

# DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DIDÁTICO COM INTERFACE GRÁFICA PARA CÁLCULO DE FLUXO DE POTÊNCIA

**Andréa Lúcia Costa** – andreacosta@utfpr.edu.br  
**Marcos Vinicius Zanetti Marochi** – marcosmarochi@gmail.com  
**Agno Antonio Camargo Bueno** – agnocb@gmail.com  
**Luis Francisco Tavares** – tavares\_lft@yahoo.com.br  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Av. Sete de Setembro, 3165  
80230-901 – Curitiba - Paraná

***Resumo:** Este artigo descreve o desenvolvimento de um programa computacional de cálculo de fluxo de potência. O programa foi desenvolvido por alunos da UTFPR como trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica, ênfase Eletrotécnica. A proposta desse trabalho foi elaborar um software didático com uma interface gráfica amigável ao usuário, possível de ser utilizado com facilidade por alunos que ainda estão aprendendo os conceitos aplicados aos problemas de fluxo de potência. O programa apresentado utiliza o método iterativo de Newton-Raphson para a solução das equações de fluxo de carga com bons resultados de convergência. Além disso, esse software foi desenvolvido em uma plataforma de programação de licença pública geral, o que possibilita a sua distribuição para os alunos e sua utilização sem a necessidade de obtenção de licenças ou custos adicionais.*

***Palavras-chave:** Software, Fluxo de potência, Interface gráfica, Método de Newton-Raphson.*

## 1. INTRODUÇÃO

A disciplina de sistemas elétricos de potência é uma das mais importantes na formação dos engenheiros eletricitistas com ênfase em eletrotécnica. Nessa disciplina são vistos os principais conceitos aplicados ao estudo da rede elétrica e seus componentes, análise dos problemas de curto circuito, estabilidade de máquinas e operação do sistema elétrico. Para tanto, um dos tópicos abordados é o cálculo do fluxo de potência.

Problemas de fluxo de potência envolvem um conjunto de equações não-lineares que necessitam de processos iterativos para a sua solução. Por isso é comum o uso de programas computacionais para o cálculo do fluxo de potência. Várias ferramentas computacionais foram desenvolvidas, usando diferentes plataformas. Algumas, como o programa ANAREDE (2013), desenvolvido pelo CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, são utilizadas nas concessionárias de energia elétrica e empresas do setor, mas também podem ser usadas no ambiente acadêmico. O Anarede, porém, tem o seu uso limitado como ferramenta didática,

pois a entrada dos dados do sistema a ser estudado é feita através de arquivos de dados, que se apresentam repletos de detalhes complicados para os alunos iniciantes no assunto. Além disso, é um software proprietário que requer uma licença para ser utilizado em sala de aula, e não pode ser instalado nos computadores pessoais dos alunos, dificultando o estudo dos problemas de fluxo de potência.

Outras ferramentas computacionais, disponibilizadas de forma gratuita na internet em sua versão acadêmica, geralmente possuem limite em relação ao tamanho da rede elétrica. O POWERWORLD (2013) é uma delas, cuja versão pode ser obtida para simulação de sistemas de até 12 barras.

Por vezes, alunos e professores desenvolvem suas próprias rotinas de programação para possibilitar o estudo dos sistemas elétricos de potência. No campus Curitiba da UTFPR, durante os anos de 2008 a 2010, foi utilizado o programa computacional Simulador de Fluxo de Potência (SFP), que havia sido desenvolvido em 2002 pelos alunos (ZOCOLOTTI *et al.*, 2002). Este programa, desenvolvido em Visual Basic, apresenta uma interface gráfica que auxiliava os alunos na compreensão de conceitos de sistemas de potência, tais como modelagem de linhas de transmissão, transformadores e tipos de barras no equacionamento do fluxo de carga. O método iterativo utilizado é o Gauss-Seidel e os alunos podiam comparar os cálculos desenvolvidos com os resultados do programa.

Porém o programa SFP tornou de difícil utilização pelos alunos devido à sua plataforma antiga, que não é aceita pelos sistemas operacionais atuais. Por isso, os autores deste trabalho sugeriram o desenvolvimento de um novo software com interface gráfica para cálculo do fluxo de potência (BUENO *et al.*, 2012). Este programa foi denominado de Simpot - Simulação de Fluxo de Potência pelo método Newton-Raphson.

