

Desenvolvimento de um Simulador da Linha Norte-Sul para Testes de Controladores em TCSC Usando Técnicas Adaptativas

J. A. S. Sena, UFPA; B. M. Campos, UFPA; M. C. P. Fonseca, UFPA; W. Barra Jr., UFPA; J.A.L Barreiros(UFPA); C. T. da Costa. Jr.(UFPA), I. P. Simões, UFPA e W. Charone Jr., Eletronorte

Resumo - Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um programa simulador multimáquinas para a realização de testes de simulação em controladores de TCSC. O objetivo é avaliar o desempenho de técnicas de controle adaptativo na melhoria da estabilidade dinâmica da interligação Norte-Sul, através da ampliação do amortecimento das oscilações interáreas do sistema interligado brasileiro. O desenvolvimento do software simulador foi feito com base nas mais recentes técnicas de engenharia de software, incluindo projeto orientado a objetos e modelagem UML.

Palavras-chave — Simulador Dinâmico, FACTS TCSC, Engenharia de Software, Modelagem Dinâmica, Sistemas Elétricos de Potencia.

I. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta o projeto e o desenvolvimento de um simulador dinâmico de sistemas elétricos de potência para testes de estabilidade dinâmica. O sistema desenvolvido é bastante flexível, permitindo a análise de desempenho de controladores sob diversos cenários, tendo sido desenvolvido de acordo com as mais recentes técnicas de engenharia de software.

Vários trabalhos têm sido publicados sobre estratégias de programação orientada a objetos (OOP) [2], no desenvolvimento de softwares para sistemas elétricos de potência, visando tornar mais flexível o desenvolvimento e a atualização de programas de simulação e análise de sistemas de grande porte. Este trabalho, além do simulador, apresenta também uma Framework para o desenvolvimento de softwares para simulação dinâmica, o que está baseado no conceito em engenharia de software chamado de “Padrões de Projeto”. Uma Framework, neste caso, pode ser definida como sendo um conjunto harmônico de classes, rotinas, tipos de dados e regras de codificação para uma aplicação específica. A linguagem de programação escolhida foi a C++, por ser uma linguagem portátil para a maioria dos sistemas operacionais. A vantagem desse enfoque é tornar as mudanças nas especificações dos programas de simulação, como parte de seus requisitos, permitindo adaptar mais facilmente grandes sistemas de software.

II. A FRAMEWORK DESENVOLVIDA

A. Apresentação

Um padrão de projeto é baseado nas melhores práticas desenvolvidas por projetistas e usuários nos últimos anos. Como resultado deste estudo, foi desenvolvida uma Framework para a implementação de simuladores para sistemas dinâmicos de grande porte. É apresentado, neste artigo, a aplicação da estratégia desenvolvida na implementação e teste de um sistema elétrico de potência do tipo multimáquinas.

B. O problema dos requisitos

Na fase de planejamento de um sistema de software, um desenvolvedor necessita obter o máximo de informações sobre os requisitos do software a ser desenvolvido. De acordo com [3], ao se perguntar a um desenvolvedor sobre o que o mesmo acha a respeito das informações sobre os requisitos obtidos do usuário, provavelmente ele dirá que:

- Os requisitos podem estar incompletos e insatisfatoriamente definidos.
- As informações fornecidas pelos usuários podem não ser confiáveis o suficiente para uso no projeto e implementação.

A razão para isso é que os requisitos, na verdade, não são fixos. Na verdade, os requisitos podem mudar substancialmente tanto ao longo da vida útil do sistema quanto durante o próprio desenvolvimento de sua primeira versão.

Embora muitos desenvolvedores possam estar cientes deste fato, até bem pouco tempo, eram poucos os que realmente levavam em conta estes fatores ao projetarem e implementarem as suas aplicações.

Considerando-se o objeto de estudo deste trabalho, que foi o desenvolvimento de um simulador dinâmico para sistemas elétricos de grande porte. Um sistema dessa natureza pode ser considerado como sendo um claro exemplo de software no qual os requisitos certamente irão variar ao longo do tempo. Novos tipos de controladores digitais e cargas dinâmicas têm sido frequentemente introduzidos no sistema interligado, modificando sua configuração. Então como representar estas frequentes mudanças em um software que não foi inicialmente projetado para suportar este fato? Nor-

malmente, este tipo de software pode ser constituído por milhões de linhas de código, as quais não poderiam ser facilmente atualizadas em um intervalo de tempo adequado. Talvez estes requisitos devam incluir ainda as possíveis mudanças nas características e funcionalidades do software, no decorrer de sua existência.

