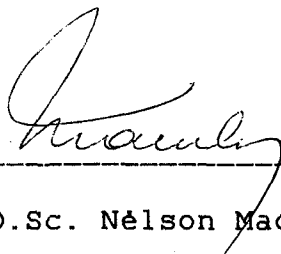


UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA
ESCOLHA DOS FATORES DE ESCALA DO TNA

Otávio Augusto Salgado Carpinteiro

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
POS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIENCIAS (M.Sc.) EM ENGENHARIA DE SISTEMAS
E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:



Prof. D.Sc. Nelson Maculan Filho
(Presidente)



Pesq. D.Sc. Mário Veiga Ferraz Pereira



Prof. D.Sc. João Lizardo R. H. de Araújo

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 1988

Ficha Catalográfica

CARPINTEIRO, OTAVIO AUGUSTO SALGADO

Um Sistema Especialista para Escolha dos Fatores
de Escala do TNA (Rio de Janeiro) 1988.

X, 215 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia
de Sistemas e Computação, 1988)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE.

1. Fatores de Escala do TNA

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Agradecimentos

Ao Professor D.Sc. Nélson Maculan Filho e ao Pesquisador D.Sc. Mário Veiga Ferraz Pereira pela orientação da tese e pelo apoio prestimoso e oportuno ao longo deste período.

Aos Pesquisadores M.Sc. Glória Suzana Gomes de Oliveira e Márcio Antônio Guedes Drummond pela dedicação nas diversas reuniões que fizemos para a especificação do problema da escolha dos fatores de escala do TNA.

Ao Pesquisador D.Sc. Acher Mossê pela oportunidade do desenvolvimento da tese no CEPTEL.

Ao apoio financeiro recebido do CNPq, CAPES e Sociedade Cultural e Beneficente Guilherme Guinle.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA
ESCOLHA DOS FATORES DE ESCALA DO TNA

Otávio Augusto Salgado Carpinteiro

Março de 1988

Orientador: Nelson Maculan Filho

Co-Orientador: Mário Veiga Ferraz Pereira

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

A tese visa o desenvolvimento de um sistema especialista para a escolha dos fatores de escala do analisador de transitórios em redes elétricas (Transient Network Analyser - TNA). A partir dos dados de entrada, específicos de cada caso em estudo, o sistema especialista vai apontando as restrições demasiadamente fortes e oferecendo sugestões para a alteração das mesmas para que possa, por fim, obter os quatro fatores de escala: de tensão, de impedância, de corrente e de potência.

O sistema especialista foi desenvolvido em linguagem Turbo PROLOG em um microcomputador da linha IBM-PC.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

**AN EXPERT SYSTEM
FOR CHOOSING THE TNA SCALE FACTORS**

Otávio Augusto Salgado Carpinteiro

March, 1988

Chairman: Nélson Maculan Filho

Co-Chairman: Mário Veiga Ferraz Pereira

Department: System Engineering and Computation

The thesis aims at developing an expert system for choosing the Transient Network Analyser (TNA) scale factors. Starting from the specific initial data for each study, the expert system points out the unfeasible constraints and offers suggestions for the alteration of those ones in order to produce the four scale factors: of tension, of impedance, of current and of power.

The expert system was developed in Turbo PROLOG in an IBM-PC compatible microcomputer.

Indice

Folha de Rosto	i
Ficha Catalográfica	ii
Agradecimentos	iii
Resumo em Português	iv
Resumo em Inglês	v
Indice	vi
CAPITULO I - Introdução	1
CAPITULO II - Introdução sobre inteligência artificial e sistemas especialistas	4
II.1 - Introdução sobre inteligência artificial	4
II.1.1 - Areas da inteligência artificial	4
II.1.2 - A inteligência artificial e a quinta geração	7
II.2 - Introdução sobre sistemas especialistas	8
II.2.1 - Formas de representação do conhecimento	9
II.2.2 - Domínios de atuação e características de sistemas especialistas	12
CAPITULO III - Introdução sobre PROLOG	16
III.1 - Linguagens procedimentais e linguagens descritivas	16
III.2 - Ambientes, LISP, OPS5 e PROLOG	18
III.3 - Fundamentos do PROLOG	20
III.4 - Conclusões sobre o PROLOG	26

CAPITULO IV	- O analisador de transitórios em redes elétricas (TNA)	27
IV.1	- Sistemas de potência	27
IV.2	- Fenômenos transitórios	29
IV.3	- O analisador de transitórios em redes elétricas (TNA)	30
CAPITULO V	- Aplicação de inteligência artificial no TNA	34
CAPITULO VI	- Proposta de incorporação de inteligência artificial no TNA	46
VI.1	- Processo de aquisição do conhecimento	46
VI.2	- Especificação do modelo computacional	47
VI.2.1	- Escolha dos fatores de escala de tensão	49
VI.2.1.1	- Escolha da tensão-base	49
VI.2.1.2	- Cálculo das tensões de Joelho das bobinas saturáveis	49
VI.2.1.3	- Teste das tensões de Joelho das bobinas saturáveis	49
VI.2.1.4	- Cálculo dos fatores de escala de tensão	50
VI.2.2	- Escolha dos fatores de escala de impedância	50
VI.2.2.1	- Cálculo do fator de escala de impedância mínimo para o maior nível de tensão	51
VI.2.2.2	- Cálculo do fator de escala de impedância máximo para o maior nível de tensão	52

VI.2.2.3 - Cálculo do intervalo de fatores de escala de impedância para o maior nível de tensão	53
VI.2.2.4 - Teste do intervalo de fatores de escala de impedância para o maior nível de tensão	53
VI.2.2.5 - Escolha do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão	54
VI.2.2.6 - Cálculo dos fatores de escala de impedância para os demais níveis de tensão	54
VI.2.2.7 - Cálculo das resistências de fase e neutro do pi de linha	54
VI.2.2.8 - Teste das resistências de fase e neutro do pi de linha	55
VI.2.2.9 - Cálculo das indutâncias de fase e neutro do pi de linha	58
VI.2.2.10 - Teste das indutâncias de fase e neutro do pi de linha	58
VI.2.2.11 - Cálculo das capacitâncias de fase e neutro do pi de linha	61
VI.2.2.12 - Teste das capacitâncias de fase e neutro do pi de linha	62
VI.2.2.13 - Cálculo das reatâncias indutivas séries	65
VI.2.2.14 - Teste das reatâncias indutivas séries	65
VI.2.2.15 - Cálculo das reatâncias indutivas paralelas	67

VI.2.2.16 - Teste das reatâncias indutivas paralelas	67
VI.2.3 - Escolha dos fatores de escala de corrente	69
VI.2.3.1 - Cálculo dos fatores de escala de corrente	69
VI.2.3.2 - Cálculo dos valores das correntes nas bobinas	69
VI.2.3.3 - Teste dos valores das correntes nas bobinas	70
VI.2.3.4 - Cálculo dos valores das correntes nos pára-raios	71
VI.2.3.5 - Teste dos valores das correntes nos pára-raios	71
VI.2.3.6 - Cálculo dos valores das correntes nas chaves	73
VI.2.3.7 - Teste dos valores das correntes nas chaves	73
VI.2.3.8 - Cálculo dos valores das correntes nas fontes	75
VI.2.3.9 - Teste dos valores das correntes nas fontes	75
VI.2.3.10 - Cálculo dos valores das correntes mínimas	76
VI.2.3.11 - Teste dos valores das correntes mínimas	77
VI.2.4 - Escolha dos fatores de escala de potência	77
VI.3 - Exemplificação do modelo computacional	78
VI.4 - A abordagem de inteligência artificial para o modelo computacional	84

CAPITULO VII - O protótipo	87
VII.1 - Implementação em PROLOG	87
VII.2 - Especificação do protótipo	87
VII.2.1 - Módulo principal	88
VII.2.2 - Módulo de relações auxiliares	88
VII.2.3 - Módulo de inicialização	88
VII.2.4 - Módulo de impressão	89
VII.2.5 - Módulo do fator de escala de tensão	89
VII.2.6 - Módulo do fator de escala de impedância	89
VII.2.7 - Módulo do fator de escala de corrente	90
VII.2.8 - Módulo do fator de escala de potência	90
VII.3 - Exemplificação do uso do protótipo	90
VII.4 - Estudo de casos	94
VII.5 - Conclusões	96
CAPITULO VIII - Conclusões	98
VIII.1 - Avaliação do processo de desenvolvimento do sistema especialista	98
VIII.2 - Avaliação do protótipo	99
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	101
APENDICE A - Aspectos de implementação	A-1
APENDICE B - Listagem das mensagens	B-1
APENDICE C - Figuras	C-1

CAPITULO I

Introdução

O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), localizado no Rio de Janeiro e pertencente ao grupo Eletrobrás, visa, principalmente, o desenvolvimento de tecnologia de ponta na área de energia elétrica. Uma de suas divisões, a Divisão de Simulação de Redes Elétricas (DVSR), é quem responde pela simulação ou estudo de redes no analisador de transitórios em redes elétricas (Transient Network Analyser - TNA). Para metodizar tal simulação, a DVSR criou, fracionado em blocos de um fluxograma, o sistema de cálculo e montagem do TNA. Atualmente, este sistema encontra-se, em sua maioria, não automatizado o que acarreta um excessivo trabalho aos pesquisadores e, igualmente, um tempo excessivo para cada estudo a ser realizado.

A escolha dos fatores de escala do TNA é um dos blocos do sistema que exige, ao mesmo tempo, muito trabalho, conhecimento e experiência por parte de quem o executa. O objetivo deste trabalho é, através de um sistema especialista, escolher tais fatores de modo que a rede em estudo possa ser modelada em escala no TNA.

O sistema especialista foi desenvolvido em linguagem Turbo PROLOG em um microcomputador da linha IBM-PC. Modela, por intermédio de bases de fatos e de regras, o conhecimento e a experiência dos especialistas na escolha dos fatores de escala. Encontra-se em uso desde setembro de 1987 e vem, desde esta data, respondendo satisfatoriamente às necessidades da divisão.

O presente trabalho é dividido em oito capítulos e três

apêndices.

O segundo capítulo é uma introdução sobre inteligência artificial (IA) e sistemas especialistas. Apresenta, de forma genérica, as áreas mais expressivas de pesquisa em IA e, com maior profundidade, a dos sistemas especialistas.

O terceiro capítulo é uma introdução sobre PROLOG. Após uma ligeira explanação sobre linguagens procedimentais, aborda, em detalhes, as linguagens descritivas e lógicas. Uma apresentação dos fundamentos do PROLOG e algumas breves conclusões sobre ele encerram o capítulo.

O quarto capítulo versa sobre o analisador de transitórios em redes elétricas (Transient Network Analyser - TNA). Após uma introdução sobre sistemas de potência e fenômenos transitórios, descreve os componentes do TNA e os principais estudos que nele podem ser realizados.

O quinto capítulo apresenta, basicamente, o sistema de cálculo e montagem do TNA e aponta onde, em suas partes, se permite uma abordagem de inteligência artificial (IA).

O sexto capítulo expõe a proposta de incorporação de IA no TNA. Tece comentários sobre o processo de aquisição do conhecimento para o desenvolvimento do sistema especialista e apresenta, de forma especificada, o seu modelo computacional. Por fim, exemplifica tal modelo e discorre sobre a necessidade da abordagem de IA para o mesmo.