O método de Newton-Raphson foi escolhido porque, embora seu equacionamento seja mais complexo do que o método de Gauss-Seidel, esse método iterativo melhora sucessivamente os valores das variáveis através de aproximações de primeira ordem das funções não lineares envolvidas no cálculo. Dessa forma, a taxa de convergência é quadrática, levando de três a cinco iterações para se obter a convergência, independentemente do tamanho da rede elétrica estudada (GÓMEZ-EXPÓSITO *et al.*, 2011). Outrossim, atualmente é o método mais utilizado em programas de cálculo de fluxo de potência.

Para o desenvolvimento do programa Simpot foi adotado a linguagem de programação Java. As razões para essa escolha foram o conhecimento prévio da linguagem, o fato de ser uma linguagem orientada a objetos, ampliando a quantidade de recursos de programação, ser distribuída com uma vasta coleção de bibliotecas, possuir sintaxe similar a linguagem C/C++ e principalmente porque o Java é de livre utilização sob os termos da licença pública geral (GPL), o que permitiria a distribuição gratuita do programa Simpot em sala de aula.

A criação de um programa computacional com interface gráfica para cálculo de fluxo de potência utilizando uma linguagem de programação de licença pública geral foi determinada pela carência de materiais didáticos gratuitos que auxiliem na demonstração e compreensão do assunto. Além disso, a idéia do trabalho foi desenvolver um software de fácil utilização para os alunos utilizando para esse fim a própria visão/compreensão dos alunos sobre os principais conceitos aplicados em fluxo de potência.

## **2. FLUXO DE POTÊNCIA PELO MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON**

A solução do fluxo de potência consiste na determinação das tensões complexas de todas as barras de uma rede elétrica e distribuição dos fluxos nas linhas de transmissão e algumas outras variáveis de interesse (MONTICELLI & GARCIA, 2003). O cálculo do fluxo de potência é modelado por um sistema de equações não-lineares, envolvendo funções como

seno e cosseno. As correntes nas linhas de transmissão e transformadores não são conhecidas, apenas as potências das cargas são pré-definidas, bem como as potências ativas geradas.

A modelagem do sistema é estática, considerando uma condição de regime permanente para a qual se podem ignorar os efeitos transitórios. Os transformadores, reatores e linhas de transmissão são modelados por seus circuitos equivalentes. Os geradores e as cargas são modelados como injeções de potência nas barras (positiva se geração, negativa se cargas).

A formulação básica para o cálculo de fluxo de potência considera as seguintes variáveis:

- $V_k$  : magnitude da tensão nodal (tensão na barra  $k$ );
- $\theta_k$  : ângulo da tensão nodal na barra  $k$ ;
- $P_k$  : injeção líquida (geração menos carga) de potência ativa;
- $Q_k$  : injeção líquida de potência reativa.

São geralmente definidos três tipos de barras:  $PQ$ , na qual são dados  $P_k$  e  $Q_k$ , e calculados  $V_k$  e  $\theta_k$ ;  $PV$ , na qual são dados  $P_k$  e  $V_k$ , e calculados  $Q_k$  e  $\theta_k$ ; e  $V\theta$ , na qual são dados  $V_k$  e  $\theta_k$ , e calculados  $P_k$  e  $Q_k$ . As barras do tipo  $PQ$  representam barras de carga,  $PV$  são barras de geração (com controle do módulo da tensão) e a barra  $V\theta$  representa um gerador que é tomado como barra de referência (ângulo zero), e tem as funções de fornecer referência angular ao sistema, e, após a solução final do sistema, fechar o balanço de potência, suprimindo as perdas na transmissão. Por isso também é chamada de barra de folga ou barra *swing*.

A defasagem entre os fasores de tensão de duas barras adjacentes,  $k$  e  $m$ ,  $\theta_{km} = (\theta_k - \theta_m)$  é conhecida como *abertura da linha de transmissão*. Sendo  $G_{km}$  a parte real de cada elemento  $Y_{km}$  da matriz de admitância de barras e  $B_{km}$  a parte imaginária de  $Y_{km}$ , as injeções de potência nas barras são calculadas através das seguintes equações:

$$P_k(V, \theta) = V_k \cdot \sum_{m=1}^n (G_{km} \cdot \cos \theta_{km} + B_{km} \text{sen} \theta_{km}) \cdot V_m \quad (1)$$

$$Q_k(V, \theta) = V_k \cdot \sum_{m=1}^n (G_{km} \cdot \text{sen} \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \cdot V_m \quad (2)$$