A seguir são apresentados alguns prováveis requisitos para um software destinado a simulação dinâmica de sistemas elétricos de potência:

- O usuário deverá fornecer informações sobre as barras existentes no sistema. Deverá informar um nome, um identificador e algumas informações referentes às potências, tensões e fases.
- O usuário deverá fornecer dados que informem a topologia da rede elétrica (como as diversas barras estão conectadas). Para este requisito pode-se supor que o usuário possa fornecer estas informações através de um editor de diagramas unifilares, o que aumentaria a complexidade do software e, talvez, tornaria a entrada de dados pelo usuário mais demorado. Outra possibilidade é à entrada das informações de forma textual, o que simplificaria o software e, talvez, tornasse mais rápida a entrada de dados pelo usuário.
- Apesar de existir um repertório de dispositivos elétricos predefinidos no software, constantemente dispositivos com novas características têm surgido, o que torna o repertório rapidamente desatualizado no decorrer do tempo. Portanto, deverá ser fornecida ao usuário a possibilidade de definir os seus próprios modelos de dispositivos. O usuário poderá ainda montar o modelo do dispositivo através de blocos básicos (funções de transferência, limitadores, integradores, etc.) ou através de equações que descrevem a dinâmica do dispositivo.
- O usuário poderá ainda obter vários relatórios referentes aos fluxos de carga, gráficos com as curvas de diversas variáveis, etc. No entanto, pode surgir a necessidade de novos tipos de análises, sendo necessário disponibilizar o maior número de resultados possíveis.

C. Arquitetura do simulador

O simulador é estruturado como ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Estrutura simplificada de um simulador dinâmico.

A estrutura do simulador apresentado através da Figura 1, possui interface gráfica do usuário (GUI) e um "motor" de

simulação separados, isto aumenta a portabilidade do programa [1]. Na mesma figura, pode-se verificar que existem dois pacotes de rotinas computacionais.

- **GUI.** Pacote com rotinas para interação com o usuário.
- **Simulador.** Este pacote é constituído pelas rotinas de simulação. Existem várias rotinas para integração numérica, esparsidade, gerenciamento de memória, etc.

Fazendo o interfaceamento entre os pacotes, existe a classe de interface **DadosGUI**. Esta classe fornece uma convenção de comunicação entre os dois pacotes. Desta forma, caso seja desenvolvida uma nova versão do pacote de simulação ele pode ser colocado no lugar da versão anterior sem a necessidade de alteração no outro pacote.

O pacote *Simulador* é composto por vários outros pacotes. Na Figura 2 é apresentado a estrutura interna do pacote *Simulador*.

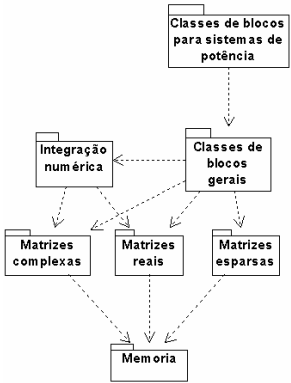


Figura 2 - Estrutura interna do pacote *Simulador*.

Na Figura 2, pode-se verificar que existem vários termos que fazem parte do vocabulário do problema. Na Tabela 1, são apresentados estes termos e o seu significado.

TABELA 1 - ALGUNS TERMOS DO DOMÍNIO DO PROBLEMA.

Termo	Significado
Blocos	Classe OOP que representa a dinâmica de um dispositivo físico.
Matriz complexa	Classe OOP que representa uma matriz cheia de números complexos
Matriz real	Classe que representa uma matriz cheia de números reais
Matriz esparsa	Classe que representa uma matriz esparsa.

Na Figura 3 é apresentada uma representação em UML das principais classes modeladas.

A classe *TBloco* representa um dispositivo dinâmico genérico, cujo comportamento é descrito por um conjunto de equações diferenciais lineares e não lineares. Os demais dispositivos existentes nos sistemas elétricos de potência são classes derivadas de *TBloco*. A classe *TBloco* e suas classes derivadas constituem as abstrações da modelagem realizada.

A classe *TSistema* representa o sistema físico como um todo, um sistema agrega um ou muitos blocos. Para criar uma instância de uma classe derivada de *TSistema*, deve-se

passar ao método construtor da classe o número máximo de blocos que serão inseridos no sistema. A classe *TSistema* representa a classe de implementação.

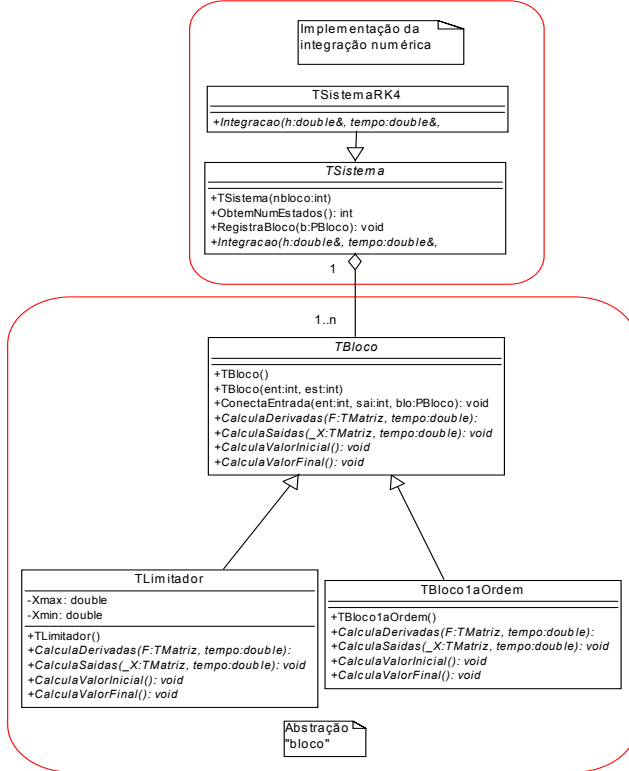


Figura 3 - Diagrama de classes com a separação entre abstração e implementação.