O sétimo capítulo apresenta o protótipo. Comenta a sua implementação em PROLOG, exhibe os seus módulos, exemplifica o seu uso e, por último, apresenta um estudo de casos e algumas conclusões para a avaliação do mesmo.

O oitavo capítulo tece as conclusões finais. Tem por objetivo este último capítulo a avaliação global do processo de

desenvolvimento do sistema especialista e, mais especificamente, a avaliação da sua implementação.

O primeiro apêndice expõe alguns aspectos de implementação.

O segundo apêndice lista todas as mensagens que o protótipo emite.

O terceiro apêndice contém as figuras.

CAPITULO II

Introdução sobre inteligência
artificial e sistemas especialistas

II.1 - Introdução sobre inteligência artificial

"Inteligência artificial (IA) é o estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas que, no momento, são mais bem realizadas por seres humanos" (RICH [35]).

Essa definição é um tanto abrangente. É bom, porém, que o seja, posto que, não só consegue delimitar a ampla área de atuação da IA, como também evita o rigor de precisar conceitos como o que é artificial, o que é inteligência, o que é pensamento em máquinas.

Segundo THIOLENT [41], "na relação entre pensamento e máquina, sempre se coloca a questão de saber se a máquina é capaz de pensar e se tem sentido atribuir a ela alguma forma de inteligência. Isto constitui um tema clássico da reflexão filosófica e da teoria da cognição. É a questão chave da IA. Ao abordá-la, é preciso ter muita modéstia" pois, partindo da linha de Wittgenstein, que julga o pensamento como um conceito puramente humano (WITTGENSTEIN [46]), até ao extremo oposto, o ultrapositivismo de Simon e Newell que reduz o comportamento humano ao de um autômata (THIOLENT [41]), muito se tem escrito sobre tal questão (BOUVERESSE [3]).

II.1.1 - Áreas da inteligência artificial

Várias áreas de pesquisa têm lugar dentro do escopo da IA. Dentre as mais importantes, pode-se citar:

a) Jogos em geral

Dentre os jogos em geral, a pesquisa neste campo visa sobretudo àqueles que requeiram habilidade. Portanto, destacam-se, sem dúvida, os programas projetados para jogar damas (SAMUEL [37]) e xadrez (SHANNON [38]).

b) Prova de teoremas

A pesquisa neste campo visa, basicamente, o desenvolvimento de programas que provem teoremas matemáticos (GELERNIER et alii [20] e FIKES e NILSSON [15]).

c) Visão

"Os programas de visão desenvolvidos por investigadores de IA comparam imagens recolhidas por uma câmara-laser ou um diodo emissor de luz (LED) com representações armazenadas daquelas imagens" (GARFIELD [19]).

Como exemplo, pode-se citar o ACRONYM, um programa experimental desenvolvido por R. A. Brooks, Stanford University, que identifica objetos em diferentes configurações e em perspectivas nunca reconhecidas anteriormente. Pode também adivinhar a identidade de um objeto baseado numa vista parcial do mesmo (BROOKS [4]).

Segundo GARFIELD [19], os programas de visão estão em uso, atualmente, "para o controle de qualidade industrial e inspeção" e, no futuro, "terão sua maior aplicação em robótica".

d) Robótica

Ramifica-se a pesquisa na área de robôs em várias linhas. Por exemplo, uma delas visa principalmente estudar os problemas

de equilíbrio e locomoção. Inseridas nesta linha estão as máquinas de andar (RAIBERT e SUTHERLAND [34]). Outra das linhas concentra-se em desenvolver veículos autônomos ou semi-autônomos que usem diferentes espécies de sensores para obter dados sobre o mundo real. O CMU Rover (MORAVEC [30] e MORAVEC [31]) ou o carro de Stanford (MORAVEC [29]) estão situados nesta linha. Outra das linhas visa o desenvolvimento de membros mecânicos que se assemelhem, quanto ao grau de mobilidade, aos membros humanos. Situados nesta linha estão as mãos e braços mecânicos.

A grande aplicação dos robôs é, hoje em dia, na indústria. Vários pesquisadores, incluindo John McCarthy, Stanford University, crêem que, um dia, a IA pode tornar possível o desenvolvimento de uma máquina de manufatura universal, ou seja, um robô capaz de confeccionar os diversos produtos de cada projeto (HILTS [24]).

e) Linguagem natural

"Desde que a linguagem é o reflexo mais tangível do pensamento humano, pesquisadores em IA acharam que simular a linguagem seria um importante passo em direção a simular o pensamento" (GARFIELD [18]).

Desde os primeiros programas, que tinham por objetivo a tradução de textos (GARFIELD [18]), até os atuais, que tratam a linguagem em apenas um tópico restrito (GARFIELD [19]), muito se tem investido e desenvolvido nesta extensa área. Uma das grandes aplicações em linguagem natural, são, sem dúvida, os programas que servem de interface entre o ser humano e algum outro programa comercial, como, por exemplo, um banco de dados.

f) Sistemas especialistas

A pesquisa nesta área tem por objetivo desenvolver programas que resolvam problemas especializados. Tal tópico será abordado em maior profundidade, mais adiante, no presente capítulo.

II.1.2 - A inteligência artificial e a quinta geração

Intimamente ligado a área da inteligência artificial está o projeto do computador de quinta geração. Segundo THIOLENT [41], "um de seus aspectos mais importantes consiste no fato de que, além de processar dados, os computadores serão capazes de processar conhecimentos, conceitos, informações não quantitativas ou incompletas, isto é, reproduzir artificialmente processos cognitivos especializados próximos do pensamento humano".

As funções requeridas para um sistema de quinta geração, segundo os planos do Institute of New Generation Computer Technology (ICOT), são as seguintes (LEMMONS [27]):

a) Função de inferência e solução de problemas

"Pretende-se com esta função capacitar o sistema a achar soluções de problemas, levando a cabo raciocínio lógico, usando dados e conhecimentos armazenados no sistema bem como informação vinda de fora" (LEMMONS [27]).

b) Função de base de conhecimentos

"Pretende-se que esta função provenha armazenamento sistemático e recuperação não só de dados requisitados mas também de julgamentos racionais e resultados de testes organizados de um conhecimento" (LEMMONS [27]).

c) Função de interface inteligente

"Pretende-se com esta função capacitar os computadores a manusear fala, gráficos e imagens de modo que possam interagir com seres humanos de modo flexível e fácil" (LEMMONS [27]).

d) Função de programação inteligente

"Pretende-se com esta função melhorar a inteligência dos computadores de modo que possam assumir o fardo de programar dos seres humanos" (LEMMONS [27]).

Para alcançar estas quatro funções acima, requerer-se-á o desenvolvimento de novas tecnologias abarcando os diversos campos de hardware, software e arquitetura, como, por exemplo, o processamento paralelo.

II.2 - Introdução sobre sistemas especialistas

"Sistemas especialistas são programas que resolvem problemas substanciais geralmente admitidos como sendo difíceis e requerendo destreza. São chamados, igualmente, de sistemas expertos ou baseados em conhecimento porque seu desempenho depende criticamente do uso de fatos e heurísticas usados por especialistas" (STEFIK et alii [40]).

Segundo GONDRAN [21], "os sistemas especialistas se colocam na interseção de duas abordagens da IA, a representação do conhecimento e a demonstração automática. Serão, portanto, formados de duas partes independentes:

- Uma base de conhecimentos,
- Um motor de inferência ou demonstrador de teoremas".

"A base de conhecimentos traduz, em uma linguagem declarativa e modular, os conhecimentos especializados em um

domínio. O motor de inferência é encarregado de chamar e utilizar as informações armazenadas dentro da base de conhecimentos, com conhecimento de causa, para responder a uma pergunta ou resolver um problema" (GONDRAN [21]).

Para ilustrar os conceitos acima, lançar-se-á mão do conhecido silogismo:

Os homens são mortais,
Sócrates é um homem,
logo Sócrates é mortal.

Para que a máquina conclua o silogismo acima, ou seja, que Sócrates é mortal, devem-se introduzir as seguintes informações na base de conhecimentos:

- Sócrates é um homem.
- Se homem, então mortal.

O motor de inferência, a partir dos dados da base de conhecimentos, deduzirá que Sócrates é mortal. É bom ressaltar que, ao final do processo, esta dedução tornar-se-á mais um fato pertencente à base de conhecimentos.

II.2.1 - Formas de representação do conhecimento

Como mencionado, a base de conhecimentos armazena as informações pertinentes a um domínio. Normalmente, tais conhecimentos são representados ou por regras ou por redes ou por quadros (frames).

a) Regras

"As regras ou regras de produção constituem-se no mais popular método de representação de conhecimento para sistemas especialistas" (KASTNER e HONG [25]).

"Embora haja algumas variações dentre implementações, as

regras de produção são usualmente da forma: se um conjunto de condições é satisfeito, então um conjunto de consequências pode ser produzido" (KASTNER e HONG [25]). Por exemplo, se homem, então mortal.

Um fato a ressaltar é que as consequências de uma regra podem não ser completamente verdadeiras. Podem trazer, associadas consigo, algum fator numérico representando ou uma probabilidade ou uma medida de credibilidade para a conclusão. Como exemplo de sistemas que usam fatores numéricos associados a regras, pode-se citar o MYCIN (SHORTLIFFE [39]) e o PROSPECTOR (DUDA et alii [14]).

"Muitos especialistas acham que regras são um meio conveniente para exprimir os seus conhecimentos em um domínio". Outrossim, sistemas especialistas baseados em regras têm, como sua maior vantagem, a habilidade de poderem ser ampliados de modo fácil simplesmente adicionando-se mais regras à base (KASTNER e HONG [25]).

Chama-se estratégia de controle à forma como o motor de inferência atua sobre as regras. "A estratégia de controle é quem controla a entrada e a saída, seleciona que regras a avaliar e provê a sequência das operações" (KASTNER e HONG [25]). Várias estratégias foram tentadas incluindo: avaliar primeiro a regra com a mais complexa parte se (FORGY e McDERMOTT [17]), fixar prioridades pré-definidas a cada regra (GRIESMER et alii [22]) e permitir às regras serem ordenadas pelo engenheiro do conhecimento (WEISS et alii [44]). "Recentemente, pesquisadores propuseram que a parte principal da estratégia de controle seja explicitamente codificada do mesmo modo que as informações sobre o domínio" (KASTNER e HONG [25]). As regras que controlam o processo de inferência são,

então, chamadas meta-regras (DAVIS e BUCHANAN [11]). GONDRAN [21] é claro em sua explanação: "Em matemática, por exemplo, devemos adivinhar um teorema antes de o demonstrar. Devemos adivinhar o princípio geral da demonstração antes de entrar nos detalhes da mesma. A este conhecimento, sobre a maneira de se utilizar os conhecimentos, chama-se meta-conhecimento. Em sistemas especialistas baseados em regras de produção, este meta-conhecimento representar-se-á por regras ditas meta-regras. O desempenho de um sistema vai, portanto, depender fortemente da qualidade das meta-regras que se introduziu e estas são as mais difíceis de se determinar".

"A maioria dos sistemas baseados em regras, então, consiste em um conjunto de regras de produção e alguma forma de estratégia de controle, de forma implícita na implementação ou explicitamente codificada como meta-regras, para manipulá-las" (KASTNER e HONG [25]).

b) Redes

Uma outra forma de se representar conhecimentos é através de redes. Nela, "conceitos são representados por um grupo de nós associados entre si por meio de ligações. As ligações, muitas vezes, representam conceitos, tais como: exemplo de, é um, parte de, sub-conceito de" (KASTNER e HONG [25]). Por exemplo, no sistema CASNET, os nós representam estados de doença e as ligações entre eles representam a causa (KULIKOWSKI e WEISS [26]).