A solução do fluxo de potência consiste do conjunto de tensões complexas de todas as barras da rede elétrica, para as quais as potências das cargas e potências ativas geradas sejam iguais aos valores especificados para as barras. Ou seja, são os valores de  $V_k$  e  $\theta_k$  que satisfazem as equações descritas pelo subsistema  $S$ , que é dado por (MONTICELLI, 1983):

$$S = \begin{cases} \Delta P_k = P_k^{esp} - P_k(V, \theta) = 0 \rightarrow k \in (\text{barras } PQ \text{ e } PV) \\ \Delta Q_k = Q_k^{esp} - Q_k(V, \theta) = 0 \rightarrow k \in (\text{barras } PQ) \end{cases} \quad (3)$$

no qual  $P_k^{esp}$  e  $Q_k^{esp}$  são os respectivos valores das injeções de potência ativa e reativa especificados para as barras. Os valores  $P_k(V, \theta)$  e  $Q_k(V, \theta)$  são calculados através das equações (1) e (2) das potências nodais.  $\Delta P_k$  e  $\Delta Q_k$  são chamados de *mismatches* (resíduos) de potência ativa e reativa, respectivamente. O ponto central da resolução do subsistema  $S$  consiste em determinar o vetor de correções  $\Delta x$  (sendo que  $x$  é o vetor das variáveis  $V$  e  $\theta$ ). A solução genérica pelo método de Newton-Raphson é dada por:

$$g(x^i) = -J(x^i)\Delta x^i \rightarrow \Delta x^i = [J(x^i)]^{-1} g(x^i) \quad (4)$$

Assim, tem-se:

$$\Delta x^i = \begin{bmatrix} \Delta \theta^i \\ \Delta V^i \end{bmatrix} \begin{cases} NPV + NPQ \\ NPQ \end{cases} \quad (5)$$

$$g(x^i) = \begin{bmatrix} \Delta P^i \\ \Delta Q^i \end{bmatrix} \begin{cases} NPV + NPQ \\ NPQ \end{cases} \quad (6)$$

no qual  $NPV$  e  $NPQ$  referem-se ao número de equações das barras do tipo  $PV$  e  $PQ$  respectivamente. Considerando as expressões dos vetores  $\Delta P_k$  e  $\Delta Q_k$ , em que  $P_k^{esp}$  e  $Q_k^{esp}$  são constantes, a matriz Jacobiana pode ser escrita da seguinte maneira:

$$J(x^i) = \begin{bmatrix} -\frac{\partial P(V, \theta)}{\partial \theta} & -\frac{\partial P(V, \theta)}{\partial V} \\ -\frac{\partial Q(V, \theta)}{\partial \theta} & -\frac{\partial Q(V, \theta)}{\partial V} \end{bmatrix}^{(i)} \quad (7)$$

sendo que as submatrizes são representadas por:

$$\begin{aligned} H &= \frac{\partial P(V, \theta)}{\partial \theta} & N &= \frac{\partial P(V, \theta)}{\partial V} \\ M &= \frac{\partial Q(V, \theta)}{\partial \theta} & L &= \frac{\partial Q(V, \theta)}{\partial V} \end{aligned} \quad (8)$$

A equação que define a aplicação do método de Newton-Raphson ao fluxo de potência será:

$$\begin{bmatrix} \Delta P^i \\ \Delta Q^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta^i \\ \Delta V^i \end{bmatrix} \quad (9)$$

Os passos a serem executados para solução do fluxo de potência pelo método de Newton-Raphson são os seguintes:

1. Fazer  $i = 0$ , escolher os valores iniciais dos ângulos das tensões das barras  $PQ$  e  $PV$  e os módulos das tensões das barras  $PQ$ ;
2. Calcular  $P_k(V^i, \theta^i)$  para as barras  $PQ$  e  $PV$ , calcular  $Q_k(V^i, \theta^i)$  para as barras  $PQ$  e determinar o vetor dos *mismatches*  $\Delta P_k^i$  e  $\Delta Q_k^i$ ;
3. Testar a convergência. Se todos os *mismatches* forem menores do que uma dada tolerância, o processo se encerra.