Deve-se reforçar que a abordagem apresentada neste artigo está em conformidade com o padrão Bridge[9], como é apresentado no diagrama de classes na Figura 3, onde se pode verificar que classe *TBloco* e suas derivadas estão relacionadas à classe *TSistema* por uma relação de agregação. Neste diagrama pode-se verificar que qualquer nova classe, que represente um dispositivo físico, é criada derivando-se *TBloco*, não vai interferir na classe *TSistema* e suas classes derivadas. Alterações na classe *TSistema* (como por exemplo, mudança no método de integração numérica) não afetará a implementação das classes derivadas de *TBloco*. Portanto, pode-se verificar que existe um desacoplamento entre a implementação e a abstração.

D. Exemplo de classe derivada de TBloco para sistemas elétricos de potência

Na parte superior da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é mostrado a representação da clássica de um máquina no sistema elétrico: uma tensão interna $E_q + jE_d$

atrás de uma impedância série $R_a + jX_d$. Para representar as máquinas no sistema elétrico, deve-se ter em mente que sua dinâmica é representada por um sistema de equações diferenciais e algébricas e a rede elétrica é representada por um sistema de equações algébricas. Para simplificar as soluções das equações da rede e das máquinas, várias equações algébricas do modelo das máquinas podem ser eliminadas se

a impedância série $R_a + jX_d$ for considerado como parte integrante da rede elétrica, desta forma obtemos uma matriz admitância de rede $\bar{Y}'$. Esta formulação é apresentada em [6].

Na Figura 4, é representada, graficamente, a classe que representa a rede elétrica.

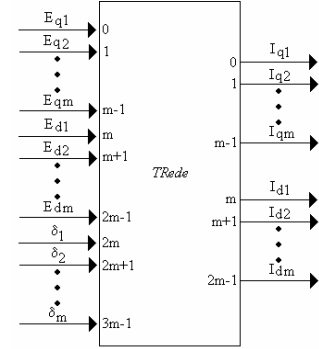


Figura 4 - Bloco que representa a rede elétrica

Sendo m o número de máquinas, as entradas 0 até $m-1$ correspondem as tensões internas do eixo q das máquinas, as entradas de m até $2m-1$ correspondem as tensões internas do eixo de direto de todas as m máquinas e as entradas de $2m$ até $3m-1$ correspondem aos ângulos. As saídas de 0 até $m-1$ correspondem as correntes injetadas no eixo em quadratura e de m até $2m-1$ as correntes injetadas no eixo de direto.

III. O SIMULADOR: VERSAO 1.0

A. Introdução

O software que será apresentado nesta seção consiste na primeira versão do software de simulação dinâmica do sistema elétrico brasileiro. Trata-se de uma versão preliminar, os modelos de dispositivos existentes estão em fase de obtenção. O programa é constituído de um simulador com interface amigável e um software para geração de relatórios gráficos.

B. Requisitos

O Software foi desenvolvido e testado em uma máquina PENTIUM® IV 2.0GHz com 640Mbytes de memória RAM rodando o sistema operacional Windows XP®, portanto, esta é uma configuração recomendada para usar o software, no entanto a configuração mínima pode ser um PENTIUM MMX 233 com 64Mbytes de memória RAM com o sistema operacional WINDOWS 98®.

C. Os componentes e uso do software

1) Módulos

O software, basicamente, é constituído de dois módulos. Um módulo de simulação, onde o usuário pode fazer a montagem ou alteração de um caso em estudo, definir os eventos que deseja simular, que designaremos como “simulador” e um módulo de geração de relatórios gráficos.

Os dados do usuário são armazenados em banco de dados relacional, utilizando como gerenciador de banco de dados o Interbase®, portanto os dados podem ser visualizados e

editados de qualquer máquina da rede que possua o software instalado, no entanto, isto obriga a instalação do software Interbase.

2) O banco de dados

O banco de dados usado com este software é constituído de várias tabelas que armazenam informações sobre as barras do sistema, ramos da rede, máquinas e controladores. A figura abaixo mostra a estrutura atual de relacionamento deste banco de dados:

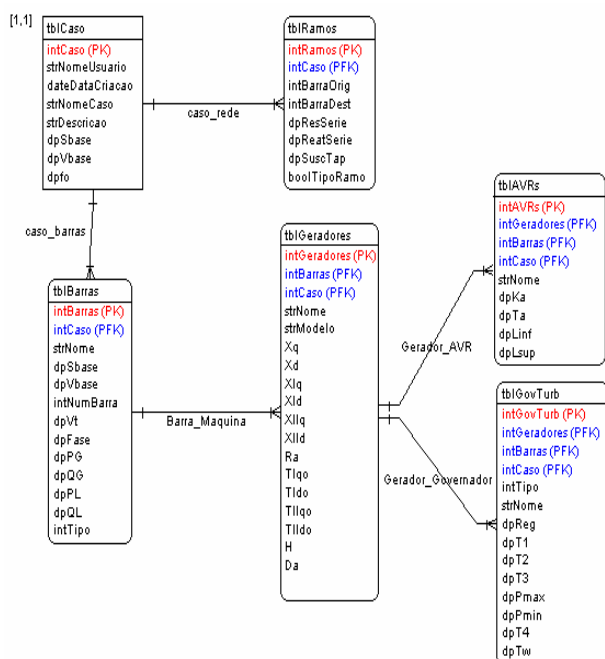


Figura 5 - Diagrama Entidade-Relacionamento do banco de dados

No diagrama, pode-se observar que a entidade “forte”, ou seja, a tabela que agrega todas as demais é a tabela “tblcasos”, esta tabela representa os casos em estudo, nela estão contidos os dados relacionados ao estudo que está sendo feito.

