

Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Cálculo de Curto-Circuito com Condições de Pré-Falta Incluídas.

Dimas A. Pereira, CTEEP; P. K. Maezono, VIRTUS; M. C. Ferreira, VIRTUS; T. Hojo, VIRTUS; P. Uliana, ECIL INFORMÁTICA; L. Fernando Passos, ECIL INFORMÁTICA

Resumo—Este trabalho apresenta os resultados de um trabalho para adequar o sistema computacional denominado CAPE – “Computer Aided Protection Engineering” da Electrocon International Inc. de Michigan, EUA para processar casos de curto-circuito com condições de pré-falta / fluxo de potência incluídas, partido-se das bases de dados ANAFAS e ANAREDE disponibilizados para o sistema interligado brasileiro através do ONS. Foram desenvolvidas ferramentas para conversão dos dados originais de curto-circuito e fluxo de potência para o formato CAPE, bem como ferramenta para junção desses dados em uma única base de dados com base em mapeamentos das topologias.

Palavras-chave— Curto-Circuito, Fluxo de Potência, Simulação de Proteção, Ajustes de Relés.

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem a finalidade de apresentar o desenvolvimento e os resultados de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da CTEEP – Transmissão Paulista, referente ao período 2005 – 2006, denominado “Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Cálculo de Curto-circuito com Condições de Pré-falta Incluídas”.

O projeto teve a finalidade de pesquisar alternativas de engenharia de aplicação e desenvolver uma ferramenta computacional, que permita o cálculo de curto-circuito com condições de pré-falta incluídas, utilizando como base os arquivos oficiais emitidos pelo ONS, tanto para curto-circuito (ANAFAS) como para fluxo de potência (ANAREDE).

O objetivo é possibilitar a otimização dos estudos de ajustes dos relés de proteção, através de uma ferramenta que possibilite uma análise a mais realística possível, bem como ensaios e simulações destinados a avaliação da performance do Sistema de Proteção como um todo.

Os autores agradecem a CTEEP – Transmissão Paulista pela oportunidade de desenvolver o trabalho através dos recursos oriundos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento 2005-2006 e todo o apoio recebido durante o transcorrer das atividades.

Um agradecimento especial é feito à Electrocon International Inc, de Michigan, E.U.A, na pessoa do seu presidente o senhor Paul McGuire que, além de participar do projeto, não mediu esforços para atingir os objetivos pretendidos pelo Projeto através do sistema CAPE.

II. JUSTIFICATIVA

No Brasil, os programas em utilização para cálculo de curto-circuito e para fluxo de potência em Sistemas Elétricos de Potência são aqueles adotados pelo ONS, que são respectivamente ANAFAS e ANAREDE, pertencentes a um pacote de programas desenvolvido pelo CEPEL. Uma grande dificuldade do ANAFAS no estudo de curto-circuito é não considerar as condições de pré-falta nas correntes calculadas. O problema é intensificado pelo fato das bases de dados, para os dois módulos citados, não apresentarem coerência quanto à identificação de barras, sejam números ou eventualmente nomes. Eles não atendem, portanto, todas as necessidades do usuário, existindo adicionalmente um grande trabalho manual no sentido de passar resultados de um software para outro e executar cálculos até chegar à análise final.

Por outro lado, tais bases de dados devem ser utilizadas, uma vez que o ONS faz uso rotineiro dos mesmos, podendo-se até considerar que os mesmos sejam oficiais no contexto do sistema interligado nacional. Assim sendo, justifica-se o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que, aproveitando as duas bases de dados, possa suprir as necessidades das equipes da área de proteção, permitindo estudos de curtos-circuitos com valores mais realistas e simulação do desempenho dos sistemas de proteção da CTEEP.

A originalidade do projeto é pesquisar soluções de engenharia de aplicação até hoje não contemplados nos programas da CEPEL (ANAFAS e ANAREDE) no sentido de se obter as funcionalidades altamente desejáveis como acima mencionado. Desta forma o projeto propõe uma metodologia de resultados que junte todos os pontos existentes de forma que as análises padronizadas sejam realizadas de modo bastante funcional, desencadeando uma serie de processos, convertendo formatos de dados e gerando resultados e relatórios em formatos que sejam imediatamente utilizáveis.

