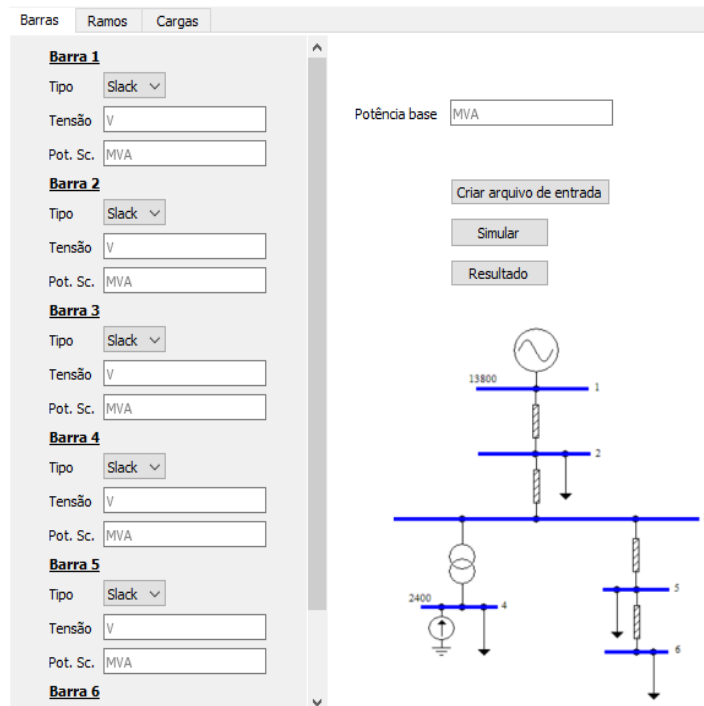
Deve-se ressaltar que os cálculos das tensões das barras iniciam a partir da barra fonte (barra slack), em direção às barras terminais, com base na ordem indicada pelo usuário.

4 INTERFACE GRÁFICA

Com o objetivo de tornar o *HarmSimFlow* mais interativo com o usuário, desenvolveu-se uma interface gráfica que facilita o acesso por meio de representações visuais, definição dos parâmetros de entrada e visualização do resultado da simulação.

Optou-se por utilizar como Ambiente de Desenvolvimento Integrado o *Qt Creator* com a linguagem de programação C++, pelo fato de ser multiplataforma e possuir bibliotecas amigáveis e intuitivas que integram a interface ao algoritmo conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Interface gráfica do *HarmSimFlow*.



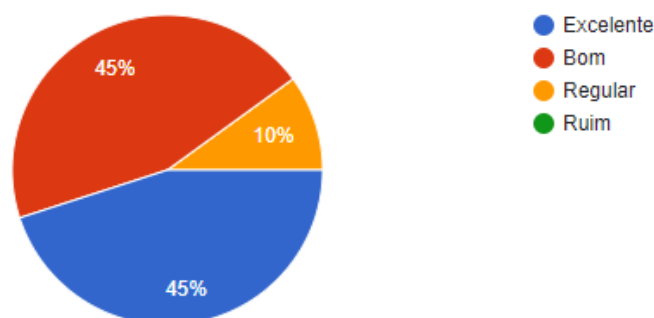
Fonte: AUTORES, 2019.

5 RESULTADOS

Utilizou-se a ferramenta de criação de questionários eletrônicos *Google Forms* para que os alunos de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (UFPA) pudessem avaliar o *HarmSimFlow* e suas funções disponíveis para aprendizagem de disciplinas do curso. Com base nas respostas dos alunos, apresenta-se agora a avaliação de desempenho didático do software. Em sua totalidade, 20 alunos responderam ao questionário.

O gráfico da Figura 3 mostra a avaliação dos alunos acerca da representação gráfica da interface do *HarmSimFlow*. Nota-se que, de modo geral, todos os alunos avaliaram um desempenho satisfatório.

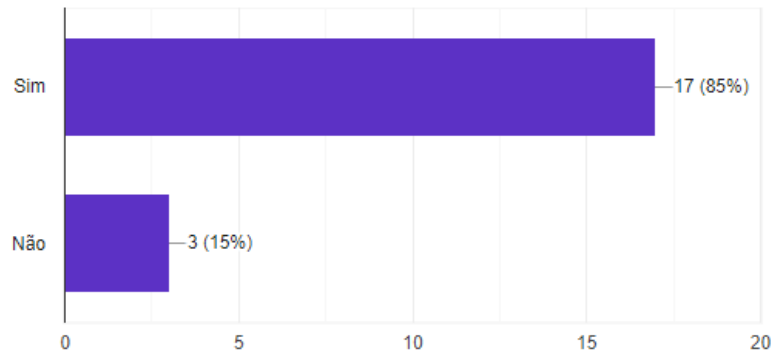
Figura 3 – Avaliação da interface gráfica.