Resumindo, "um sistema especialista baseado em redes consiste em um conjunto de nós, representando hipóteses a se considerar na solução do problema, conectados por ligações. Geralmente, as ligações têm fixado fatores subjetivos de

credibilidade que representam o grau de confiança na sua associação entre os nós. Uma estratégia de controle percorre a rede usando os fatores de credibilidade, concentra o controle em nós específicos e seleciona o conjunto de nós de saída após o término do processamento" (KASTNER e HONG [25]).

c) Quadros (Frames)

"Um quadro é uma estrutura que reúne conhecimento sobre um conceito particular. Tipicamente, é representado no computador por um grupo de aberturas (slots) e valores associados. Os valores podem ser, por sua vez, outros quadros" (KASTNER e HONG [25]). Por exemplo, um quadro do conceito pássaro poderia ter como valores: asas, bico, voar, penas. Portanto, quando o computador se referenciar a pássaro, saberá que tem penas, asas, bico e que voa.

"Quadros provêm modularidade e uniformidade de representação. Muitas vezes, pode-se representar um novo conceito simplesmente adicionando-se um novo quadro. Também, a falta de informação sobre um conceito é patente pois a abertura para aquela informação estará vazia" (KASTNER e HONG [25]).

II.2.2 - Domínios de atuação e características de sistemas especialistas

Atualmente, existem sistemas especialistas em atividade em vários domínios do conhecimento humano. Dentre muitos, pode-se citar o MYCIN (SHORTLIFFE [39]) para solução de problemas em medicina, DENDRAL (BUCHANAN e FEIGENBAUM [5]) em química, R1 (McDERMOTT e WILLIAMS [28]) em computação, ELAS (WEISS et alii [45]) em exploração de petróleo, MACSYMA (NASA [32]) em álgebra e cálculo, IAP (WOLLENBERG [47]) em sistemas de potência.

"Para que um sistema especialista seja uma ferramenta efetiva, seres humanos devem ser capazes de interagir com ele facilmente. Para facilitar tal interação, é importante que tenha, além da habilidade de realizar sua tarefa fundamental, as duas seguintes características:

- Explicar seu raciocínio. Em muitos domínios em que operam sistemas especialistas, os indivíduos não aceitarão resultados a não ser que sejam convencidos da correção do processo de raciocínio que gerou aqueles resultados. Assim, é importante que tal processo ocorra em passos compreensíveis e que suficiente meta-conhecimento (conhecimento sobre o processo de raciocínio) seja disponível para que as explicações dos mesmos passos possam ser geradas.
- Adquirir novos conhecimentos e modificar os antigos. Uma vez que o poder dos sistemas especialistas deriva da riqueza das bases de conhecimento que exploram, é extremamente importante que sejam tão completas e precisas quanto possível" (RICH [35]). Também, "por manter separados a informação e o controle, ao contrário dos programas procedimentais onde a informação é parte da lógica do programa, o sistema especialista pode, a todo momento, receber do especialista novos conhecimentos sem necessidade de qualquer nova programação" (GONDRAN [21]).

O domínio de atuação de um sistema especialista é "particularmente bem adaptado para resolver certos tipos de problemas onde:

- Se dispõe de uma grande quantidade de conhecimentos.
- O conjunto de conhecimentos não é fixo mas evolutivo.
- Os conhecimentos são de preferência heurísticos ao invés

de algorítmicos.

- O tratamento simbólico das informações prevalece sobre o tratamento numérico.
- Uma análise qualitativa do problema e de seu contexto emprega-se tanto senão mais que uma análise quantitativa.
- O caminho para se chegar a uma solução é tão importante quanto a solução em si" (GONDRAN [21]).

Segundo GONDRAN [21], os sistemas especialistas têm um futuro bastante promissor. "As bases de conhecimento vão revolucionar completamente o armazenamento de informações". Além disso, "no diálogo homem-máquina, não será mais necessária a intervenção de um especialista em informática" para, por exemplo, escrever programas computacionais.

Hoje em dia, porém, a situação é diversa. Apesar de haver bons e muito utilizados sistemas, como os mencionados anteriormente, o desenvolvimento dos mesmos depara-se com algumas dificuldades. De fato, "é necessária uma grande quantidade de conhecimentos para se abordar um domínio restrito" (GONDRAN [21]). Do mesmo modo, outro problema surge quando se tenta construir uma base de conhecimentos pois é difícil "explicitar regras do comportamento humano" (GONDRAN [21]).

Por fim, devemos dizer que há um longo caminho a trilhar. No entanto, a pesquisa caminha passo a passo partindo de pequenos sistemas, em domínios restritos, para enfim chegar à criação de grandes sistemas que abranjam um grande domínio do conhecimento. Para estes, já existe uma promessa de viabilidade pois, com o advento da quinta geração, os computadores tornar-se-ão mais rápidos e com mais memória

para abrangê-los.

CAPITULO III

Introdução sobre PROLOG

III.1 - Linguagens procedimentais e linguagens descritivas

"Os computadores vêm sendo programados basicamente da mesma forma desde quando von Neumann descreveu, por primeira vez, o conceito de programa armazenado em memória. A linguagem de máquina e o assembler foram as primeiras linguagens de programação. A seguir, surgiram as de alto nível como o FORTRAN, COBOL, BASIC e, atualmente, ADA e Pascal. Todas estas compartilham uma mesma característica: o programador deve descrever precisamente como se computará um resultado ao invés de o que se computará. Também nestas, denominadas imperativas, programas incluem comandos que especificam ações a serem executadas. São ajustadas, portanto, à descrição do comportamento necessário para se alcançar o resultado desejado" (CLARK e McCABE [6]).

"A construção e manutenção de programas complexos tornam-se difíceis ao ter que se programar nesse nível de detalhes. Afastam a atenção do programador do essencial problema de resolver o objetivo que é requerido o que, conseqüentemente, torna algumas aplicações, em inteligência artificial em particular, virtualmente impossíveis" (HAMMOND e SERGOT [23]). KASTNER e HONG [25] abordam, de forma mais profunda, o problema: "A maioria das atividades humanas, compreendendo planejamento, projeto, análise ou consulta, não tem sido considerada prática ao ser programada em linguagens convencionais. Tais tarefas requerem processamento de símbolos e pensamentos ao invés de números. De fato, é extremamente

difícil descrever tais tarefas como um processo passo-a-passo. Normalmente, peritos não podem descrever, de forma procedimental, o processo inteiro de solução do problema. Contudo podem, sob interrogação persistente e treinada, fixar um grande número de peças de conhecimento sem uma sequência global coerente".

Os problemas acima mencionados incitaram um novo estilo de programação, um novo ramo de linguagens, as linguagens declarativas ou descritivas. "Neste estilo, o programador especifica uma computação ao dar uma descrição do que é para ser computado: dada uma entrada, qual deve ser a saída. Em outras palavras, o programador define o relacionamento que deve existir entre entrada e saída deixando, para a máquina, os detalhes de como se atingirá tal relacionamento" (HAMMOND e SERGOT [23]).

Segundo HAMMOND e SERGOT [23], "há três vantagens da programação descritiva que são menos óbvias, porém importantes:

- Programas descritivos não dependem da arquitetura da máquina na qual serão executados.
- Programas descritivos normalmente compreendem um conjunto completo de definições. Cada definição individual isola algum pequeno fragmento do programa e é a interação destes fragmentos que permite a especificação dos relacionamentos complexos.
- Programas descritivos apresentam comportamento semelhante. Cada definição individual é independente das demais. Assim, mudanças locais em definições alteram o programa de forma global ao alterar, tão somente, os relacionamentos complexos baseados em tais definições. Esta modularidade torna os programas descritivos relativamente fáceis de se

modificar e manter”.

“Um exemplo de programação descritiva é a programação lógica” (HAMMOND e SERGOT [23]). “Lógica foi originalmente delineada como um meio de se representar a forma dos argumentos de modo a ser possível verificar formalmente se são ou não válidos. Assim, pode-se usar lógica para expressar proposições, relacionamentos entre elas e para inferir, corretamente, algumas proposições de outras” (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

“Em programação lógica, um programa é, então, um conjunto de proposições. Estas são escritas em uma linguagem formal que necessita ser suficientemente precisa, para que possa o computador manipulá-las sem ambiguidade. Também, em programação lógica, toda a computação é um processo de inferência lógica” (HAMMOND e SERGOT [23]). Por conseguinte, programar em uma linguagem lógica, como PROLOG, “é dizer ao computador o que é verdadeiro e pedir a ele para tirar conclusões” (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

“A forma particular de lógica usada para expressar as proposições do programa e os tipos particulares de inferência que são considerados válidos dependem da forma particular de programação lógica que se está usando” (HAMMOND e SERGOT [23]). Por exemplo, como se verá mais adiante, ao se programar em PROLOG estar-se-á usando uma forma particular de lógica, lógica baseada em cláusulas, onde as proposições são expressas sob forma de cláusulas ou, mais especificamente, cláusulas de Horn (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

III.2 - Ambientes, LISP, OPS5 e PROLOG

Normalmente usam-se, ao se implementarem sistemas especialistas, ambientes (shells) ou linguagens descritivas

como LISP, OPS5 e PROLOG. Portanto, a seguir, referir-se-á a tais ambientes e linguagens abordando-se, com maior profundidade, a linguagem utilizada na implementação do protótipo, o PROLOG.

a) Ambientes

Ambientes são programas para desenvolvimento de sistemas especialistas. Incluem ferramentas para auxiliar na construção das bases de conhecimento e, na maioria das vezes, facilidades tais como a possibilidade de crítica dos dados de entrada, de maior interação com o usuário e de se questionarem as respostas obtidas. Ambientes auxiliam de forma eficaz a construção de sistemas especialistas por reduzir significativamente o seu tempo de desenvolvimento. Como exemplo, pode-se citar o APES (HAMMOND e SERGOT [23]), criado em 1984 pela Logic Based Systems Ltd. Tal ambiente possui "um mecanismo de inferência embutido e uma linguagem descritiva para representar o conhecimento especializado" (HAMMOND e SERGOT [23]).

b) LISP

LISP foi criada por John McCarthy no Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1958. LISP, LIST Processing, permite que tanto dados quanto procedimentos sejam representados por uma estrutura de lista o que fornece grande flexibilidade em aplicações de inteligência artificial.

c) OPS5

OPS5 foi criada na Carnegie-Mellon University no início da década de 80. OPS5, uma linguagem descritiva e interpretada, possui, atualmente, três interpretadores implementados em BLISS

e em dialetos do LISP. Tem sido de bastante eficácia em aplicações de inteligência artificial (FORGY [16]).

d) PROLOG

PROLOG, PROgramming in LOGic, foi criado na Universidade de Marselha no início da década de 70 por Alain Colmerauer. Seu primeiro interpretador foi implementado em ALGOL por Colmerauer e Roussel em Marselha em 1972 (COLMERAUER [9]). Depois, implementou-se um interpretador, mais eficiente e ampliado, desta vez em FORTRAN em 1973 (ROUSSELL [36]). A partir daí, muitas outras versões de PROLOG foram criadas. No entanto, somente no final dos anos 70 é que foi estabelecido por Clocksin e Mellish, professores da Universidade de Edinburgh, o PROLOG padrão de fato (CLOCKSIN e MELLISH [8]). Muitas implementações seguem este padrão, outras não. Como exemplo das que seguem pode-se citar o PROLOG DEC-10 (WARREN et alii [42]) e o Turbo PROLOG (BORLAND [2]). Das que não seguem, o micro-PROLOG (CLARK et alii [7]).