Associados ao caso em estudo (tabela tblcasos) estão os dados de um sistema que está sendo estudado. Portanto para um determinado “caso” temos os dados de barras, de ramos, de máquinas, etc.

Um gerador (tabela tblGeradores) está associado a uma barra (necessariamente PV ou de referência) do sistema em estudo (caso). Os reguladores (tabelas tblGovTurb e tblAVRs) estão associados a um gerador.

D. Utilizando o software

1) Entrando no sistema

Ao executar o programa uma tela de login será apresentada, como ilustrado através da figura a seguir.



Figura 6 - Tela de login

Nesta tela você se autentica e escolhe o caso que deseja trabalhar. Caso você deseje criar um novo caso clique no botão “Criar”. Ao clicar no botão “Criar” a tela apresentada a seguir será exibida.

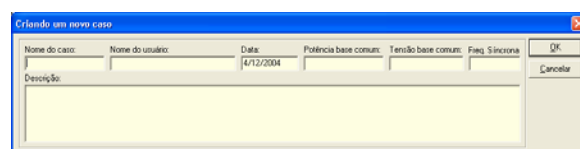


Figura 7 - Criando um caso

Ao clicar no botão “OK” o usuário volta à tela de login, agora com o novo caso disponível.

2) Ir para um outro caso

Após realizar a autenticação na tela de login, o usuário, a qualquer momento, pode visualizar outro caso, clicando no menu “Arquivo” item “Casos”.

A seguinte tela será exibida:

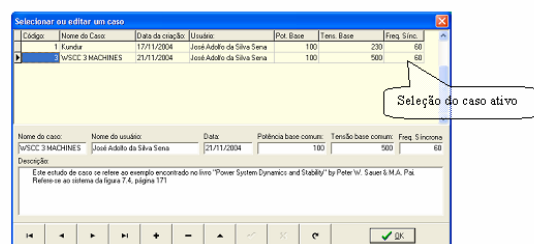


Figura 8 - Seleção do caso

Nesta tela o usuário pode editar alguns dados do caso. Na parte superior da tela existe uma tabela, onde o item selecionado na tabela corresponde ao caso selecionado.

3) Entrando com (ou editando) os dados das barras e ramos da rede elétrica

Para alterar a configuração do sistema de potência que você deseja simular, você deverá ir ao menu “Parâmetros”. Neste menu existe a opção “Rede”, ao selecionar esta opção, outros dois sub-itens serão apresentados: “Dados das Barras” e “Dados dos Ramos”.

A opção “Dados das Barras” é escolhida quando se deseja adicionar (ou editar) barras do sistema. Ao selecionar esta opção a caixa de diálogo da figura a seguir será apresentada.

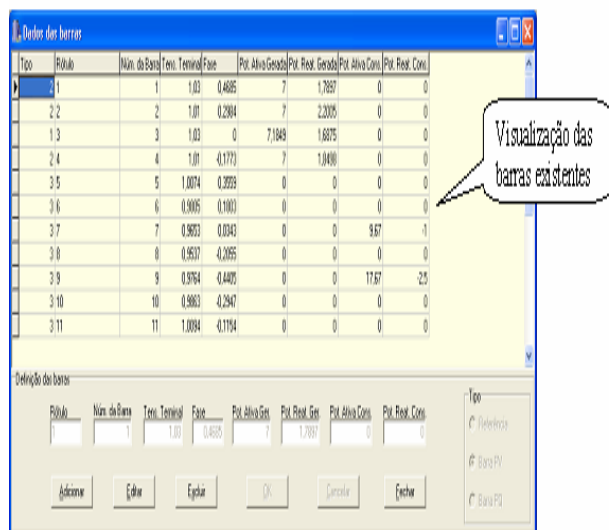


Figura 9 - Dados das barras

A tabela, na parte superior da tela, é uma lista das barras já presentes na rede. Ao clicar em uma linha da tabela, os campos são exibidos nas linhas de edição e ao clicar do botão “Editar”, pode-se alterar os dados referentes a esta barra. Para adicionar uma nova barra à rede elétrica, basta clicar no botão “Adicionar”, então as linhas de edição poderão ser usadas para a entrada dos dados. Para excluir uma barra, deve-se clicar na linha correspondente na tabela e clicar no botão excluir. Qualquer ação que for feita, com exceção a ação excluir, deve ser concluída clicando no botão “OK”, para abandonar a alteração clique no botão “Cancelar”. Os dados presentes nesta caixa de diálogo serão alterados com a execução da rotina de fluxo de carga (rotina interna ao programa).

Para definir os dados das linhas de transmissão e transformadores, usa-se a opção “Dados dos ramos”. Ao selecionar esta opção será exibida a caixa de diálogo da figura a seguir.