$$\max_{k \in (PQ+PV)} \{ |\Delta P_k^i| \} \leq \varepsilon_p \quad (10)$$

$$\max_{k \in (PQ+PV)} \{ |\Delta Q_k^i| \} \leq \varepsilon_q \quad (11)$$

Se as condições acima são verdadeiras, o processo convergiu para a solução  $(V^i, \theta^i)$ . Caso contrário, continuar;

4. Montar e fatorar a matriz Jacobiana;
5. Determinar a nova solução:

$$\begin{cases} \theta^{i+1} = \theta^i + \Delta \theta^i \\ V^{i+1} = V^i + \Delta V^i \end{cases}$$

sendo que  $\Delta V^i$  e  $\Delta \theta^i$  são obtidos com a solução do seguinte sistema linear:

$$\begin{bmatrix} \Delta P(V^i, \theta^i) \\ \Delta Q(V^i, \theta^i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H(V^i, \theta^i) & N(V^i, \theta^i) \\ M(V^i, \theta^i) & L(V^i, \theta^i) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta^i \\ \Delta V^i \end{bmatrix} \quad (12)$$

6. Fazer  $i = i + 1$  e voltar para o passo 2.

### 3. PROGRAMA COMPUTACIONAL SIMPOT

A estrutura do programa Simpot foi baseada nos conceitos de pacotes, classes, métodos e atributos. Uma classe é um tipo definido pelo programador que contém o molde, ou seja, a especificação para os objetos. Com a classe é possível associar funções e dados, controlando o acesso a estes. A definição da classe implica em especificar seus atributos e seus métodos. Os métodos são as funções de uma classe e os atributos são as características de uma classe. Um pacote de classes da linguagem de programação Java é uma coleção de classes semelhantes e possivelmente cooperantes (DEITEL e DEITEL, 2003). No Simpot o conceito de pacotes foi utilizado para organizar a estrutura do programa. O Simpot também utiliza classes de pacotes públicos.

O Simpot foi estruturado em cinco pacotes, são eles: *Controller* no qual são realizados os cálculos do método numérico; *DAO* (*Data Access Object*), no qual são realizadas comunicações com arquivos externos; *Main* é a classe principal; *Model* recebe todas as classes dos componentes do circuito de potência e *View* armazena as classes de interface com o usuário, tais como menus e barras de informação. A Figura 1 exibe a estrutura das classes e pacotes supracitados.

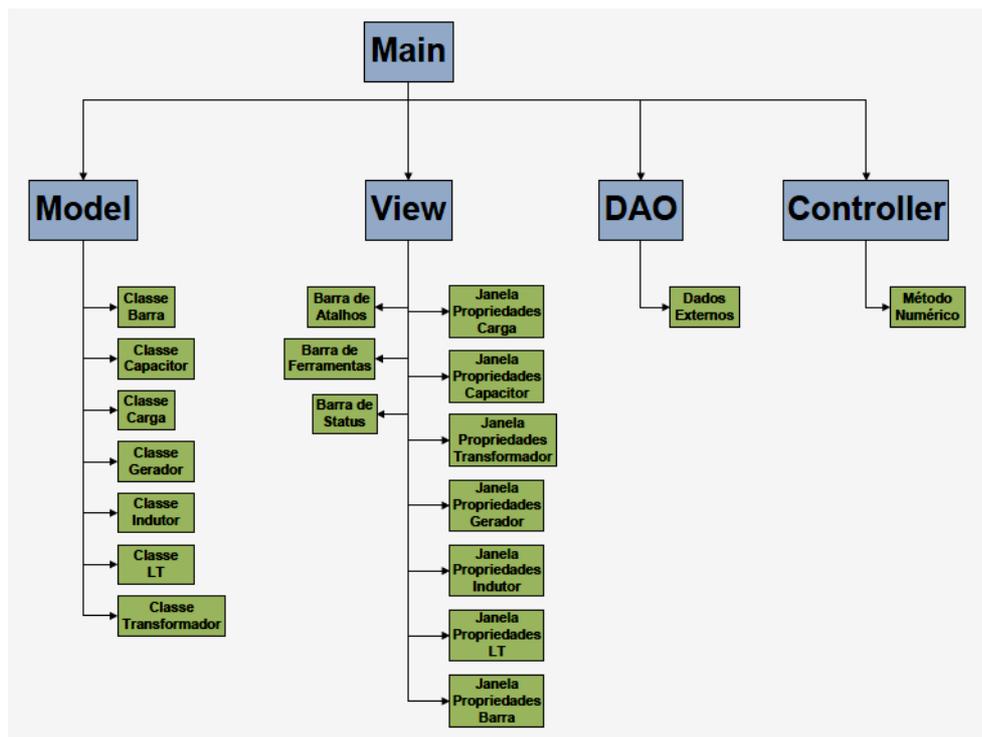


Figura 1 - Estrutura das classes e pacotes do programa Simpot.