Considerando que o desenvolvimento de sistemas semelhante aos programas da CEPEL a partir do zero seria extremamente demorado, o projeto desenvolveu módulo de software sobre uma plataforma de um software comercial bastante conhecido mundialmente pelos especialistas da área

de Proteção de Sistemas Elétricos – o CAPE – “Computer Aided Protection Engineering” desenvolvido pela Electrocon International Inc. de Michigan, EUA. O CAPE já possuía parte das funcionalidades desejadas para estudos, análises e simulações, como deseja a CTEEP. Nota-se que grande parte dos softwares de mercado podem atender parte das funcionalidades desejadas, mas operam com formatos e parametrizações diferentes.

O motivo de se ter escolhida a plataforma CAPE decorre do fato de que já existe modelagem detalhada, dentro do CAPE, de quase todos os relés de proteção comercialmente disponíveis no mercado mundial e de todos aqueles relés hoje utilizado pela CTEEP no seu sistema de transmissão. Assim sendo, havendo a conversão da base de dados ANAREDE para a base de dados plataforma CAPE e a devida adequação para os dados ANAFAS, que por sua vez já é convertida para o CAPE, pode-se utilizar todas as funcionalidades disponíveis e o poder do CAPE.

Finalmente deve-se destacar que a transferência dos resultados deste projeto será realizada naturalmente, tanto com a disponibilização da ferramenta desenvolvida, contendo toda a documentação pertinente, códigos fontes e descrição dos softwares, como também na finalização do projeto, através de treinamento específico quanto à utilização da metodologia pesquisada.

III. METODOLOGIA

O projeto foi dividido em quatro fases:

A. FASE 1 - Estudo das bases de dados existentes

- Estudo da estrutura das bases de dados para ANAFAS e ANAREDE.
- Pesquisa da base de dados adotada pelo pacote de softwares CAPE da Electrocon International, Inc.
- Elaboração de uma tabela inicial de equivalência para identificação de barras do ANAREDE, comparadas com as barras do ANAFAS, com diagnóstico inicial das diferenças detectadas entre as bases.
- Pesquisa de engenharia de aplicação no sentido de buscar soluções para as funcionalidades desejadas.

Resultados: Mapas de equivalência, para barras, circuitos, transformadores, geradores e “shunts”. Identificação das dificuldades a serem superadas para consecução do projeto.

B. FASE 2 - Pesquisa e desenvolvimento da conversão da base de dados ANAREDE para a base DB (CAPE)

- Pesquisa “in loco” (EUA) para determinação da organização e dos requisitos técnicos de estruturação da base de dados CAPE, partindo da base ANAREDE.
- Desenvolvimento da rotina de conversão ANAREDE para DB (CAPE).
- Validação da rotina com testes de processamento de casos de Fluxo de Potência no CAPE com uso de bases de dados do padrão ANAREDE da CTEEP.

Resultado: Software de conversão da base de dados do tipo .car (texto) do Anarede para o padrão .gdb do CAPE (software Anarede_To_DB.exe).

C. FASE 3 - Mesclagem da base de dados de Fluxo de Potência (“Power Flow”) do CAPE, com dados provenientes da base de dados de Curto Circuito (“Short Circuit”), também do CAPE.

- Alteração de ferramenta já existente no CAPE (“Data Base Editor Merge Function” - DBE Merge) para que os dados de Curto-Circuito sejam mesclados aos dados de Fluxo de Potência, num único arquivo CAPE.
- Desenvolvimento de manual técnico para preparação das bases de dados e uso da rotina de mesclagem.

Resultado: Módulo DBE Mege do CAPE para mescla e base de dados unificada para processamento de curto-circuito com condições de pré-falta (fluxo de potência) incluídas.

D. FASE 4 - Testes da ferramenta e Transferência de resultados.

- Testes de validação das rotinas desenvolvidas e aceitação.
- Manual para preparação de base de dados e mesclagem.
- Treinamento de usuários para o software CAPE.