PROLOG é uma linguagem descritiva, mais particularmente, uma linguagem lógica baseada em cláusulas de Horn. Por este fato, PROLOG herda todas as características das linguagens descritivas além de possuir outras como a chamada das cláusulas por moldes e a possibilidade de processamento paralelo. Possui, igualmente, um mecanismo de inferência embutido que infere as regras realizando a computação.

III.3 - Fundamentos do PROLOG

Segundo CLOCKSIN e MELLISH [8], "programar em PROLOG consiste em:

- Declarar fatos sobre objetos e seus relacionamentos,

- Definir regras sobre objetos e seus relacionamentos e
- Fazer perguntas sobre objetos e seus relacionamentos".

Com as palavras acima, surgiram alguns conceitos. Portanto, introduzir-se-á agora, em linhas gerais, os fundamentos do PROLOG:

a) Cláusulas

Como mencionado anteriormente, em PROLOG, as proposições são expressas sob forma de cláusulas ou, mais especificamente, cláusulas de Horn. Cláusulas são ou fatos ou regras usados para exprimir os relacionamentos entre objetos.

b) Fatos

Suponha-se o fato: Caim matou Abel. Neste constam dois objetos, Caim e Abel, e um relacionamento, chamado matou. Em PROLOG, tal fato seria escrito deste modo:

```
matou(caim,abel).
```

Ao se escreverem fatos em PROLOG, deve-se fazê-lo segundo uma forma padrão, ou seja:

- "Os nomes de todos os relacionamentos e objetos devem começar com letras minúsculas.
- O relacionamento é escrito primeiro; os objetos são escritos separadamente por vírgulas e entre parênteses.
- O fato é encerrado por um ponto" (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

Chama-se base de fatos ao conjunto de fatos relativos a um domínio. Igualmente, chamam-se argumentos aos objetos dentro dos parênteses e predicados aos nomes dos relacionamentos. Deste modo, têm-se predicados:

- com um argumento: azul(bola). - a bola é azul,
- com dois argumentos: matou(caim,abel). - Abel matou Caim,

- com três argumentos: `deu(pedro,livro,maria)` - Pedro deu o livro a Maria,
e assim por diante.

c) Perguntas

"Uma vez definidos alguns fatos na base, pode-se fazer perguntas a respeito deles. Em PROLOG, uma pergunta é semelhante a um fato exceto pelo ponto de interrogação e pelo hífen que o precede. Considere-se a pergunta:

`?- possui(maria,livro).`

Se se interpretar `maria` como sendo uma pessoa chamada Maria e `livro` como sendo algum livro em particular, esta pergunta, em verdade, está inquirindo se Maria possui o livro" (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

"Sempre que se põe uma pergunta, o PROLOG procura, na base de fatos, fatos que combinem com o fato da pergunta. Dois fatos combinam se seus predicados são os mesmos e se seus argumentos correspondentes também o são" (CLOCKSIN e MELLISH [8]). No exemplo acima, o PROLOG procuraria na base por fatos da forma: `possui(maria,livro)`. Caso encontrasse, responderia sim, caso contrário, não. Deve-se ressaltar, no entanto, que uma resposta negativa significa apenas que o fato não existe na base e não que seja falso.

d) Variáveis

Seja a base de fatos:

`possui(maria,livro).`

`possui(maria,caneta).`

`possui(maria,borracha).`

Em vez de se perguntar se Maria possui o livro, quer-se

agora saber o que Maria possui. Neste caso, usa-se uma variável na pergunta:

```
?- possui(maria,X).
```

Assim, PROLOG executa um processo denominado unificação (instantiation), ou seja, para cada fato com o predicado possui, unifica a variável X ao seu segundo argumento dando como resposta livro, caneta e borracha.

"PROLOG pode distinguir variáveis de nomes de objetos particulares porque toma qualquer nome começando com maiúsculas como sendo uma variável" (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

Cabe agora apresentar uma outra característica de linguagens descritivas. Em PROLOG, os relacionamentos valem também em modo inverso, ou seja,

```
possui(maria,livro)..
```

pode significar tanto Maria possui o livro quanto o livro é possuído por Maria. Outrossim, sem ter que se alterar a base, pode-se alterar a ordem de execução do programa ao inquirir o inverso,

```
?- possui(X,livro)..
```

para saber quem possui o livro.

e) Conjunções

Suponha que se queira saber que objetos em comum possuem Paulo e Maria. Em PROLOG, pode-se inquirir de duas formas. Ou se faz a pergunta:

```
?- possui(paulo,X)..
```

seguida de:

```
?- possui(maria,Y)..
```

e se comparam os resultados de X e Y para se ver o que há em comum ou, mais facilmente, usa-se uma conjunção, representada

por uma vírgula, na pergunta:

?- possui(paulo,X), possui(maria,X).

"A vírgula é pronunciada e serve para separar qualquer número de diferentes objetivos. Quando, em uma pergunta, se apresenta uma sequência de objetivos, separados por vírgulas, o PROLOG tenta satisfazê-los, procurando-os na base, partindo da esquerda para a direita. Todos têm que ser satisfeitos para que a sequência seja satisfeita" (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

Chama-se retorno (backtracking) ao processo realizado pelo PROLOG quando "tenta, repetidamente, satisfazer e ressatisfazer objetivos entre conjunções" (CLOCKSIN e MELLISH [8]). Por exemplo, seja a base:

possui(paulo,caneta)..

possui(paulo,lapis)..

possui(maria,lapis)..

e seja a pergunta:

?- possui(paulo,X), possui(maria,X).

Para respondê-la, o PROLOG resolverá o primeiro objetivo tomando o primeiro fato da base e unindo (instantiating) a variável X ao objeto caneta. Depois, tentará resolver o segundo objetivo, ou seja, procurará na base por um fato, da forma:

possui(maria,caneta).

Como não existe tal fato, retornará (backtrack) ao primeiro objetivo liberando, ao mesmo tempo, a variável X. Em seguida, tomará o segundo fato da base e resolverá novamente o primeiro objetivo unindo a variável X ao objeto lapis. Depois, resolverá o segundo objetivo tomando o terceiro fato da base. Portanto, dará como resposta:

X = lapis.

f) Regras

"Em PROLOG, uma regra consiste em uma cabeça e em um corpo. A cabeça é separada do corpo por intermédio de dois pontos seguidos de um hífen. Tal separador é pronunciado se" (CLOCKSIN e MELLISH [8]). Por exemplo:

```
avo(X,Y) :- pai(X,Z), pai(Z,Y). - X é avô de Y se X é pai de
Z e Z é pai de Y.
```

Em PROLOG, "regras são sempre encerradas por um ponto" e "são usadas quando se exprimem fatos que dependam de outros fatos" (CLOCKSIN e MELLISH [8]). No exemplo acima, a cabeça

```
avo(X,Y)
```

depende dos fatos

```
pai(X,Z) e pai(Z,Y)
```

que compõem o corpo.

Chama-se base de regras ao conjunto de regras relativas a um domínio. Igualmente, chama-se base de conhecimentos ao conjunto de fatos e regras que jazem, respectivamente, na base de fatos e na de regras.

Tal como em uma pergunta, "quando se apresenta, em um corpo, uma sequência de objetivos, separados por vírgulas, o PROLOG tenta satisfazê-los, procurando-os na base, partindo da esquerda para a direita. Todos têm que ser satisfeitos para que a cabeça seja satisfeita" (CLOCKSIN e MELLISH [8]).

O processo de manipulação de sequências de objetivos, mencionado acima, aventa uma outra característica do PROLOG, a possibilidade de processamento paralelo. Tal possibilidade advém da independência entre si dos fatos em uma sequência. Assim, pode-se dar cada fato a um diferente processador de modo que este verifique a sua validade.

III.4 - Conclusões sobre o PROLOG

Finalizando, PROLOG é uma linguagem com futuro promissor. Concede muitas facilidades para a implementação de programas em inteligência artificial. Como visto, também se encaixa perfeitamente na nova linha de pesquisa em arquiteturas, o processamento paralelo. Não é, portanto, sem motivos que PROLOG foi escolhido pelo Japão para ser a linguagem básica de seu projeto de computador de quinta geração (BORLAND [2]).

CAPITULO IV

O analisador de transitórios em redes elétricas (TNA)

IV.1 - Sistemas de potência

Hoje em dia, há uma grande demanda de energia nos vários setores de empreendimento humano e, sem dúvida, ocupa a energia elétrica um lugar de destaque dentre os demais tipos de energia. No entanto, para que chegue aos consumidores, são necessárias várias etapas que, por assim dizer, compõem o chamado sistema de potência.

Segundo WEEDY [43], pode-se dividir um sistema de potência em três partes bem definidas. Em primeiro lugar, viria o que se chama geração da energia. Nos dias atuais, a energia elétrica é principalmente gerada nas hidrelétricas ou termoelétricas. Como segundo item, a transmissão. Por transmissão entende-se o grosso da transferência de energia pelas linhas de alta tensão entre a geração e os principais centros de carga. Por último, vem o que se chama distribuição, ou seja, a entrega da energia dos centros de carga para os consumidores através de circuitos de baixa tensão.

Constitui-se um sistema de potência, portanto, de vários circuitos em várias tensões (WEEDY [43]). Distingue-se dos demais sistemas de energia por suas características peculiares que influem de modo marcante nos métodos de engenharia a serem utilizados no seu projeto e operação (WEEDY [43]). Dentre várias, podem-se citar (WEEDY [43]):

- "A eletricidade, ao contrário do gás e da água, não pode ser armazenada". Portanto, terá que se usar outros meios, que não o armazenamento, para atender, por exemplo, a uma

demanda brusca de carga. Isto vai de encontro a um requisito importante em sistema de potência que é a confiabilidade de fornecimento, ou seja, ele é confiável quando a continuidade é assegurada. "Os engenheiros de controle têm a obrigação de manter, a cada instante, a potência fornecida pelos geradores igual à da carga solicitada com tensão e frequência em valor especificado" (WEEDY [43]).

- A configuração de um sistema de potência está sempre variando quer seja durante um dia, com as variações de carga solicitada, quer seja a longo prazo, pela evolução normal do sistema. Na verdade, "existe um continuo aumento na demanda de energia que equivale, aproximadamente, a dobrar a demanda a cada dez anos". Deste modo, "os circuitos são ampliados periodicamente ao invés de serem projetados, executados e mantidos inalterados" (WEEDY [43]).
- Outro aspecto importante é a distribuição geográfica dos rios e dos recursos minerais, a distribuição das fontes geradoras e dos centros de consumo. "Este aspecto é de grande interesse uma vez que as minas de carvão e as hidrelétricas estão situadas em áreas que não são necessariamente os centros de consumo de energia elétrica. Hoje em dia, por exemplo, a despeito da posição geográfica, é mais vantajoso, sob o ponto de vista econômico, utilizar usinas de grande potência a plena carga durante todo o dia e transmitir a energia produzida a grande distância ao invés de empregar, no atendimento da demanda, as usinas de menor potência situadas mais próximas dos centros de consumo" (WEEDY [43]).