#### 3.1. Entrada de dados do programa Simpot

Ao iniciar a execução do programa Simpot, é aberta a sua tela principal, conforme mostra a Figura 2. Nessa tela estão disponibilizadas as opções de comando e menus necessários para simular um sistema elétrico de potência, por meio do cálculo das variáveis de tensão nas barras para uma determinada condição de operação.

Os valores dos parâmetros da rede estudada devem ser inseridos em valores por unidade (p.u.), de forma que os valores das impedâncias/suceptâncias de todos os elementos do circuito devem ser previamente calculados em valores p.u., considerando uma base comum de potência e bases adequadas de tensão. Esse procedimento é comum em softwares para cálculo do fluxo de potência, sendo por isso também adotado no Simpot.

A tela principal está dividida em barra de menus, barra de atalhos e área de trabalho, sendo essa última a área na qual o usuário/aluno pode desenhar o circuito elétrico para o qual deseja efetuar o cálculo do fluxo de potência. É possível alterar a aparência da área de trabalho, inserindo um *grid* na tela branca, ou mudando a sua cor de fundo.

Os principais componentes de um sistema elétrico de potência podem ser editados usando o menu Componentes da barra de menus: gerador, transformador, barras, indutor, capacitor, carga e linha de transmissão. Cada um destes sub-menus possui um atalho na barra de atalhos, ao clicar nesses, abrirá uma janela com as propriedades do componente.

Quando se aciona algum sub-menu ou ícone relacionado ao menu Componentes, abre uma tela de opções para cada componente selecionado. Por se tratar de um programa computacional didático, essas telas são simples e instrutivas, pedindo a entrada dos principais parâmetros de cada componente. Dessa forma, facilita-se a execução da simulação do sistema elétrico pela exclusão de parâmetros desnecessários nessa etapa do estudo e que poderiam confundir o aluno ou gerar resultados errôneos se mal configurados.



Figura 2 - Tela principal do programa Simpot.

A Figura 3 mostra a janela de opções para definir uma barra do circuito de potência. É opcional ao aluno escolher um nome para a barra, mas ele deve entender os conceitos que definem o tipo de barra, como descrito na Seção 2, antes de inserir a barra na tela gráfica.

Figura 3 - Sub-menu Propriedades da Barra.

A Figura 4 apresenta as entradas de dados para os componentes linha de transmissão e transformador no programa Simpot.

Figura 4- Janelas dos sub-menus Linha de Transmissão e Transformador.

Os geradores e cargas foram considerados como injeções de potência no sistema elétrico, de modo que não são considerados os valores da impedância interna dos geradores ou impedância das cargas. A Figura 5 mostra as janelas de entrada de dados para geradores e cargas da rede.

O gerador conectado a uma barra *PV* deve ter necessariamente os valores da potência ativa gerada e módulo da tensão diferentes de zero. No caso do gerador conectado a barra de referência (barra *Vθ*) apenas o valor do módulo da tensão deve ser diferente de zero, pois não é necessário entrar com o valor da potência ativa, que será calculada ao final do processo iterativo.

Após inserir o gerador, o usuário/aluno pode fazer a conexão com a barra *PV* ou *Vθ*. No caso de uma entrada de dados errada (diferente do exposto acima), o programa não permite a conexão e avisa ao usuário que ocorreu um erro.