IV. IMPLEMENTAÇÃO

Com o decorrer das atividades, sentiu-se a necessidade de uma maior interação com a Electrocon, que é a desenvolvedora do sistema CAPE, no sentido de detalhar os vários caminhos que poderiam ser seguidos, em função das alternativas existentes. Foi agendada uma semana de atividades na sede da empresa e, com isso, os pesquisadores brasileiros puderam melhor compreender todos os aspectos técnicos do software CAPE e, conseqüentemente, os pontos críticos associados ao projeto.

A. ESTRATÉGIA

a) Conversão de dados do ANAREDE para o CAPE

O ANAREDE possui uma base de dados textual única enquanto que o CAPE possui múltiplas bases de dados organizadas em um filosofia que é parcialmente orientada a objeto. Este fator não é crítico, pois a principio bastaria que o software de conversão lesse os dados do ANAREDE e os colocasse nas múltiplas bases do CAPE.

Entretanto, sabe-se que a análise de fluxo de potência é algo bastante complexo e que o processamento nem sempre converge para uma solução única (ou até não converge) e onde os modelos físicos são sempre representados sob a forma de modelos matemáticos. Assim devido ao fato de que muitos modelos utilizados no ANAREDE não são os mesmo utilizados no CAPE, seria inviável uma simples conversão de parâmetros de um modelo para o outro. Assim foram observados, basicamente, três tipos de problemas de conver-

são:

- Casos onde os modelos utilizados no ANAREDE são mais amplos que os do CAPE e que inviabilizam uma conversão completa;
- Casos onde os modelos do CAPE são mais amplos que os do ANAREDE e que demandam dados adicionais que não estão disponíveis no ANAREDE, o que exigirá estratégias para definição destes dados;
- Casos onde modelos utilizados no ANAREDE não existem no CAPE, sendo impossível uma conversão direta. Por exemplo toda a parte do ANAREDE que lida com transmissão em corrente contínua não está disponível no CAPE.

Desta forma a base de dados do ANAREDE foi avaliada campo a campo, considerando as peculiaridades da base específica que será convertida (base do ONS que representa o Sistema Elétrico Brasileiro) e os modelos e tabelas utilizadas no CAPE.

A princípio verificou-se que toda a base de dados do ANAREDE poderia ser convertida para o CAPE, com exceção da parte de transmissão em corrente contínua que deverá ser representada por equivalente, antes da conversão.

b) Uso conjunto dos dados do ANAREDE e do ANAFAS dentro do CAPE

Mesmo estando as bases de dados de fluxo de potência (PF) e curto circuito (SC) convertidas para o CAPE não é possível utilizar diretamente as informações de PF no estudo de SC, pois:

- a) As numerações de barras utilizadas nas duas bases são diferentes;
- b) Muitas topologias de barras são diferentes, principalmente com relação ao uso de barras fictícias no SC, tanto para circuitos como para representação de transformadores de 3 enrolamentos.
- c) Algumas topologias de circuitos são diferentes, havendo circuitos no SC que não existem no PF ou configurações distintas entre as duas bases. A segmentação de cada circuito no SC pode ser diferente da segmentação do mesmo circuito no PF devido às barras fictícias.
- d) A geração no PF é representada por fluxos (P, Q) em uma barra de geração enquanto que no SC é representada por unidades geradoras, em paralelo ou não, com reatâncias respectivas.
- e) Há modelos de seqüência zero para SC mas não para o PF. Diferenças de topologia se encontram em transformadores e reatores shunt.
- f) Transformadores (de transmissão ou abaixadores) podem ser representados em paralelo no PF, enquanto que no SC são sempre individuais;
- g) Os circuitos equivalentes resultantes de eventuais programas de redução da rede são diferentes para o Anare-

de e para o Anafas. Há diferenças quanto aos “shunts” equivalentes, geração equivalente, circuitos equivalentes etc.;

- h) Em muitos processamentos o Anarede não representa os bancos de reatores e capacitores “shunt”, o que dependerá das condições de carga (pesada, média ou leve) processadas. Por outro lado, a base do Anafas representa, quase sempre, todos os reatores e capacitores shunt.