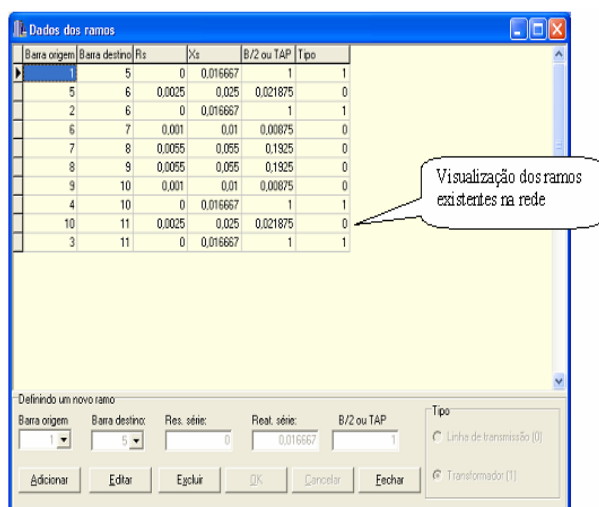


Figura 10 - Dados dos ramos

4) Dados das máquinas

Para acrescentar, editar ou retirar máquinas do sistema, será escolhido o item “Máquinas” do menu “Parâmetros”. Os modelos das máquinas, bem como dos outros dispositivos são apresentados no relatório anexo “Sistema de geração”.

Ao escolher o item “Máquinas” será apresentada a caixa de diálogo abaixo:

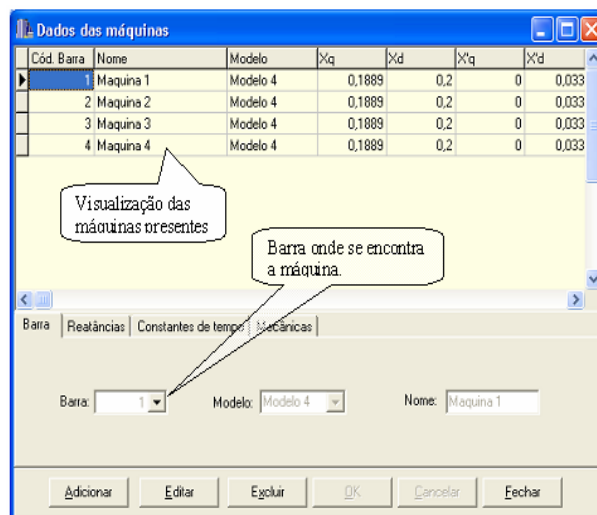


Figura 11 - Dados das máquinas

Além dos dados das máquinas, o usuário deve informar em que barra a máquina está localizada, qual o modelo usado e o nome da máquina (na presente versão só o modelo 4 está presente).

Dados dos controladores

Ao selecionar os itens “AVRs” ou “Governadores”, o usuário definirá os parâmetros referentes aos reguladores de tensão e governadores, respectivamente. As duas caixas de diálogo apresentadas a seguir são usadas:

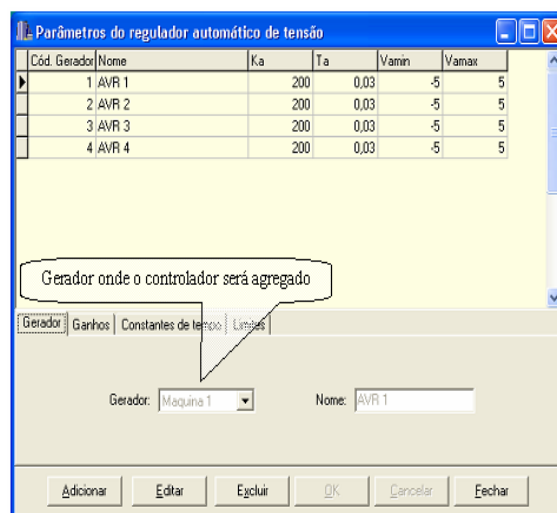


Figura 12 - Dados dos reguladores automáticos de tensão

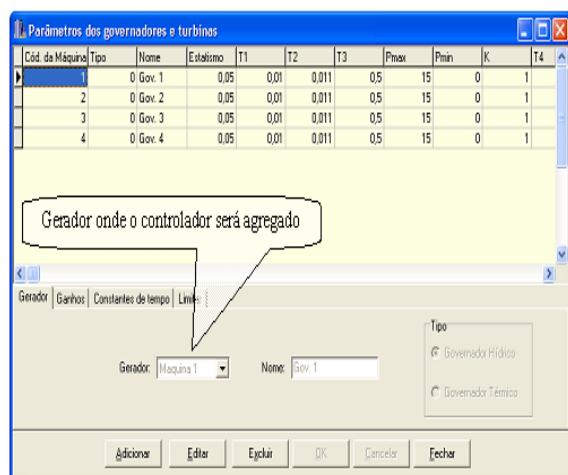


Figura 13 - Dados dos reguladores de velocidade e turbinas

Nas duas caixas de diálogo, além dos parâmetros descritos no relatório anexo “Sistema de Geração”, o usuário deverá informar a que gerador (máquina) estes controladores serão conectados.