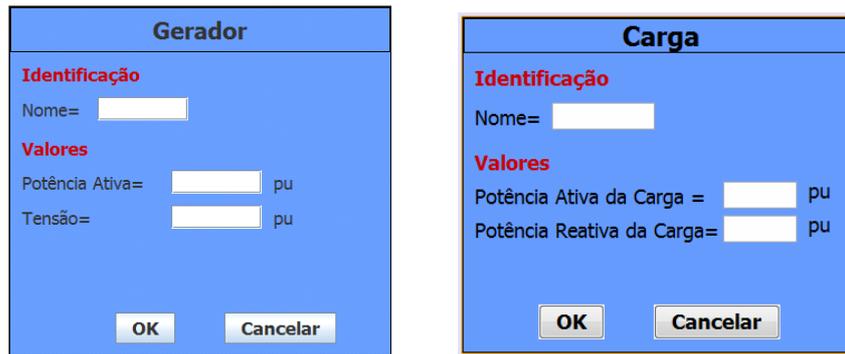


Figura 5 - Sub-menus Gerador e Carga do programa Simpot.

Além do menu Componentes, a barra de menus apresenta os menus: Arquivo, Editar, Legenda, Ações, Relatórios e Ajuda. Por meio desses menus o aluno pode criar novas configurações de circuitos ou abrir uma já existente, salvar e imprimir o circuito analisado, calcular o fluxo de potência, abrir ou imprimir o relatório ou a tela gráfica com os resultados.

### 3.2. Resultados apresentados pelo programa *Simpot*

Após inserir o sistema a ser estudado na tela gráfica, o cálculo do fluxo de potência é realizado com o acionamento do botão Calcular (destacado na Figura 6) ou o menu Ações, no qual aparece a opção Calcular. Ao acionar o botão Calcular é solicitado ao aluno/usuário duas informações: a primeira é o valor das tolerâncias máximas para o critério de convergência ( $\epsilon_P$  e  $\epsilon_Q$  considerados iguais) e a segunda é o número máximo de iterações, como mostra também a Figura 6, para os casos em que a convergência não seja verificada.

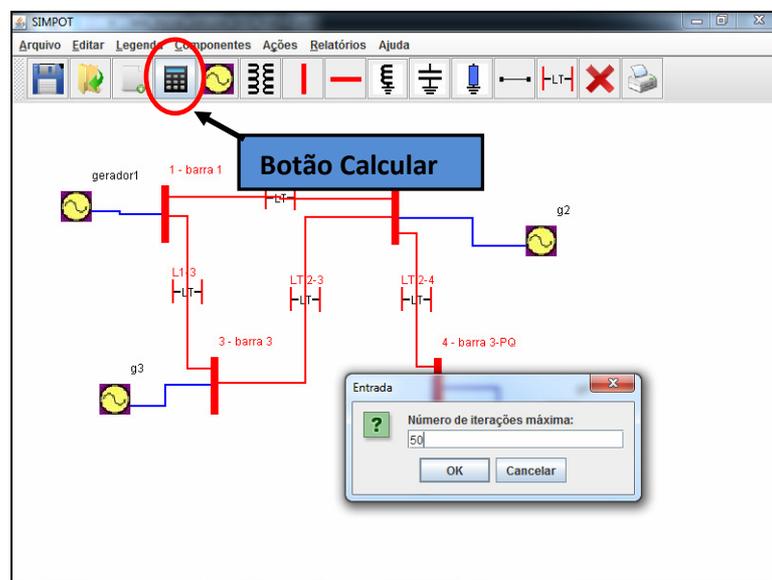


Figura 6 - Indicação do botão Calcular no Programa Simpot.

Os resultados do cálculo do fluxo de potência são apresentados de duas maneiras: por meio de um relatório gerado automaticamente em formato de um arquivo PDF e também na tela gráfica, na qual são mostrados os valores dos módulos e ângulos das tensões em cada

barra e também os valores das injeções de potência líquida em cada barra. Um exemplo de tela com resultados é mostrado na Figura 7.

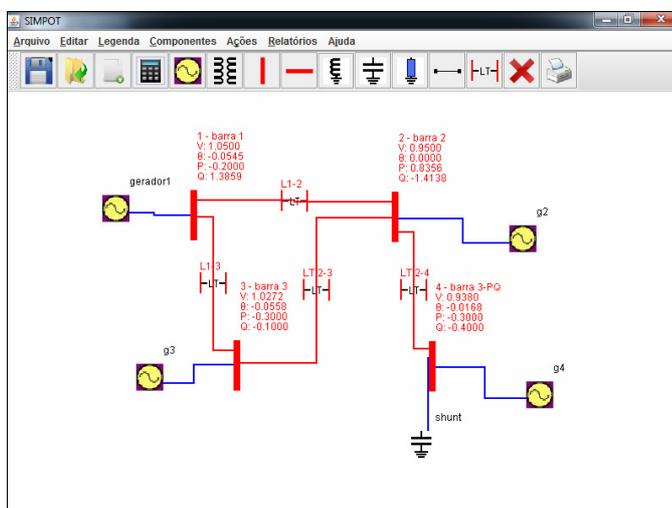


Figura 7 – Tela gráfica com resultados indicados.