Desta forma após a conversão do ANAREDE para o CAPE e do ANAFAS para o CAPE, será necessário utilizar um software de mesclagem (“merge”) que cria uma terceira base de dados mesclando os modelos de PF e de SC dentro de uma representação única para o software CAPE. Nesse software de mesclagem, muitas estimativas necessitam ser adotadas para obtenção de uma base final que melhor represente o sistema elétrico de potência sob estudo.

Diretrizes de “Merge”

As diretrizes para a mesclagem são:

- A base de dados resultante da fusão deverá ter, basicamente, a topologia do Anarede, uma vez que se deve garantir a convergência no processamento de caso de Fluxo de Potência. Este aspecto é crítico.
- Área de Estudo: deverá ser constituída de barras e circuitos de interesse (no caso o Sistema CTEEP + barras vizinhas). As barras vizinhas podem ser de sistemas inseridas na CTEEP (Como a CPFL) ou externas a CTEEP (Como a Eletrosul). Todos os pontos fictícios do Anafas (SC) deverão constar da base resultante, acrescentando-se ao existente no Anarede.
- Todos os números e nomes do Anafas (SC) devem ser preservados, substituindo os números e nomes daqueles existentes no Anarede (Flow).
- As barras existentes apenas no Anarede (PF) constarão da base resultante com o nome original.
- Circuitos existentes apenas no Anafas (SC) deverão ser acrescentados na base resultante, levando-se em consideração a consistência do sistema resultante para se garantir a convergência do processamento de fluxo de potência.
- Valores de seqüência zero do Anafas (SC) deverão ser agregados na base resultante, para a área de estudo.
- Os geradores representados no Anafas deverão ser preservados.
- Os “shunts” (impedância a terra, de seqüência zero) deverão ser identificados para que possam ser devidamente agregados na base de dados resultante.
- Todos os transformadores do Anafas e Anarede deverão ser identificados, com um mapa de relacionamento, de modo que se possa fazer uma fusão sem erros de consistência.

- Nos “shunts” e circuitos **EQUIVALENTES**, resultantes de eventual redução de redes, deve-se:
 - a) Manter todos os valores de seqüência positiva dos circuitos equivalentes gerados na base de fluxo de potência. Os seus valores de seqüência zero devem ser importados dos equivalentes respectivos gerados na base de curto-circuito.
 - b) Para aqueles circuitos equivalentes existentes apenas na base de fluxo de potência e não existentes na base de curto-circuito, os valores de seqüência zero devem ser considerados como “infinitos”, preservando os valores de seqüência positiva.
 - c) Para circuitos equivalentes existentes apenas na base de curto-circuito, os mesmos devem ser incorporados na base final apenas com as impedâncias de seqüência zero, considerando as impedâncias de seqüência positiva como “infinitas”.
 - d) Todos os “shunts” de seqüência zero da base de curto-circuito (reatores shunt) devem ser incorporados na base final, com seus valores originais, sem seqüência positiva. Apesar de desejável, não será possível associar esses shunts aos “Indutores” e “Capacitores” da base de fluxo de potência pois esses podem estar agregados numa única “potência reativa na barra ou na linha” e podem, também, não ser representados na base de dados, dependendo do caso estudado. Assim, haverá casos onde haverá representação de reator apenas para curto-circuito (seqüência zero) sem a respectiva representação no fluxo de potência.
 - e) Todos os “shunts” gerados na base de fluxo de potência (“shunts equivalentes”) devem ser considerados como estrela sem aterramento, para que não possam influir no cálculo de falta a terra. Caso sejam mantidos, o CAPE considera a impedância como sendo, também de seqüência zero.
- Mapa de geradores e transformadores elevadores para todas as usinas e compensadores síncronos da área de estudo, comparando topologias e pontos fictícios, com subsídios para adequação da topologia.
- Mapa de “shunts” (equipamentos ou instalações conectadas em barras ou saídas de linhas) do Anafas, com impedâncias de seqüência zero, indicando localização (barra ou linha) e identificação (reator, banco de capacitores ou aterramentos).
 - 4) *Conversão dos arquivos Anafas e Anarede para o CAPE, obtendo duas bases de dados.*
 - 5) *Mesclagem da base de dados de Curto-Circuito sobre a base de dados de Fluxo de Potência usando software específico e os mapas de equivalência.*
 - 6) *Acerto manual de detalhes finais.*
 - 7) *Processamentos.*