IV.2 - Fenômenos transitórios

Como visto, a demanda de energia elétrica vem crescendo rapidamente. Para transmiti-la, os sistemas elétricos têm que evoluir introduzindo novos equipamentos e aumentando os níveis de tensão de transmissão (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]). Deste modo, aparecem problemas associados a fenômenos transitórios hoje em dia tão complexos como as próprias configurações das redes elétricas (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

Fenômenos transitórios são todos aqueles que aparecem em um sistema elétrico causando alteração nas oscilações da tensão ou da corrente por um longo ou curto período de tempo. Dentre várias causas que geram fenômenos transitórios, podem-se destacar (WEEDY [43]):

a) Desligamento

"Nas tensões altíssimas de operação, o desligamento do circuito é uma das causas principais do aparecimento de sobretensões que afetam não somente a linha e a instalação mas também a capacidade de interrupção do circuito pela própria chave". Isto porque, quando da abertura, toda a tensão do sistema surge subitamente entre os contactos do disjuntor estabelecendo-se então o chamado arco elétrico entre os mesmos. A corrente que se estabelece pode ser de dezenas de quiloampères. Portanto, o problema da extinção do arco e, conseqüentemente, o da abertura efetiva do circuito é de difícil solução (WEEDY [43]).

b) Energizações

"Quando da energização de um circuito, surgem oscilações por um curto período de tempo ocasionando, deste modo, sobretensões" (WEEDY [43]).

c) Ressonâncias

Também a excitação das ressonâncias que venham a ocorrer no sistema podem dar lugar a sobretensões (WEEDY [43]).

d) Defeitos

Dentre os diversos tipos de defeitos, o mais importante, sem dúvida, é o curto-circuito que acarreta, como é sabido, um aumento na corrente e perturbações nas tensões das fases sãs (fases que não estão em curto-circuito) (WEEDY [43]).

e) Raios

"Os raios representam a causa mais óbvia de sobretensões e podem tomar as seguintes formas: queda direta sobre a linha, queda direta sobre a torre e queda direta sobre os cabos pára-raios" (WEEDY [43]).

IV.3 - O analisador de transitórios em redes elétricas (TNA)

Os fenômenos transitórios constituem as causas predominantes de deterioração do isolamento em sistemas de alta tensão (BORGONOVO et alii [1]). Portanto, é imperioso, uma vez que acarretam graves danos ao sistema, que tais fenômenos sejam estudados quando do projeto de sistemas elétricos.

Por contar com precisão suficiente para manejar os refinamentos requeridos, o analisador de transitórios em redes elétricas (Transient Network Analyser - TNA) é uma das ferramentas mais importantes para o estudo de efeitos

transitórios durante o projeto de sistemas elétricos de potência (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]). "Ele permite estudar as causas e características dos diversos fenômenos transitórios que ocorrem em redes elétricas e seus efeitos nos equipamentos que compõem um sistema elétrico de potência. Com isto, obtem-se informação indispensável para o projeto e especificação dos equipamentos, seleção dos níveis de isolamento apropriados e estratégias para a operação correta do sistema" (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]). Dentre os estudos realizados no TNA, podem-se citar (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]):

a) Energização de linhas

"As sobretensões resultantes da energização e religamento de circuitos têm sido o critério principal para estabelecer os requisitos de isolamento de linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão. O TNA permite que se efetuem estudos probabilísticos de distribuição de sobretensões proporcionando informação mais realista para o projeto de isolamento de linhas de transmissão e equipamentos elétricos" (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

b) Carga armazenada em linhas de transmissão

"O valor de sobretensão, produto do fechamento rápido de disjuntores, é influenciado pelo nível de carga armazenada na linha de transmissão. A simulação desses casos no TNA permite conhecer com exatidão o nível de carga armazenada e a rapidez com que se descarrega" (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

c) Resistores de pre-inserção

"As sobretensões que se apresentam nas terminações de linhas de transmissão ao serem energizadas podem ser reduzidas ao se usarem resistores de pre-inserção nos disjuntores. Os valores de tais resistores e o tempo de sua atuação podem ser obtidos no TNA" (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

d) Dissipação de energia em pára-raios

"Na escolha dos pára-raios, além de se conhecer os níveis de sobretensão a que estarão submetidos, deve-se determinar a quantidade de energia que terão que dissipar". No TNA, pode-se calcular a energia dissipada nos pára-raios (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

Além desses, é importante frisar que também são realizados no TNA estudos sobre a duração e nível da corrente de arco elétrico nos disjuntores, estudos de energização de transformadores, de aplicação e eliminação de defeitos, de rejeição de carga e de desempenho de sistemas de controle e proteção conectando-se, neste caso, os controles e equipamentos de proteção reais ao TNA.

Sucedem-se alguns desses estudos na chamada fase de projeto e especificação onde o principal objetivo é a determinação das características do sistema e de seus equipamentos. Outros têm lugar na fase de comissionamento e visam testar o desempenho do sistema e determinar possíveis restrições de operação.

Dos estudos acima mencionados, obtêm-se dados necessários ao projeto do sistema, tais como dados para a coordenação de isolamento dos equipamentos, para a especificação de transformadores, para a determinação de possíveis restrições de operação, dados sobre as características de disjuntores, de

pára-raios e de sistemas de controle e proteção.

O TNA é um equipamento elétrico formado por componentes elétricos com ajustes discretos de valores: capacitores, resistências e bobinas são basicamente usados na modelagem das linhas de transmissão; usam-se fontes de tensão para a alimentação da rede a ser estudada; chaves síncronas têm como principal tarefa simular faltas e operações de quebra de circuito no sistema de potência (BORGONOVO et alii [1]).

Além de componentes elétricos, formam parte do TNA componentes de medição e aquisição de informações. Tais componentes, como osciloscópios, voltímetros, amperímetros, oscilógrafos e sistemas digitais de aquisição de dados, empregam-se na observação e gravação dos efeitos transitórios no sistema (BORGONOVO et alii [1]).

Atualmente, há analisadores de transitórios em redes elétricas em vários centros de pesquisas, como o IREQ no Canadá, CESI na Itália, Mc Graw Edison nos Estados Unidos, CEPEL no Brasil, e em algumas grandes companhias elétricas como a General Electric, Westinghouse e ASEA (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

O TNA do CEPEL foi projetado pelo CESI. Possui, no entanto, um sistema à base de microprocessadores que foi desenvolvido e construído no próprio CEPEL. Tal sistema permite a interligação do TNA a um computador digital VAX11-780 tornando possível, desse modo, uma operação mais automatizada, com custos mais baixos, velocidades de resposta maiores e resultados mais confiáveis.

O TNA iniciou, em 1980, a sua operação no CEPEL. Desde esta data, vem realizando estudos tanto para companhias concessionárias brasileiras quanto para estrangeiras.

CAPITULO V

Aplicação de inteligência artificial no TNA

Viu-se, no capítulo anterior, que o analisador de transitórios em redes elétricas (TNA) é uma das ferramentas mais importantes para o estudo de efeitos transitórios durante o projeto de sistemas elétricos de potência. Observou-se, também, que "permite estudar as causas e características dos diversos fenômenos transitórios que ocorrem em redes elétricas e seus efeitos nos equipamentos que compõem um sistema elétrico de potência" (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10]).

Surgem, pois, agora, as perguntas: Como é feito esse estudo? Quais as suas etapas? Quais os fatores envolvidos e as dificuldades?

Segundo DRUMMOND e OLIVEIRA [13], "cada rede a ser estudada exige um trabalho quase artesanal do ponto de vista de montagem no TNA. A escolha adequada de fatores de escala e modelos, muitas vezes não lineares, que simulem o comportamento do sistema, demanda tempo e concentração". Portanto, devido às dificuldades atuais, a Divisão de Simulação de Redes Elétricas (DVSR), responsável pela utilização do TNA no CEPEL, iniciou o projeto de um grande sistema computacional para cálculo, montagem e utilização do TNA.

Segundo DRUMMOND e OLIVEIRA [13], "o sistema de cálculo e montagem do TNA será um pacote que permitirá a automação da escolha dos componentes do TNA para simular a rede iniciando pela padronização dos dados do sistema, tomando decisões automaticamente, em vários níveis, para a escolha de modelos e otimizando a utilização dos componentes disponíveis". Apesar de

se situar em uma etapa posterior de implementação, também faz parte desse sistema a automação na montagem do TNA e na emissão do relatório final do estudo.

Atualmente, a DVSR leva, em média, três meses para estudar um sistema elétrico de alguma companhia. Com a implantação do sistema computacional, estima-se reduzir na terça parte esse tempo. As vantagens que com isso advirão são conhecidas: os clientes do CEPEL perderão menos tempo nos seus projetos e a DVSR poderá atender a mais estudos ao mesmo tempo. Em suma, a eficiência do sistema poderá ser aumentada.

O sistema de cálculo e montagem do TNA está descrito na figura (V.1). Nos retângulos dessa figura apresentam-se apenas as etapas em que se pode aplicar inteligência artificial (IA) e as etapas necessárias ao entendimento lógico do sistema. Por fugir ao escopo desse capítulo, muitas outras etapas, bem como referências a programas computacionais de apoio já existentes, foram suprimidas.

A implementação computacional de uma parte desse grande sistema, mais precisamente do quinto retângulo (escolha dos fatores de escala do TNA), segundo uma abordagem de IA, é o objetivo dessa tese.

Nas demais linhas desse capítulo, procurar-se-á descrever cada parte do sistema, ou seja, cada retângulo da figura (V.1).

a) Padronização dos dados de entrada

A entrada do sistema é o pedido de estudo de uma rede elétrica feito por alguma companhia ou instituição. Normalmente, solicitam o estudo da rede sob várias condições operativas para o dimensionamento de seus equipamentos ou para verificar a possibilidade de conexão de novos equipamentos sem

que se prejudique o desempenho do sistema ou, ainda, para a investigação de problemas em geral na rede elétrica. O que ocorre, porém, é que cada companhia fornece, do seu modo, os dados sobre a rede em questão. Há grande variação tanto nos dados fornecidos quanto nas unidades físicas usadas.

O objetivo nesta etapa é, portanto, o desenvolvimento de um formulário padrão para a entrada de dados.

b) Escolha dos fenômenos a serem investigados na rede

"De acordo com os equipamentos que se deseja dimensionar, ou solicitações a investigar, pode-se escolher os fenômenos mais significativos a serem estudados" (DRUMMOND e OLIVEIRA [13]). Normalmente, investigam-se solicitações ou dimensionam-se os equipamentos quanto ao isolamento, quanto ao limite de corrente nos seus terminais, quanto a esforços mecânicos e quanto ao dimensionamento e ajuste de componentes para a sua proteção. Portanto, ao se dimensionar o isolamento de um determinado equipamento em um determinado ponto da rede, deve-se observar quais os fenômenos transitórios que seriam possíveis de ocorrer nessa rede e que terão influência no dimensionamento de tal isolamento.

A possibilidade de ocorrência ou não de fenômenos transitórios em uma rede tem por base:

- as características da rede. Como exemplo de características, podem-se citar o comprimento de suas linhas, a quantidade de carga circulante, a facilidade ou não facilidade de rejeição de carga, a filosofia de proteção, o tipo de carga na região (por exemplo, a carga para alimentar indústrias possui comportamento transitório diferente da carga para alimentar cidades) e a

configuração do sistema. Todas essas informações provêm da companhia proprietária do sistema.