No relatório gerado pelo Simpot é possível verificar os dados de entrada dos componentes, os resultados dos cálculos em cada iteração e os resultados finais. Os dados de entrada são apresentados nas tabelas de dados das barras e dados das linhas e o relatório também imprime a matriz de admitância das barras. Cada iteração do método de Newton-Raphson pode ser conferida no relatório, pois este também apresenta os *mismatches* de potências em cada iteração, matriz Jacobiana de cada iteração, deltas de módulos e ângulos das tensões. Após obter a convergência, o relatório mostra o maior erro obtido, os resultados finais dos módulos e ângulos das tensões, as injeções de potência nas barras e os fluxos nas linhas. A Figura 8 mostra duas tabelas do relatório de saída.

Desta forma, além de facilitar o estudo do fluxo de potência por meio das simulações de circuitos elétricos, o programa proposto possibilita estudar o método Newton-Raphson observando os cálculos de cada iteração.

Módulo e Ângulo das Tensões nas Barras						
Iteração atual: 10				Maior Erro: 4.239631452679701E-8		
Barra	Tipo Barra	V (pu)	Teta (graus)	P (pu)	Q (pu)	b (pu)
1.0000	3.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2.0000	1.0000	1.0028	-2.6599	0.0000	0.0000	0.0000
3.0000	1.0000	1.0295	-10.0002	-0.8000	-0.6000	0.8000
4.0000	1.0000	1.0055	-5.9782	-0.2000	-0.0800	0.0000
5.0000	1.0000	0.9926	-3.9422	-0.3000	-0.1200	0.0000
6.0000	2.0000	1.0000	-2.1184	0.4000	0.0000	0.0000

Potências nas Barras		
Barra	P (pu)	Q (pu)
1.0000	0.9134	-0.1445
2.0000	0.0000	-0.0000
3.0000	-0.8000	-0.6000
4.0000	-0.2000	-0.0800
5.0000	-0.3000	-0.1200
6.0000	0.4000	0.0682

Figura 8 – Tabelas do relatório de resultados.

### 3.3. Comprovação dos resultados

Durante a programação do Simpot com sua interface gráfica e rotina de cálculo, foram realizadas simulações com o objetivo de comprovar a operação correta do algoritmo de solução pelo método de Newton-Raphson, bem como garantir a eficácia e facilidade de utilização do programa em relação às suas telas gráficas.

Os resultados obtidos foram comparados com simulações dos mesmos sistemas utilizando o programa Anarede e também com os cálculos de fluxo de potência realizados pelos autores. Como o Anarede também utiliza o método iterativo de Newton-Raphson, esperava-se que os resultados obtidos em ambos os programas fossem bem próximos. Essa hipótese foi comprovada, pois os resultados obtidos com o programa desenvolvido foram quase todos idênticos aos resultados obtidos nas simulações com o Anarede. As diferenças, em valores absolutos, foram menores do que 0,05 para os ângulos das tensões (em graus) e menores do que 0,005 para os valores das magnitudes das tensões nas barras, possivelmente ocasionadas pelas diferenças nas plataformas de programação ou leitura de dados.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho descreve o desenvolvimento do programa computacional Simpot para cálculo de fluxo de potência. O programa apresenta uma interface gráfica para a entrada de dados que é simples e intuitiva, sendo adequada para alunos que estão aprendendo os conceitos relacionados a sistemas elétricos de potência. Os resultados do fluxo de potência podem ser visualizados diretamente na tela gráfica ou em um relatório com todos os detalhes das iterações realizadas, facilitando a análise dos mesmos.

O programa Simpot foi desenvolvido por alunos de graduação com o objetivo de criar uma ferramenta didática e acessível a todos os alunos, que pudesse ser usada nas salas de aula ou em computadores pessoais, como apoio aos estudos sobre fluxo de potência.