V. ATIVIDADES E CONSTATAÇÕES

A. ESTUDO DAS BASES DE DADOS EXISTENTES

1) *Comparação dos campos de dados entre as bases de dados Anarede e CAPE.*

Em virtude da necessidade de elaboração de rotina de conversão da base de dados do programa ANAREDE para o sistema CAPE, foi necessário se ter a visualização do que existe em comum entre os dois programas. Foram avaliados e comentados os diversos registros do programa CAPE onde são armazenados dados tanto para o Curto Circuito (CC) como para o Fluxo de Potência (FP), bem como feitos os comentários relativos à base de dados do ANAREDE destacando os dados comuns.

Por exemplo, no programa ANAREDE os *links* são representados como se fossem um circuito CA, porém somente com indutância, de valor irrisório (normalmente igual a 0,01 %). Os links são utilizados, por exemplo, para representar a operação de uma subestação em duas barras ligadas pelo disjuntor de paralelo. No CAPE, por sua vez, há a possibilidade de se modelar um disjuntor de paralelo diretamente.

2) *Diferença nos modos de entrada de dados entre as bases Anarede e CAPE.*

A introdução de dados no CAPE pode ser feita apenas de duas maneiras: diretamente no programa editor de dados ou através de um conversor de dados. Não é possível introduzir dados através de um arquivo texto no modo “batch”.

No conjunto dos dados de barras é imprescindível fornecer, para todas as barras, os limites máximos e mínimos da tensão desejada. O CAPE, diferentemente do ANAREDE, não possui valores “default” para estes campos e, sem esta informação, a solução fixa as tensões no valor de 1 pu.

B. FLUXOGRAMA DO PROCESSO

1) *Correção de erros nos arquivos originais Anafas e Anarede.*

2) *Acertos de topologia nos dois arquivos Anarede e Anafas.*

3) *Preparação de mapas de equivalência conforme definido no projeto:*

- Equivalência de Barras. Barras apenas no Anafas. Barras apenas no Anarede.
- Mapa de circuitos, buscando correspondências entre Anafas e Anarede, comparando pontos fictícios e seccionamentos existentes em cada base de dados, com subsídios para adequação de topologia.
- Mapa de transformadores existentes em cada base de dados, comparando a topologia e os pontos fictícios (intermediários), com subsídios para adequação da topologia.

O equivalente no programa ANAREDE cria linhas de transmissão fictícias, injeções de potências ativa e reativa e shunts nas barras. As injeções de potências e os shunts são armazenados separadamente dos dados de barras e, no arquivo da base de dados aparecem modelados no código de execução DINJ.

No CAPE os dados de injeção de potência são modelados como geradores conectados às respectivas barras. Não é possível modelá-los como cargas por serem valores fixos e podem levar à divergência da solução do caso.

3) *Algumas diferenças entre as bases de dados Anarede e Anafas.*

Os estudos de Curto Circuito, considerando as condições do sistema impostas pela carga, requerem a incorporação das grandezas estabelecidas pelos estudos de Fluxo de Potência.

Entretanto esta incorporação de dados requer uma correspondência fiel dos elementos do sistema, entre os programas citados. Hoje, no Brasil, a modelagem dos elementos do sistema não é a mesma para o curto circuito e o fluxo de potência e, além disso, estes dois estudos são realizados independentemente, de modo que a numeração das barras das subestações também não é a mesma.

Desta forma é necessário estabelecer uma correspondência de barras e linhas entre os dois casos para auxiliar a lógica de programação na incorporação dos dados de Fluxo de Potência nos estudos de curto-circuito.