- as características dos equipamentos. A característica de um equipamento é a sua propriedade intrínseca, sua função. Por exemplo, a característica de um reator é a sua indutância e a de um capacitor, a sua capacitância.

Para cada equipamento, conhece-se os principais fenômenos transitórios que influenciam aquilo que se deseja dimensionar. Por exemplo, ao se dimensionar um transformador quanto à corrente de saturação, deve-se verificar, no sistema em que vai ser ligado, a possibilidade de ocorrência dos seguintes fenômenos transitórios: a energização do transformador, a rejeição de carga, a limpeza de falta (abrir curto-circuito) e, se houver banco de capacitores, a sua energização.

Como visto, a escolha dos fenômenos transitórios a serem estudados é de grande importância. Esta é uma área em que a aplicação de inteligência artificial seria de grande valia uma vez que, dentre um vasto universo, a melhor ou pior escolha dos casos a serem estudados depende, em grande parte, do conhecimento e experiência do pesquisador.

- c) Escolha das configurações de rede, das condições operativas do sistema e definição de todas as possíveis configurações a serem estudadas

"A configuração de um sistema elétrico está sempre variando quer seja durante um dia, onde se impõem as condições de carga leve e carga pesada, quer seja a mais longo prazo, pela própria evolução do sistema. Quando se realiza um estudo de TNA, deve-se escolher as configurações de rede que se supõe sejam as mais críticas dentre dezenas ou centenas para que o estudo se torne

viável" (DRUMMOND e OLIVEIRA [13]).

Para cada rede elétrica fornecida pelo cliente, há sempre uma configuração normal (aquela que permanecerá na maior parte do tempo), uma mínima (ou de carga mínima), uma máxima (ou de carga máxima) e várias outras alternativas. Em um estudo, porém, usa-se apenas a chamada configuração básica. Configuração básica de estudo é uma configuração que pode ou não ser viável no sistema real pois compõe-se da união dos equipamentos de todas as configurações que serão estudadas. Por conseguinte, a qualquer momento do estudo, pode-se transformar, apenas pela abertura de circuitos, a configuração básica em qualquer das configurações que se deseja estudar.

Para um estudo de rede, escolhe-se sempre uma configuração básica que, ao menos, possibilite a modelagem de uma configuração normal, de uma mínima e de uma máxima, dentro das dezenas de configurações possíveis, com enfoque nos interesses da companhia, por exemplo, concentrando-se o estudo em um transformador ou em uma linha.

Na escolha da configuração básica, deve-se selecionar a pior possível, ou seja, aquela que leve à pior solicitação dos equipamentos. Deve-se, portanto, escolher a pior configuração normal, a pior configuração mínima e a pior máxima para se compor a configuração básica de estudo. Como a pior configuração no estudo é também a pior no sistema real, uma vez que um determinado equipamento passa pelo mais severo crivo de testes, sem dúvida irá passar também por condições operativas mais suaves, dadas por configurações menos críticas de rede.

Esse passo está diretamente ligado ao anterior. Isso porque, ao se escolher o fenômeno transitório, deve-se escolher a configuração de rede que produza esse fenômeno com maior

intensidade levando, desse modo, o equipamento à sua pior solicitação. Por exemplo, uma configuração com maior número de linhas e carga maior costuma ser pior para rejeições de carga e, inversamente, configurações mais fracas, com menor número de linhas, são piores para energizações.

Algumas vezes é possível, dentre as possíveis configurações de rede, selecionar-se, a priori, quais resultarão nas piores solicitações para cada transitório que é possível ocorrer na rede e vão influenciar aquilo que queremos dimensionar no equipamento.

Igualmente, como na área anterior, a aplicação de inteligência artificial na escolha das configurações de rede a serem estudadas seria de grande proveito.

d) Escolha dos modelos de rede a serem usados no TNA

"A escolha dos modelos a serem utilizados em estudos de sobretensões, seja em programa digital ou no TNA, é quase uma arte. Critérios, tais como precisão, minimização de mão-de-obra e componentes, precisam ser combinados com os requisitos técnicos de uma boa modelagem. Aqui também é útil a aplicação de inteligência artificial" (DRUMMOND e OLIVEIRA [13]).

Para cada componente real de um sistema elétrico, há sempre um conjunto de componentes que se comporta como o componente real. A esse conjunto de componentes, dá-se o nome de modelo. Mais precisamente, dentro do universo elétrico, modelo é um conjunto de componentes elétricos ou eletrônicos para, de modo mais ou menos perfeito, simular eletricamente as equações que descrevem o funcionamento de determinado equipamento.

Modelo de rede é a interconexão dos modelos dos equipamentos da rede. Pode ser digital ou analógico. Modelo de TNA é o

modelo de rede montado no TNA. É um modelo analógico de rede e, portanto, um caso particular do modelo de rede.

De agora em diante, como o universo em questão é o TNA, a simples referência a modelo significará a referência a modelo de TNA.

Um modelo está intimamente ligado ao fenômeno transitório a ser investigado. Um modelo de um transformador pode ser bom para o estudo da aplicação de falta (aplicação de curto-circuito) e pode ser ruim, porém, para o estudo da energização do mesmo. Assim, a criação de um modelo é segundo o fenômeno a ser investigado.

O modelo de linhas de transmissão no TNA é o π . Dá-se-lhe esse nome devido ao fato de seu diagrama possuir a forma dessa letra grega. Basicamente, o π é um conjunto formado de capacitância, indutância e resistência. No TNA do CEPEL, há dois tipos de π sendo o limite dos seus componentes a principal diferença entre eles.

Como visto, a representação de um componente é mais ou menos perfeita segundo o que se quer estudar. De acordo com o fenômeno a ser investigado, um modelo pode ser simples, completo ou supercompleto. Assim, a disposição, quantidade e tipo de elementos nos π s podem variar para uma mesma linha quando de estudos de energização para estudos do efeito dela sobre outras linhas. De modo análogo, o modelo de um transformador pode levar em consideração a sua saturação ou não, dependendo do fenômeno transitório a ser investigado.

Como escolher o modelo? Quando se deve preferir uma modelagem simples ou uma mais sofisticada?

Na maior parte das vezes, uma modelagem simples leva a resultados mais severos para os equipamentos. Por exemplo, de

acordo com a tensão e a potência, há valores padronizados de suportabilidade a solicitações transitórias para os mesmos. Se o resultado já conduz a um valor padronizado para a classe do equipamento e se uma pequena alteração nas solicitações transitórias não implica em diminuição de seu custo então não é necessário sofisticar mais a modelagem. Caso contrário, um refinamento da modelagem pode levar em conta efeitos que diminuem as solicitações transitórias com relação ao modelo mais simples evitando-se, assim, especificar equipamentos com maiores limites ou com características especiais, isto é, não padronizadas, o que acarreta maior custo de fabricação. Não obstante, isso não é regra geral. Há o caso inverso em que as solicitações mais severas só aparecem com uma modelagem mais refinada, por exemplo, sobretensões ressonantes devido à saturação de transformadores. Nesse caso, para se observar o fenômeno, torna-se necessário modelar as ressonâncias da rede e a curva de saturação do transformador.

Além da dificuldade intrínseca da escolha de modelos, os pesquisadores do CEPEL, muitas vezes, deparam-se com outras, por exemplo: a impossibilidade de criação de muitos modelos sofisticados pela falta de componentes disponíveis; a necessidade de ajustes e medições quando da criação de modelos não-lineares; a necessidade de observação da característica dos equipamentos magnéticos pelo fato de poder ser limitante para a próxima etapa, a escolha dos fatores de escala.

Concluindo, a escolha dos modelos de TNA é uma área onde o fator qualitativo se faz preponderante. Reafirmando, pois, as palavras de DRUMMOND e OLIVEIRA [13], é uma área que possui amplas perspectivas no campo da inteligência artificial.

e) Escolha dos fatores de escala do TNA

Uma vez criado um modelo para cada configuração de rede, ou seja, um modelo dos equipamentos da rede para cada configuração em estudo, deve-se então representar cada modelo no TNA usando-se os seus componentes ou outros que a ele podem ser agregados. Tal representação deve ser feita utilizando-se fatores de escala. Em resumo, a fim de que se possa estudar as solicitações transitórias aos equipamentos, uma configuração de rede deve ser modelada em escala no TNA segundo um modelo de TNA (DRUMMOND e OLIVEIRA [13]).

A modelagem no TNA de determinados equipamentos produz restrições à escolha dos fatores de escala. Por conseguinte, em tal escolha, leva-se em consideração apenas aqueles componentes que impõem restrições pois sabe-se que os demais serão modelados sem problemas.

Outro ponto a ser frisado é que, caso sejam as configurações de rede incompatíveis entre si, os fatores de escala adequados para uma configuração não o serão para uma outra. Isso obriga o pesquisador, conseqüentemente, a um cálculo, no mínimo, duplicado.

Dadas as dificuldades nessa área e por situar-se dentro da esfera de inteligência artificial, selecionou-se, como tema de tese, o desenvolvimento de um sistema especialista que escolha ou, de modo análogo, calcule os fatores de escala do TNA.

A necessidade de uma abordagem de inteligência artificial para esta área bem como a explanação de outros detalhes será tema de discussão no próximo capítulo.

f) Escolha e otimização dos componentes do TNA a serem utilizados e do esquema da montagem

"Uma vez escolhida uma determinada configuração básica de rede e os modelos a serem utilizados, deve-se selecionar os componentes do TNA para a montagem, de acordo com sua disponibilidade, características elétricas e finalidade, para que o esquema seja o mais simples e compacto possível" (DRUMMOND e OLIVEIRA [13]).

Uma vez calculados os fatores de escala, deve-se então selecionar os componentes que fazem parte do modelo a ser posto, em escala, no TNA. Dentre as dificuldades que surgem nesta etapa do sistema, podem-se citar:

- Ajustar os componentes do modelo ao valor mais próximo do cálculo teórico para tal modelo em escala no TNA. Por exemplo, ao se modelar um transformador, a reatância do modelo deve ser próxima do valor teórico $X.F_e$, onde X é a reatância do transformador real e F_e , o fator de escala.
- Adequação ao modelo utilizado. Devem-se escolher os componentes segundo a flexibilidade de suas características de modo que seja o modelo bem representado. Normalmente, importa tal flexibilidade ser observada ou quando se variam os valores dos componentes do modelo durante o estudo, como, por exemplo, ao se modelarem as unidades geradoras ativas em uma rede, ou quando o ajuste fino do modelo só pode ser obtido através de medições, como em geral ocorre em modelos não-lineares.
- Facilitar o esquema da montagem. Quando da montagem do modelo no TNA, devem-se obstar grandes distâncias entre componentes a serem interligados. Evita-se, desse modo, um significativo comprimento de fios, o seu possível entrelaçamento o que, além de dificultar a montagem, causa o surgimento de efeitos espúrios.

- A necessidade de se modelar outros equipamentos que compõem a configuração da rede e que precisam utilizar o mesmo componente do TNA com prioridade maior em relação àquele que está sendo modelado no momento. Caracteriza-se, assim, um processo iterativo de escolha. Por exemplo, usa-se uma bobina de valor fixo para modelar um transformador que, em princípio, seria modelado com bobina de valor variável deixando-se esta para outro componente que tenha prioridade de modelagem.