5) Realizando a simulação

Para realizar uma simulação, o usuário deverá ir ao menu “Simulação”, onde duas opções estão disponíveis: “Fluxo de Carga” e “Simular Falta”. O usuário informa o tipo de falta, quando inicia e sua duração. O usuário fornecerá informações específicas sobre a falta que deseja simular, por exemplo, a barra onde será aplicado o curto circuito e a admitância de curto circuito. O botão “<<” faz com que o guia volte para a tela anterior e o botão “>>” leva o guia para a próxima tela.

O item “Resolução dos gráficos”, o usuário informa quantos pontos devem ser calculados para que um seja armazenado, neste exemplo a cada dez pontos, como o passo de integração é de 0,001s significa que a cada 10ms um ponto é armazenado. Ao clicar no botão “OK” o usuário será indagado sobre em que arquivo será armazenado o resultado da sua simulação. Ao selecionar o arquivo (ou criar um novo) o programa fará a simulação.

Terminada a simulação, automaticamente, o programa de geração de relatórios gráficos é apresentado e o usuário pode compor seus gráficos e exportar para qualquer editor de textos pela área de transferência do Windows.

IV. SIMULADOR: VERSÃO 2.0

A. Introdução

A versão 2.0 do programa simulador foi desenvolvido para permitir a simulação de sistemas de potência de grande porte. Esta versão ainda não está concluída.

1) Alterações no módulo de fluxo de carga.

Foram feitas modificações substanciais no programa. Nos módulos referentes ao fluxo de carga, foram acrescentados limites de reativos. As representações de vários dispositivos

no fluxo de carga estão em andamento.

2) Alterações nos módulos de simulação dinâmica

A principal alteração foi tratar todos os dispositivos, seja eles máquinas, reguladores de tensão ou a rede elétrica da mesma forma, ou seja, como blocos dinâmicos. Isto traz algumas dificuldades, como, por exemplo, explicitar as conexões entre todos os blocos. No entanto, esta abordagem traz uma vantagem interessante: qualquer dispositivo novo que venha a surgir, poderá ser representado no programa, na maioria das vezes, sem a necessidade de escrever uma nova versão do programa.

3) Alterações no banco de dados

O banco de dados do programa foi totalmente reprojeto para atender aos novos requisitos do programa. Na figura 14, a seguir, é apresentado o diagrama entidade-relacionamento do novo banco de dados.

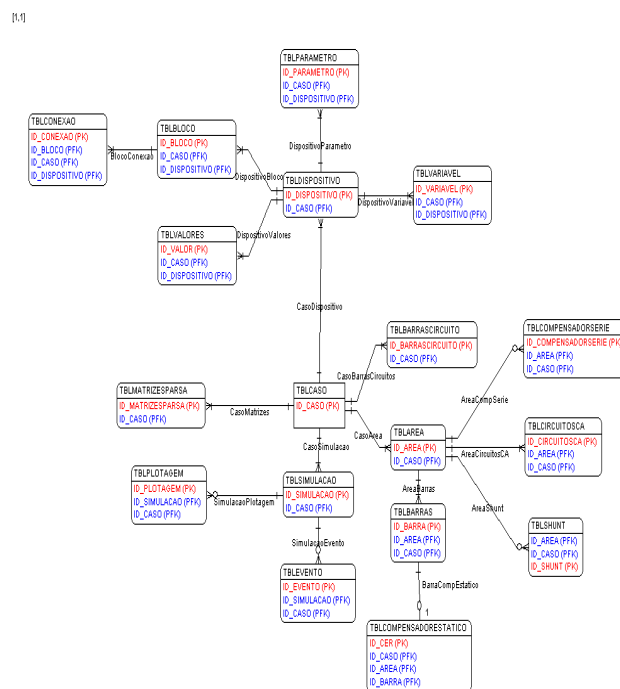


Figura 14 - Diagrama MER do novo banco de dados

Na Figura 14, pode-se observar que foram acrescentadas novas tabelas para armazenar informações sobre vários dispositivos, entre os quais os compensadores série (usados para representar os TCSC's).

As tabelas que representavam as máquinas, os governadores, reguladores de tensão foram eliminadas e, em seu lugar, foi criada a tabela *TBLBLOCO* e *TBLDISPOSITIVO* que armazenam informações sobre os blocos e dispositivos presentes no sistema.

Recomenda-se ao leitor interessado que procure o relatório final do projeto para maiores detalhes sobre a estrutura do banco de dados.

B. Usando o programa

1) Entrando no programa

Para entrar no sistema o usuário deverá digitar o seu nome de usuário e sua senha e o estudo de caso onde ele deseja trabalhar.

Caso o usuário quiser criar um novo caso a partir dos dados dos programas do CEPEL Anatem e Anarede, ele poderá importar os dados de fluxo de carga e da rede elétrica clicando no botão “Fluxo de carga (*.PWF)” e então uma caixa de diálogo solicitará a localização do arquivo.