A seguir é mostrado um exemplo das dificuldades encontradas. O caso referência utilizado é o de Carga Pesada para dezembro de 2006, disponibilizado pelo Operador Nacional do Sistema – ONS. Todas as barras do caso de Curto Circuito serão consideradas, mesmo aquelas que não existem no caso de Fluxo de Potência.

Como a correspondência mencionada deve ser feita para uma ÁREA DE ESTUDO (área de interesse do usuário), parte de um todo que é o sistema interligado brasileiro (arquivo do ONS), o sistema considerado inclui as barras da CTEEP (área 09 no caso de Curto Circuito) e as barras dos outros sistemas que se conectam diretamente com o sistema CTEEP, chamadas “barras fronteiras”.

ALGUMAS CONFIGURAÇÕES ESPECÍFICAS

Barra fictícia interna de transformador criada para aplicação de falta

No Anafas há diagramas de seqüência positiva e zero, sempre com ponto intermediário fictício para transformadores de três enrolamentos. As vezes também se utiliza ponto intermediário e fictício para transformador de dois enrolamentos. No Anarede, há apenas a impedância de seqüência positiva e o ponto intermediário é utilizado somente as vezes.

Barra fictícia de linha de transmissão criada para aplicação de falta

No Anafas pode existir ponto intermediário e fictício na Linha de Transmissão apenas para definir um ponto de aplicação de falta.

Barra fictícia de linha de transmissão, criada para representar um ponto de derivação

Tanto no Anafas como no Anarede, os pontos de derivação em linhas de transmissão são utilizados. O problema é nem sempre há a representação no Anafas, e as vezes no Anarede. Diferenças podem existir, exigindo pesquisa caso a caso.

CONFIGURAÇÕES PARTICULARES

Há regiões dentro da área de estudo que apresentam diferenças topológicas significativas entre as duas bases de dados.

Exemplos dentro da área CTEEP: Sistema de 138kV Jupia, Três Irmãos e Três Lagoas; Sistema de 88kV das subestações Assis, Canoas1, Canoas2 e Salto Grande; sistema de 230kV das subestações Mogi e São José; sistema de 230kV das subestações Anhanguera e Centro; sistema de 88kV das subestações Assis, Canoas1, Canoas2 e Salto Grande.

4) *Tabelas de correspondência entre as bases Anarede e Anafas.*

Com o objetivo de identificar os tipos de barras modeladas no ANAFAS e sua respectiva correspondência no ANAREDE, foram criadas 9 categorias conforme indicadas a seguir.

(1) Barras com correspondência única

(2) Barra do ANAFAS com dupla correspondência no ANAREDE. A mesma subestação é representada em duas barras no ANAREDE e em barra única no ANAFAS.

(3) Barra do ANAREDE com dupla correspondência no ANAFAS. A mesma subestação é representada em duas barras no ANAFAS e em barra única no ANAREDE.

(4) Barra do ANAFAS, ponto fictício de linha de transmissão criado para aplicação de falta, não modelado no ANAREDE (barras A#).

(5) Barra do ANAFAS, ponto fictício interno de transformador, não modelado no ANAREDE (barras T#).

(6) Barra fictícia do ANAFAS, ponto de derivação de linha de transmissão, não modelada no ANAREDE (barras D#).

(7) Barra do ANAREDE com múltipla correspondência no ANAFAS. No ANAFAS os enrolamentos de BT dos transformadores são representados individualmente e conectados em barras de BT individuais. No ANAREDE os enrolamentos de BT dos transformadores são representados por uma

impedância equivalente e conectados a uma única barra de BT.

(8) Barra com correspondência, porém em classes de tensão diferentes. No ANAREDE o transformador abaixador não está modelado e a carga está representada na barra de AT da respectiva concessionária.

(9) Barra existente somente no ANAFAS.

E foram criadas tabelas de equivalência, para se ter **uma primeira visão** no processo de pesquisa da diferença entre as bases de dados. As equivalências foram para:

Barras de subestações e barras fictícias.