Fonte: AUTORES, 2019.

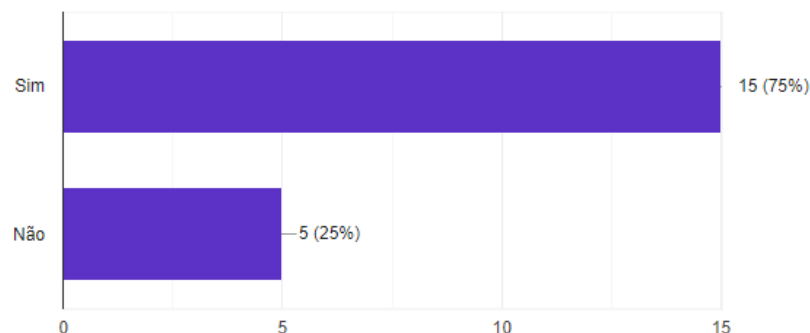
Continuando a avaliação, perguntou-se aos alunos a sobre a facilidade gerada pelo *HarmSimFlow* acerca do seu uso para a compreensão do fluxo de carga e se os resultados gerados através da interface gráfica são de fácil acesso e compreensão, os resultados são mostrados na Figura 4 e Figura 5, respectivamente.

Figura 4 – Avaliação da compreensão do fluxo de carga.



Fonte: AUTORES, 2019.

Figura 5 – Avaliação da facilidade de acesso e compreensão dos resultados gerados.



Fonte: AUTORES, 2019.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atuação de harmônicos na rede de distribuição infere maiores perdas e conseqüentemente prejuízos financeiros e materiais, por esta razão softwares são utilizados para a análise de redes de distribuição, porém são de difícil acesso devido ao seu alto custo. O *HarmSimFlow* propõe uma análise do sistema de forma acadêmica, garantindo um melhor entendimento dos equipamentos de distribuição e do sistema como um todo.

A interface gráfica mostrou-se interativa e de fácil acesso para a compreensão do discente, contribuindo para o aprendizado do conteúdo. Dessa forma, o *HarmSimFlow* serve de auxílio aos discentes do curso de Engenharia Elétrica, facilitando a compreensão do assunto.

7 REFERÊNCIAS

CARVALHO, Carminda Célia Moura de Moura. **Filtragem Harmônica E Compensação De Reativos Em Redes De Distribuição De Energia Elétrica Utilizando Algoritmos Genéticos**. 2006. 206 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém 2006, 202p.

LEÃO, R. P. S.; SAMPAIO, R. F.; ANTUNES, F. L. M.. **Harmônicos em Sistema Elétrico**, 2014. 1ª Edição, Editora Elsevier Trade/Profissional.

MONTICELLI, Alcir José. **Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

TOSTES, Maria Emília de Lima. **Avaliação dos Impactos Causados pela Geração de Harmônicos na Rede de Distribuição em Consumidores em Baixa Tensão**. 2003. 184 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.

Qt Creator. Disponível em: <https://www.qt.io/>. Acesso em: 09 jan. 2019.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR LEARNING AID AND ANALYSIS OF HARMONICS IN LOAD FLOW

Abstract: *This work aims to explain the operation of HarmSimFlow, a software developed for calculating and analyzing the harmonic load flow in an electric power system. Developed in the C++ language, the software aggregates the knowledge obtained in Electrical Engineering course, based on disciplines such as Analysis of Energy Systems and Electric Power Systems. The presence of harmonics is an indicator of the distortion of the waveform of the voltage and current, which may cause equipment malfunction. The simulation allows the understanding of the effect caused by the harmonics in the distribution grids. The graphical interface of the software was created to facilitate the intuitive interaction between the user and the computational system, and, therefore, the understanding of the subject. The calculation method used is the sum of currents associated with the assembly of the nodal admittance matrix for each harmonic frequency. During the development of HarmSimFlow graphical interface, an evaluative research was conducted with course students about the applicability of software as a learning alternative in the academic environment.*

Key-words: *Load Flow. Harmonics. Distribution Networks. Software.*