Caso o usuário deseje criar um caso vazio, ele o fará clicando no botão “Criar” e então a seguinte caixa de diálogo será exibida:

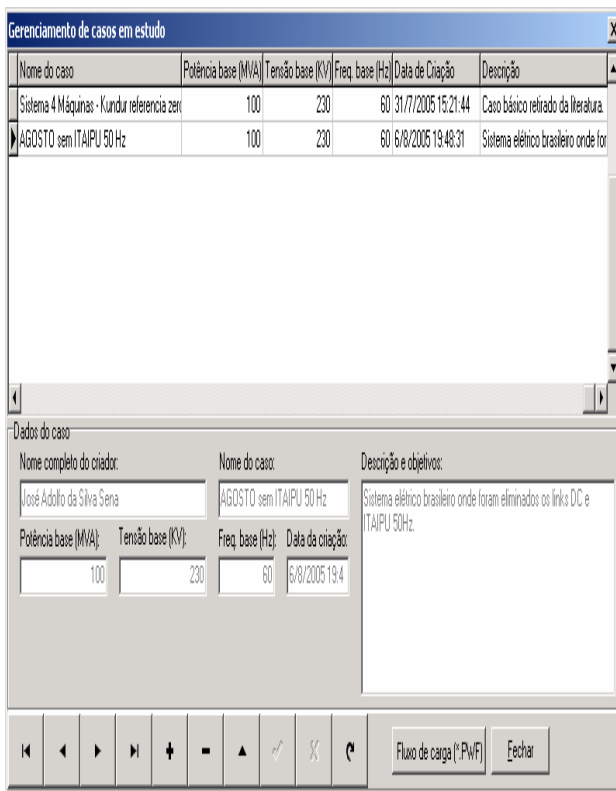


Figura 15 - Janela para selecionar, editar ou criar um caso novo

Ao fechar a janela (selecionando “Fechar”) o novo caso estará disponível no combo-box para ser selecionado.

2) Menu “Dados” item “Rede”

Ao selecionar cada um dos itens, uma caixa de diálogo é exibida e segue o padrão apresentado na figura a seguir.

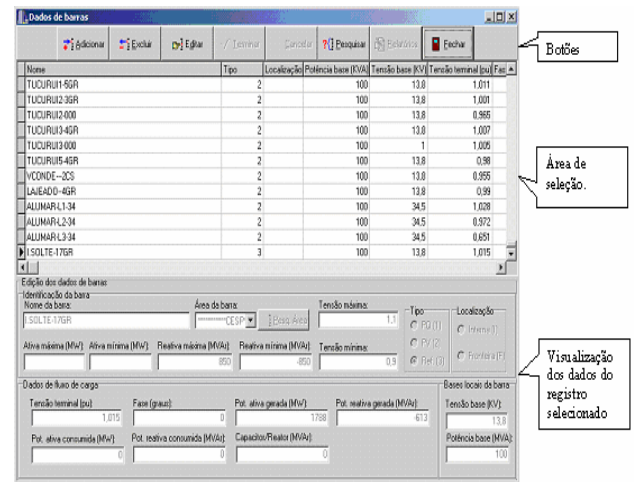


Figura 16 – Exemplo de caixa de diálogo de visualização de dados

A caixa de diálogo, apresentada na figura 16, é dividida em três áreas. A área superior contém os botões que permitem a manipulação dados, pesquisa e fechamento da janela.

Na área central tem-se uma tabela cuja finalidade é selecionar um determinado registro. A seleção é feita quando o usuário clica em determinado registro, então os campos deste registro são exibidos na área inferior da caixa de diálogo.

Caso o usuário precise alterar os dados do registro selecionado, ele deve clicar no botão “Editar”, então as linhas de edição da parte inferior da caixa de diálogo serão habilitadas para que as alterações possam ser feitas. Se o usuário quiser excluir o registro selecionado, ele clica no botão “Excluir”. O botão “Adicionar” é usado para criar um novo registro. Quando o usuário terminar a inclusão ou edição de um registro, ele deve clicar no botão “Terminar” para salvar as alterações feitas ou clicar no botão “Cancelar” para abandonar estas mesmas alterações.

Em sistemas elétricos reais, o número de registros pode ser muito grande, por exemplo, no sistema elétrico brasileiro existem mais de três mil barras, então é necessário que exista meios para fazer pesquisas para localizar um determinado registro. Para realizar pesquisas existe o botão “Pesquisar” e ao clicar-lo o usuário terá a caixa de diálogo exibida abaixo.

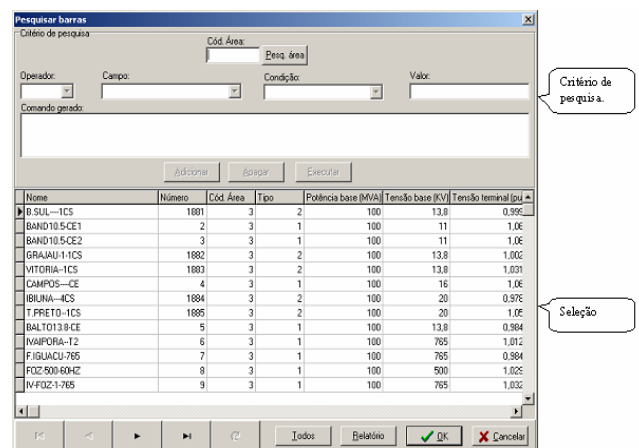


Figura 17 - Caixa de diálogo de pesquisa

A caixa de diálogo é composta por duas áreas. A área superior define o critério de pesquisa e a parte inferior é a área de seleção em que o usuário escolhe o registro que está bus-

cando.