- As barras fictícias de transformadores do ANAFAS, categoria 5, não possuem correspondência no ANAREDE, porque não são modeladas por este programa;
- Nem todas as barras fictícias que representam derivação de linha de transmissão no ANAFAS, categoria 6, são modeladas no ANAREDE;
- Algumas barras fictícias do ANAFAS, criadas para aplicação de falta (categoria 4), possuem correspondência com barras fictícias que representam derivação de linha de transmissão no ANAREDE.
- Todas as barras de subestações do ANAFAS possuem correspondência no ANAREDE, com exceção de algumas subestações industriais cuja carga, no ANAREDE está representada na barra da subestação que atende às respectivas indústrias (por exemplo, C.Cloro, COSIPA, etc).

Barras adjacentes às fictícias

Com o objetivo de conhecer ainda mais as conexões modeladas no ANAFAS foram identificadas, as barras conectadas diretamente à cada barra fictícia.

B. CONVERSÃO DA BASE DE DADOS ANAREDE PARA CAPE

A primeira atividade, para desenvolvimento da rotina de conversão (Anafas para DB), foi a pesquisa da estrutura da base de dados do CAPE, feita junto à Electrocon, o que resultou em tabelas de equivalência entre campos e **critérios de conversão**, entre os dois sistemas.

Assim sendo, foi gerada uma tabela de conversão e o desenvolvimento do software foi baseado nessa tabela.

C. MESCLAGEM DAS BASES DE DADOS

1) Mapas topológicos.

As tabelas de equivalência de barras desenvolvidas na fase de estudo das bases de dados serviram de insumo para os chamados MAPAS de equivalência entre Anafas e Anarede.

Foram então criados os mapas para a **ÁREA DE**

ESTUDO, que envolve CTEEP e vizinhanças:

- a) Equivalência de barras (“bus”) entre o Anarede e o Anafas, para a **Área de Estudo** (CTEEP e as concessionárias dentro do Estado de S. Paulo, mais as fronteiras com outras empresas interligadas)
- b) Equivalência de linhas / ramais (branches) e trechos de linhas entre o Anafas e o Anarede, para a **Área de Estudo**.
- c) Identificação das impedâncias em derivação (shunt) no Anafas, com mapas de impedâncias conectadas a barras, a saídas de linhas e aquelas correspondentes a transformadores.
- d) Identificação e equivalência da geração (Anarede) e as unidades geradoras (Anafas), com mapas de barras de Alta e Baixa tensão e os respectivos transformadores elevadores.
- e) Identificação (e eventual aquisição de informações referente a complementação de dados / correção) dos transformadores de potência da Área de Estudo, fazendo o mapa entre Anafas (Seqüências Positiva e Zero) e Anarede (Seqüência Positiva)

2) Software para Rotina de Mesclagem

Foi desenvolvido pela Electrocon, especialmente para o Projeto, a rotina de “merge” necessária para junção das bases de dados CAPE, originados do ANAFAS e ANAREDE, gerando uma única base de dados, que é processado considerando as condições de pré-falta nos estudos de curto-circuito, que foi o objetivo do projeto.

3) Processo de Aualização da Base de Dados

Quando há alterações no sistema interligado e não na CTEEP, podem-se processar as respectivas rotinas para se obter equivalentes, do Anafas e do Anarede. Os valores assim obtidos podem ser usados para atualizar os dados (apenas dos circuitos equivalentes) diretamente no arquivo CAPE, sem necessidade de repetir todo o processo desenvolvido neste projeto. Os equivalentes de curto-circuito devem ser utilizados para atualizar as impedâncias de seqüência zero e os equivalentes de fluxo de potência para as impedâncias de seqüência positiva.

Quanto há alterações no sistema CTEEP ou na área de estudo, há duas maneiras para se fazer a atualização da base de dados:

- a) Utilizando os recursos do CAPE.

A base de dados resultante pode ser atualizada diretamente, dentro dos recursos já existentes de manutenção de base de dados do CAPE, não havendo mais necessidade de junção dos dados básicos.

- b) Fazer mapas topológicos segundo o processo desenvolvido

A rotina de “merge” foi feita no sentido de que as atualizações, para contemplar mudanças de topologia na rede, podem ser feitas de modo INCREMENTAL, isto é, o trabalho de mapeamento só é grande na primeira montagem. Assim, se faz mapa apenas do que foi alterado e se processa a rotina.