Para alcançar esse objetivo foi necessário escolher uma linguagem de programação e ferramentas de desenvolvimento de licença pública geral. Optou-se pela linguagem de programação Java e pelas ferramentas de desenvolvimento de software *NetBeans* e *Eclipse*, que são as principais ferramentas de licença pública geral para esta linguagem. A grande vantagem destas escolhas está relacionada à minimização das dificuldades encontradas na construção do programa Simpot, já que as ferramentas de desenvolvimento de licença pública geral dispõem de uma boa quantidade de bibliografias e de grande quantidade de códigos abertos em depositórios eletrônicos.

O desenvolvimento desse programa computacional foi marcado pelas dificuldades na utilização das ferramentas de desenvolvimento e de como estruturar o software. Uma vez que os conteúdos de programação dos cursos de Engenharia Elétrica não são abordados em profundidade (pois não é o foco do curso), foi necessário interromper o desenvolvimento do programa várias vezes para o estudo da linguagem de programação Java e de suas ferramentas. Além das dificuldades relacionadas à linguagem de programação, algumas etapas mais complicadas, que valem ser citadas, foram relacionadas ao método de Newton-Raphson, a resolução de matrizes esparsas, a resolução das matrizes Jacobianas, o desenvolvimento da interface gráfica do Simpot, o tratamento com números complexos na linguagem Java, a resolução de matrizes esparsas na linguagem Java e a disponibilização do relatório final de cálculo em forma de arquivo.

Porém vale dizer que essas dificuldades proporcionaram aos autores um grande aprendizado, tanto em relação ao conhecimento inerente ao trabalho, como também

relacionado ao contato com pessoas em busca de informações, e tudo isso se traduziu em grande motivação.

O principal objetivo do desenvolvimento desse programa computacional foi alcançado. No primeiro semestre deste ano, o Simpot foi disponibilizado aos alunos e utilizado em seus trabalhos, complementando o estudo de sistemas elétricos de potência operando em regime permanente. O software permitiu aos alunos comprovar os cálculos de fluxo de potência, conferindo seus resultados com os resultados apresentados pelo programa, além de facilitar a simulação dos sistemas elétricos considerando diferentes cenários e hipóteses.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem à Fundação Araucária e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio financeiro recebido para viabilizar a participação nesse Congresso.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANAREDE: **Programa Anarede - Versão Universitária**. Brasil: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em <<http://programas-anarede-versao-universitaria.software.informer.com/>> Acesso em 05 jun. 2013.

BUENO, Agno A. C., TAVARES, Luis F., MAROCHI, Marcos V. Z. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Desenvolvimento de software com interface gráfica para cálculo de fluxo de potência, 2012. 176p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Curso de Engenharia Industrial Elétrica.

DEITEL, Paul; DEITEL, Harvey. Java como programar. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

GÓMEZ-EXPÓSITO, Antonio; CONEJO, Antonio J.; CANIZARES, Claudio. Sistemas de Energia Elétrica – Análise e operação. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011. 554 p.

MONTICELLI, Alcir José. Fluxo de carga em redes de energia elétrica. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 166 p.

MONTICELLI, Alcir J.; GARCIA, Ariovaldo. Introdução a sistemas de energia elétrica. Campinas, SP: UNICAMP, 2003. 251 p.

POWERWORLD. **Solutions for Faculty**. Disponível em: <<http://www.powerworld.com/solutions/faculty>> Acesso em: 05 jun. 2013.

ZOCOLOTTI, Daniela *et al.*, CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARANÁ, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Desenvolvimento de software didático para cálculo de fluxo de potência, 2002. 191p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Curso de Engenharia Industrial Elétrica.

## **SOFTWARE DEVELOPMENT WITH GRAPHICAL USER INTERFACE FOR POWER FLOW CALCULATION**

**Abstract:** *This paper describes the development of a computational program for power flow calculation. The program was developed by undergraduate students of the UTFPR as a completion work for the Electrical Engineering Course, emphasis on Electrotechnical. The proposal of this work was to elaborate didactic software with a user-friendly graphical interface, enabling the easy use by students that are still learning the concepts applied to the problems of load flow. The introduced software uses the Newton-Raphson iterative method, which presents good convergence results. Furthermore, this software was developed using a General Public License programming platform, what enables its distribution and use by students without the necessity of licenses or additional costs.*

**Key-words:** *Software, Power flow calculation, Graphical interface, Newton-Raphson method.*