Fazendo-se um inventário dos componentes atualmente existentes e fixando-se algumas normas para a escolha dos componentes e para a esquematização da montagem, pode-se desenvolver um sistema que resolva as dificuldades nessa área.

- g) Montagem automática através de relés utilizando um sistema de barramentos

Após a escolha do esquema de montagem e dos componentes, segue-se a montagem do TNA. Pensa-se, no futuro, em fazer tal montagem de forma automática. Caso exista, para cada ligação entre dois componentes no TNA, uma chave que possa ser aberta ou fechada por meio de relés, então é possível automatizar a montagem uma vez que um sistema, na etapa anterior, poderia gerar uma matriz de zeros e uns que disparasse os relés desligando ou ligando as chaves.

- h) Relatório final do estudo

Pode-se criar um texto padrão para cada resultado de um estudo no TNA. Com isto, automatiza-se a confecção do relatório final uma vez que, para os resultados do estudo, torna-se apenas necessário juntar os respectivos parágrafos de texto.

Todos os itens descritos acima formam, por assim dizer, o esqueleto de um sistema, em sua maioria não automatizado, que é seguido para cada estudo de redes elétricas no TNA. No capítulo seguinte, como é o cerne do presente trabalho, dar-se-á ênfase ao quinto item descrevendo-se os problemas na escolha dos fatores de escala do TNA, a necessidade de uma abordagem de IA nessa mesma escolha bem como a própria abordagem.

CAPITULO VI

Proposta de incorporação de inteligência artificial no TNA

VI.1 - Processo de aquisição do conhecimento

Como mencionado no capítulo anterior, as etapas precedentes forneciam o subsídio ou, de outra forma, os dados de entrada para a escolha dos fatores de escala do TNA. Esta escolha era feita de forma contínua e ordenada segundo um método assentado pelos pesquisadores do CEPEL. Desenvolveu-se tal método, porém, com o fito de ser seguido por um ser humano (OLIVEIRA [33]). Quando, portanto, da elaboração de um algoritmo computacional, mostrou-se impreciso em vários pontos necessitando-se a fixação rigorosa de normas. Por outro lado, dada a sua posterior implementação em computador, tornou-se possível melhorá-lo e ampliá-lo.

Para a especificação do novo método ou, de outra forma, para a especificação do modelo computacional para a escolha dos fatores de escala do TNA, houve todo um trabalho de uma equipe de funcionários do CEPEL. Três pessoas pertenciam a esta equipe. Dois engenheiros elétricos, pesquisadores da Divisão de Simulação de Redes Elétricas (DVSR), que lidam com o TNA, Glória Suzana Gomes de Oliveira e Márcio Antônio Guedes Drummond, e eu, Otávio Augusto Salgado Carpinteiro, analista de suporte de sistemas da Divisão de Processamento de Dados (DVPD).

Devemos ter feito em torno de quinze reuniões. Nas iniciais, o nosso objetivo era que eu conhecesse o processo de escolha dos fatores de escala do TNA. Em verdade, tive que compreender não só tal processo como também absorver o conhecimento que se

situa em torno dele. Por exemplo, tornou-se imperioso que aprendesse, na teoria, sobre fenômenos transitórios, sobre o TNA, sobre o seu sistema de cálculo e montagem e, na prática, vendo os componentes do TNA e alguns trechos de sua montagem e operação.

Para atender ao objetivo das reuniões iniciais, apoiei-me principalmente no estudo de dois capítulos do WEEDY [43], dos artigos BORGONOVO et alii [1], COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD [10], DRUMMOND e OLIVEIRA [12], DRUMMOND e OLIVEIRA [13], OLIVEIRA [33] e em debates com os dois pesquisadores.

Nas reuniões intermediárias e finais, o nosso objetivo era que eu desenvolvesse o modelo computacional para a escolha dos fatores de escala do TNA. Durante este período, surgiram várias questões ou mesmo pontos em aberto. Para resolvê-los, recorri a eles para obter a maneira como solucionavam tais problemas nas diversas situações ou para sugerir novos métodos que agora, com o auxílio do computador, poderiam ser implementados.

Nossas reuniões se realizaram espaçadamente entre agosto de 1985 e novembro de 1986. As reuniões iniciais, em que me detive em conhecer o processo de escolha dos fatores de escala do TNA, ocorreram entre agosto e dezembro de 1985. As demais, em que visamos o modelo computacional, ocorreram a seguir, entre janeiro e novembro de 1986.

VI.2 - Especificação do modelo computacional

Como mencionado, após várias reuniões, precisou-se um modelo computacional para a escolha dos fatores de escala do TNA. Os dados de entrada para esse modelo provêm dos resultados de programas computacionais existentes e do conhecimento dos especialistas aplicados nas etapas anteriores. Os dados de

saída são os quatro fatores de escala: de tensão, de impedância, de corrente e de potência.

Como esperado, as restrições de determinados equipamentos à escolha dos fatores de escala, referidas no capítulo anterior, são levadas em consideração no modelo computacional. Segundo DRUMMOND e OLIVEIRA [13], são elas:

- Escolher o fator de escala de corrente de modo que a corrente de curto-circuito não exceda os limites dos componentes do TNA.
- Escolher o fator de escala de corrente tal que permita a medição das correntes de interesse nos sistemas de tensão mais baixa.
- Escolher o fator de escala de corrente de modo a que a máxima corrente nos para-raios, chaves, fontes e bobinas não exceda a capacidade dos componentes normalmente disponíveis.
- Escolher a tensão-base segundo o joelho das curvas de saturação dos transformadores.
- Escolher o fator de escala de impedância de forma a minimizar a utilização de componentes externos, mais frequentemente, capacitâncias.
- Escolher o fator de escala de impedância de modo a que os valores das resistências, indutâncias e capacitâncias das linhas modeladas não excedam os limites determinados pelos tipos de π .
- Escolher o fator de escala de impedância tal que os valores calculados de reatâncias indutivas séries e paralelas não excedam o que é disponível no TNA.

Segue-se a apresentação do modelo computacional.

VI.2.1 - Escolha dos fatores de escala de tensão

Os dados de entrada para a escolha dos fatores de escala de tensão são os níveis de tensão e as tensões de Joelho dos transformadores para os mesmos níveis.

A figura (VI.1) apresenta o diagrama de fluxo de dados para a escolha dos fatores de escala de tensão.

VI.2.1.1 - Escolha da tensão-base

Escolhe-se, primeiramente, a tensão-base de 20 volts. A tensão-base, tensão em que irá trabalhar o TNA, deve-se situar entre os 18 e 22 volts (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]).

VI.2.1.2 - Cálculo das tensões de Joelho das bobinas saturáveis

Com a tensão-base escolhida, calculam-se as tensões de Joelho das bobinas saturáveis para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$T_{jb_lt} = T_b \cdot T_{jt_lt},$$

onde:

T_{jb_lt} - Tensão de Joelho das bobinas saturáveis para um nível de tensão,

T_b - Tensão-base,

T_{jt_lt} - Tensão de Joelho dos transformadores para um nível de tensão.

VI.2.1.3 - Teste das tensões de Joelho das bobinas saturáveis

Testam-se, a seguir, as tensões de Joelho das bobinas saturáveis. Tais tensões devem-se situar entre 22,3 e 33,9 volts (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]). Se alguma tensão de Joelho ultrapassar o limite superior ou o limite inferior, altera-se a tensão-base em 0,5 volt dentro do intervalo mencionado acima.

Neste caso, retorna-se ao princípio calculando-se novamente as tensões de Joelho das bobinas saturáveis. Se não se conseguir tensão-base que satisfaça, emite-se a mensagem do erro, sugere-se que se verifique os valores das tensões de Joelho dos transformadores para os níveis de tensão e encerra-se o processamento.

VI.2.1.4 - Cálculo dos fatores de escala de tensão

Se as tensões de Joelho das bobinas saturáveis se encontram no referido intervalo, calculam-se, então, os fatores de escala de tensão para cada nível de tensão, segundo:

$$Fv_{lt} = (Tb \cdot \text{sqrt}(3)) / Lt_{lt},$$

onde:

Fv_{lt} - Fator de escala de tensão para um nível de tensão,

Tb - Tensão-base,

Lt_{lt} - Nível de tensão,

$\text{sqrt}(X)$ - Raiz quadrada de X.

VI.2.2 - Escolha dos fatores de escala de impedância

O número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o nível de maior tensão, os tipos de pi de linha para cada nível de tensão, as resistências, indutâncias, capacitâncias, capacitâncias externas de fase e neutro para cada nível de tensão, as reatâncias indutivas séries e paralelas para cada nível de tensão e os limites impostos como máximos para as reatâncias indutivas séries e paralelas compõem os dados de entrada para a escolha dos fatores de escala de impedância.

A figura (VI.2) apresenta o diagrama de fluxo de dados para

a escolha dos fatores de escala de impedância.

VI.2.2.1 - Cálculo do fator de escala de impedância mínimo para o maior nível de tensão

Calcula-se, inicialmente, o fator de escala de impedância mínimo para o nível de maior tensão, da seguinte forma:

$$\text{Min_Fz_lmt} = \text{máximo}(\text{Fz1}, \text{Fz2}),$$

$$\text{Fz1} = \text{C_Fase_lmt} / (\text{C_F_Max_pi} + \text{C_Ext_Fase_lmt}),$$

$$\text{Fz2} = \text{C_Neutro_lmt} / (\text{C_N_Max_pi} + \text{C_Ext_Neutro_lmt}),$$

onde:

Min_Fz_lmt - Fator de escala de impedância mínimo para o nível de maior tensão.

C_Fase_lmt - Capacitância de fase para o nível de maior tensão.

C_F_Max_pi - Capacitância de fase máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 1332,75 nF e, para o tipo 2, 835 nF (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]).

C_Ext_Fase_lmt - Capacitância externa de fase admissível para o nível de maior tensão.

C_Neutro_lmt - Capacitância de neutro para o nível de maior tensão.

C_N_Max_pi - Capacitância de neutro máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 4332,75 nF e, para o tipo 2, 832,5 nF (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]).

C_Ext_Neutro_lmt - Capacitância externa de neutro admissível para o nível de maior tensão.

VI.2.2.2 - Cálculo do fator de escala de impedância máximo para o maior nível de tensão

Calcula-se, em seguida, o fator de escala de impedância máximo para o nível de maior tensão, segundo:

$$\text{Max_Fz_lmt} = \text{mínimo}(\text{Fz1}, \text{Fz2}),$$

$$\text{Fz1} = \text{mínimo}(\text{Fz11}, \text{Fz12}),$$

$$\text{Fz2} = \text{mínimo}(\text{Fz21}, \text{Fz22}),$$

$$\text{Fz11} = \text{R_Max_pi} / \text{R_Fase_lmt},$$

$$\text{Fz12} = \text{R_Max_pi} / \text{R_Neutro_lmt},$$

$$\text{Fz21} = \text{I_Max_pi} / \text{I_Fase_lmt},$$

$$\text{Fz22} = \text{I_Max_pi} / \text{I_Neutro_lmt},$$

onde:

Max_Fz_lmt - Fator de escala de impedância máximo para o nível de maior tensão.

R_Max_pi - Resistência máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 25 ohms e, para o tipo 2, 8,25 ohms (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]).

R_Fase_lmt - Resistência de fase para o nível de maior tensão.