VI. PONTOS CRÍTICOS

Os pontos críticos que tiveram que ser superados para a conclusão do projeto foram os seguintes:

- a) Garantida de convergência do caso de fluxo de potência, pela base de dados resultante no CAPE.

A convergência do caso de fluxo de potência (que é basicamente o processamento da base do Anarede convertida para o CAPE) é essencial, sendo que o perfil de tensão nas barras da área de estudo tem que ser o mais preciso possível.

Para se atingir esse objetivo, teve que ser considerada a **diferença dos modelos de fluxo de potência entre CAPE e ANAREDE**. Conforme já citado, há diferenças de modelagem. Então, a abordagem para converter esses pontos do Anarede para o CAPE mereceu uma atenção maior, com pesquisa detalhada do modo de processamento do fluxo de potência.

Um exemplo de diferença é também o modelo do sistema de corrente contínua utilizado no Anarede, que tem uma série de peculiaridades que não são contempladas pelo CAPE. Neste caso, uma solução para a conversão foi gerar um equivalente que substitui o sistema de corrente contínua representado no Anarede.

- b) Correta representação do conjunto Anarede + Anafas no CAPE

A necessidade de uma representação o mais fiel possível do sistema brasileiro, representado (como dado de entrada) pelas bases Anafas e Anarede, pode ser considerado como ponto crítico.

Já foram mencionados, no item anterior, os aspectos relacionados a barras, circuitos, geradores, transformadores, impedâncias shunt, etc.

O uso de circuitos equivalentes fora da área de estudo pode, entretanto, ser considerado, uma vez que não introduz erro sensível de processamento na área de estudo.

- c) Eliminação de erros antes da conversão para o CAPE.

Um outro ponto crítico foi a necessidade de eliminação de erros que existiam nas bases originais do Anarede do Anafas.

Essa correção deve ser feita antes da respectiva conversão para o CAPE, pois nenhum software ou programa de “mer-

ge” poderá detectar ou corrigir erros previamente existentes.

Como exemplo de erros podem ser citados:

- Circuitos identificados diferentemente entre Anafas e Anarede.
- Existência de circuitos no Anarede e não no Anafas, para o mesmo período de validade. Trata-se de uma inconsistência que pode ser considerada como erro em uma base de dados ou na outra.
- Diferença sensível de topologia.
- Níveis de tensão indicados ou digitados incorretamente.

VII. CONCLUSÃO

A. PRODUTOS

Os seguintes produtos foram disponibilizados pelo projeto:

- Módulo de conversão da base de dados do Anarede (Programa de cálculo de Fluxo de Potência), para CAPE.
- Atualização do módulo (existente) de conversão da base de dados do Anafas (Programa de cálculo de Curto-Circuito), para o CAPE.
- Módulo de mesclagem (“merge”) dos arquivos CAPE que são originados das bases Anafas e Anarede, gerando arquivo único para processamento segundo objetivo do projeto.

B. RESULTADO

Pode-se afirmar que o projeto foi concluído com sucesso, atingindo o objetivo pretendido.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Manuais:

- [1] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, "ANAFAS - Análise de Falhas – Manual do Usuário", Versão 4.2, Out. 2005.
- [2] CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, "ANAFAS - Análise de Falhas – Manual Tutorial", Versão 4.2, Out. 2005.
- [3] ELECTROCON International Inc., "Installation Instructions and Getting Started Exercises for the CAPE Demonstration Software", Build Date: July 31, 2003.
- [4] ELECTROCON International Inc., "Power Flow Data in the CAPE Database", Build Date: July 31, 2003.
- [5] ELECTROCON International Inc., "Applying a User Defined Fault", Build Date: July 31, 2003.

Relatórios Técnicos:

- [6] CAPE USER'S GROUP, "Transferring Network Data To and From the CAPE Database in the Computer-Aided Protection Engineering System (CAPE)", December 2003.
- [7] CAPE USER'S GROUP, "An Introduction to the CAPE Interface", July 2006.