O critério de pesquisa é uma expressão lógica na forma:

(<Campo1> <Condição1> <Valor1>) <Operador1>
(<Campo2> <Condição2> <Valor2>)...<OperadorN>
(<CampoN> <CondiçãoN> <ValorN>)

3) Visualizando e/ou alterando dados da dinâmica do sistema

Todos os dispositivos presentes no sistema elétrico de potência são tratados de forma semelhante. Este tratamento tem a vantagem de permitir a inclusão de dispositivo completamente novos no sistema (como por exemplo, dispositivos de controle com lógica fuzzy ou máquinas e turbinas eólicas) sem a necessidade de grandes alterações no programa. As caixas de diálogo são muito semelhantes as caixas de diálogo apresentadas nos itens anteriores. Para uma descrição detalhada de cada caixa de diálogo associada a estes itens de menu, ver o manual do usuário.

O item “Dispositivos” é usado para cadastrar dispositivos dinâmicos no sistema. Um dispositivo pode ser composto por um ou mais blocos e para cadastrar estes blocos, utiliza-se o item “Blocos”. As conexões entre os blocos do sistema são estabelecidas utilizando o item “Conexão de blocos”. Mais detalhes pode ser visto no manual do usuário do programa.

4) Importação de dados dos arquivos de dados em formato especiais

Na base do ONS estão disponíveis dados públicos sobre o sistema interligado, sendo que alguns deles em formatos especiais, como os formatos utilizados programas do CEPEL: ANAREDE e ANATEM. O software possui um módulo que permite importar estes dados.

5) Análise

As operações de análise ainda não estão completas nesta versão do programa. O sistema elétrico brasileiro possui uma quantidade muito grande de controladores definidos pelo usuário, e em consequência o número de blocos básicos é muito grande. Em uma parte específica do relatório serão apresentados os blocos básicos necessários que estão em desenvolvimento.

Outra operação que precisa ser aprimorada é o cálculo das condições iniciais dos dispositivos dinâmicos, que ainda está em desenvolvimento pelo grupo de pesquisas em controle de sistemas de potência do DEEC-CT-UFPA.

A rotina de fluxo de carga está funcional mais incompleto. Foram implementados os limites de reativos, mas ainda falta implementar os outros tipos de controle.

As matrizes admitâncias de rede ficam armazenadas em tabelas especiais que permitem a rápida recuperação dos dados. O item “Obter dados de rede” é usado para sincronizar os dados do banco de dados com as tabelas binárias onde estão armazenados as matrizes admitância e outros dados usados na simulação dinâmica e fluxo de carga. O item “Rodar fluxo de carga” executa a rotina de fluxo de carga.

Ao selecionar o item “Simulação dinâmica” um assistente guiará o usuário na montagem de uma simulação dinâmica.

A simulação dinâmica ainda não está concluída para executar uma simulação do sistema elétrico brasileiro, no entanto foi desenvolvido no projeto um simulador dinâmico para sistemas menores, e ele foi apresentado em relatório anterior.

V. CONCLUSÃO

Este simulador dinâmico foi desenvolvido com base nas mais modernas técnicas de engenharia de software de modo a ser flexível e modular. O objetivo é realizar o estudo do desempenho dinâmico de controladores amortecedores instalados nos dispositivos FACTS TCSC localizados em Serra da mesa e Imperatriz, visando ampliar o amortecimento das oscilações eletromecânicas inter-área entre os sistemas norte-nordeste e sul-sudeste-centro-oeste, sob diferentes cenários de operação. Os testes até agora realizados demonstraram a bons resultados e permitiram obter-se uma boa produtividade em relação ao tempo gasto para se analisar diversos casos, em comparação com os softwares atualmente utilizados pelo setor elétrico no Brasil.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Brad A. Myers, "User Interface Software Tools", *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, vol. 2, pp. 64-103, March 1995.
- [2] Shubha Pandit, and S. A. Soman and S. A. Khaparde, "Design of Generic Sparse Linear System Solver in C++ for Power System Analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, no. 4, pp. 647-652, November 2001.
- [3] A. Shalloway, and James R. Trott, *Design Patterns Explained: A New Perspective on Object-Oriented Design*, Addison-Wesley, 2002.
- [4] S. A. Soman, and S. A. Khaparde and Shubha Pandit, *Computational Methods for Large Sparse Power Systems Analysis – An Object Oriented Approach*, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2002.
- [5] J. Arrilaga, and C. P. Arnold, *Computer Analysis of Power Systems*, John Wiley & Sons, 1990.
- [6] P.W. Sauer, and M. A. Pai, *Power System Dynamics and Stability*, Prentice-Hall, 1998.
- [7] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, 1994.
- [8] P. M. Anderson, & A. A. Fouad, *Power System Control and Stability*, Wiley IEEE Press, 2002.
- [9] J. A. S. Sena, and W. Barra Jr., and J.A.L Barreiros, and M. C. P. Fonseca, and B. M. Campos, and C. T. da Costa, "Bridge Pattern Design Strategies Applied To The Development of Simulation Software for Large Scale Dynamic Systems" in *Sixth Latin-American Congress: Electricity Generation and Transmission*, 2005