R_Neutro_lmt - Resistência de neutro para o nível de maior tensão.

I_Max_pi - Indutância máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 20 ohms (53,04 mH) e, para o tipo 2, 18,1 ohms (48 mH) (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]).

I_Fase_lmt - Indutância de fase para o nível de maior tensão.

I_Neutro_lmt - Indutância de neutro para o nível de maior tensão.

VI.2.2.3 - Cálculo do intervalo de fatores de escala de impedância para o maior nível de tensão

Calcula-se o incremento do fator de escala de impedância para o nível de maior tensão, do seguinte modo:

$$\text{Inc_Fz_lmt} = (\text{Max_Fz_lmt} - \text{Min_Fz_lmt}) / \text{Num_passos},$$

onde:

Inc_Fz_lmt - Incremento do fator de escala de impedância para o nível de maior tensão.

Max_Fz_lmt - Fator de escala de impedância máximo para o nível de maior tensão.

Min_Fz_lmt - Fator de escala de impedância mínimo para o nível de maior tensão.

Num_passos - Número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o nível de maior tensão.

Com os cálculos anteriores, obtém-se, então, um intervalo discreto de valores possíveis de fatores de escala de impedância para o nível de maior tensão. Como mencionado, o número de pontos do mesmo, definido por $(\text{Num_passos} + 1)$, é um dado de entrada. O intervalo é, portanto, da forma:

$$[\text{Min_Fz_lmt}, \text{Min_Fz_lmt} + \text{Inc_Fz_lmt}, \text{Min_Fz_lmt} + 2 \text{ Inc_Fz_lmt}, \dots \dots \dots, \text{Max_Fz_lmt}].$$

VI.2.2.4 - Teste do intervalo de fatores de escala de impedância para o maior nível de tensão

Caso se não o obtenha, ou seja, caso o fator de escala de impedância máximo para o nível de maior tensão seja menor que o mínimo, emite-se a mensagem de erro, sugere-se que, por prioridade, se adicionem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão, se

redimensione o número de pis da linha do maior nível de tensão e encerra-se o processamento.

VI.2.2.5 - Escolha do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão

Caso se obtenha o intervalo citado, escolhe-se, inicialmente, o primeiro ponto do mesmo para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão. Poder-se-ia, também aqui, escolher inicialmente o último ponto do intervalo. Isto, contudo, constituiria uma outra abordagem, um outro modelo, com inúmeras outras implicações. O modelo apresentado, no entanto, por apresentar vantagens técnicas, foi o escolhido nas reuniões com os pesquisadores.

VI.2.2.6 - Cálculo dos fatores de escala de impedância para os demais níveis de tensão

Calcula-se, a seguir, o fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão, segundo:

$$Fz_{lt} = Fz_{lmt} \cdot (Lt_{lmt} / Lt_{lt}) ** 2,$$

onde:

Fz_{lt} - Fator de escala de impedância para um nível de tensão,

Fz_{lmt} - Fator de escala de impedância para o nível de maior tensão,

Lt_{lmt} - Nível de maior tensão,

Lt_{lt} - Nível de tensão,

$X ** 2$ - Quadrado de X.

VI.2.2.7 - Cálculo das resistências de fase e neutro do pi de linha

Calculam-se as resistências de fase e neutro do modelo pi da linha dos demais níveis de tensão, da seguinte forma:

$$R_{\text{Fase_lt_pi}} = R_{\text{Fase_lt}} \cdot Fz_{\text{lt}},$$

$$R_{\text{Neutro_lt_pi}} = R_{\text{Neutro_lt}} \cdot Fz_{\text{lt}},$$

onde:

$R_{\text{Fase_lt_pi}}$ - Resistência de fase do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$R_{\text{Fase_lt}}$ - Resistência de fase para um nível de tensão,

Fz_{lt} - Fator de escala de impedância para um nível de tensão,

$R_{\text{Neutro_lt_pi}}$ - Resistência de neutro do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$R_{\text{Neutro_lt}}$ - Resistência de neutro para um nível de tensão.

VI.2.2.8 - Teste das resistências de fase e neutro do pi de linha

Verifica-se, a seguir, para os demais níveis de tensão, se as resistências de fase das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos pelos tipos de pi, do seguinte modo:

$$R_{\text{Fase_lt_pi}} \leq R_{\text{Max_pi}},$$

onde:

$R_{\text{Fase_lt_pi}}$ - Resistência de fase do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$R_{\text{Max_pi}}$ - Resistência máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 25 ohms e, para o tipo 2, 8,25 ohms (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam aos limites máximos e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de

impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão, de se adicionarem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão e, por último, de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão em que houve erro.

Caso não satisfaçam aos limites máximos, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizesse ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

Caso as resistências de fase das linhas modeladas satisfaçam aos limites máximos, prossegue-se verificando-se, para os demais níveis de tensão, se as resistências de neutro das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos pelos tipos de pi, do seguinte modo:

$R_Neutro_lt_pi \leq R_Max_pi,$

onde:

$R_Neutro_lt_pi$ - Resistência de neutro do modelo pi da linha para um nível de tensão,

R_Max_pi - Resistência máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 25 ohms e, para o tipo 2, 8,25 ohms (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam aos limites máximos e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão, de se adicionarem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão e, por último, de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão em que houve erro.

Caso não satisfaçam aos limites máximos, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizesse ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do

fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.2.9 - Cálculo das indutâncias de fase e neutro do pi de linha

Caso as resistências de neutro das linhas modeladas satisfaçam aos limites máximos, prossegue-se calculando-se as indutâncias de fase e neutro do modelo pi da linha dos demais níveis de tensão, segundo:

$$I_{\text{Fase_lt_pi}} = I_{\text{Fase_lt}} \cdot Fz_{\text{lt}},$$

$$I_{\text{Neutro_lt_pi}} = I_{\text{Neutro_lt}} \cdot Fz_{\text{lt}},$$

onde:

$I_{\text{Fase_lt_pi}}$ - Indutância de fase do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$I_{\text{Fase_lt}}$ - Indutância de fase para um nível de tensão,

Fz_{lt} - Fator de escala de impedância para um nível de tensão,

$I_{\text{Neutro_lt_pi}}$ - Indutância de neutro do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$I_{\text{Neutro_lt}}$ - Indutância de neutro para um nível de tensão.

VI.2.2.10 - Teste das indutâncias de fase e neutro do pi de linha

Verifica-se, a seguir, para os demais níveis de tensão, se as indutâncias de fase das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos pelos tipos de pi, do seguinte modo:

$I_{Fase_lt_pi} \leq I_{Max_pi}$,

onde:

$I_{Fase_lt_pi}$ - Indutância de fase do modelo pi da linha para um nível de tensão,

I_{Max_pi} - Indutância máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 20 ohms (53,04 mH) e, para o tipo 2, 18,1 ohms (48 mH) (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam aos limites máximos e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão, de se adicionarem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão e, por último, de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão em que houve erro.

Caso não satisfaçam aos limites máximos, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizesse ao cálculo do fator de escala de impedância.

- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

Caso as indutâncias de fase das linhas modeladas satisfaçam aos limites máximos, prossegue-se verificando-se, para os demais níveis de tensão, se as indutâncias de neutro das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos pelos tipos de pi, do seguinte modo:

$$I_{\text{Neutro_lt_pi}} \leq I_{\text{Max_pi}},$$

onde:

$I_{\text{Neutro_lt_pi}}$ - Indutância de neutro do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$I_{\text{Max_pi}}$ - Indutância máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 20 ohms (53,04 mH) e, para o tipo 2, 18,1 ohms (48 mH) (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam aos limites máximos e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão, de se adicionarem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão e, por último, de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão em que houve erro.

Caso não satisfaçam aos limites máximos, encerra-se o

processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizes ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.2.11 - Cálculo das capacitâncias de fase e neutro do pi de linha

Caso as indutâncias de neutro das linhas modeladas satisfaçam aos limites máximos, prossegue-se calculando-se as capacitâncias de fase e neutro do modelo pi da linha dos demais níveis de tensão, da seguinte forma:

$$C_{\text{Fase_lt_pi}} = (C_{\text{Fase_lt}} / Fz_{\text{lt}}) - C_{\text{Ext_Fase_lt}},$$

$$C_{\text{Neutro_lt_pi}} = (C_{\text{Neutro_lt}} / Fz_{\text{lt}}) - C_{\text{Ext_Neutro_lt}},$$

onde:

$C_{\text{Fase_lt_pi}}$ - Capacitância de fase do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$C_{\text{Fase_lt}}$ - Capacitância de fase para um nível de tensão,

Fz_lt - Fator de escala de impedância para um nível de tensão,

C_Ext_Fase_lt - Capacitância externa de fase admissível para um nível de tensão,

C_Neutro_lt_pi - Capacitância de neutro do modelo pi da linha para um nível de tensão,

C_Neutro_lt - Capacitância de neutro para um nível de tensão,

C_Ext_Neutro_lt - Capacitância externa de neutro admissível para um nível de tensão.

VI.2.2.12 - Teste das capacitâncias de fase e neutro do pi de linha

Verifica-se, a seguir, para os demais níveis de tensão, se as capacitâncias de fase das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos pelos tipos de pi, do seguinte modo:

$$C_{Fase_lt_pi} \leq C_{F_Max_pi},$$

onde:

C_Fase_lt_pi - Capacitância de fase do modelo pi da linha para um nível de tensão,

C_F_Max_pi - Capacitância de fase máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 1332,75 nF e, para o tipo 2, 832,5 nF (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]),

$$X \leq Y - X \text{ menor ou igual que } Y.$$

Caso não satisfaçam aos limites máximos e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se adicionarem capacitores externos de fase no pi da linha do nível de tensão que apresentou erro e de se

aumentar o número de pis da linha do nível de tensão em que houve erro.

Caso não satisfaçam aos limites máximos, escolhe-se o próximo ponto do intervalo mencionado anteriormente para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão e retorna-se, novamente, ao cálculo do fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão. Caso se tenha tentado todos os pontos do intervalo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizesse ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

Caso as capacitâncias de fase das linhas modeladas satisfaçam aos limites máximos, prossegue-se verificando-se, para os demais níveis de tensão, se as capacitâncias de neutro das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos pelos tipos de pi, do seguinte modo:

$C_{\text{Neutro_lt_pi}} \leq C_{\text{N_Max_pi}}$,

onde:

$C_{\text{Neutro_lt_pi}}$ - Capacitância de neutro do modelo pi da linha para um nível de tensão,

$C_{\text{N_Max_pi}}$ - Capacitância de neutro máxima do pi de linha. Para pis do tipo 1, tal valor é de 4332,75 nF e, para o tipo 2, 832,5 nF (DRUMMOND e OLIVEIRA [12]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam aos limites máximos e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se adicionarem capacitores externos de neutro no pi da linha do nível de tensão que apresentou erro e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão em que houve erro.

Caso não satisfaçam aos limites máximos, escolhe-se o próximo ponto do intervalo mencionado anteriormente para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão e retorna-se, novamente, ao cálculo do fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão. Caso se tenha tentado todos os pontos do intervalo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de

se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfaz ao cálculo do fator de escala de impedância.

- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.2.13 - Cálculo das reatâncias indutivas séries

Caso as capacitâncias de neutro das linhas modeladas satisfaçam aos limites máximos, prossegue-se calculando-se as reatâncias indutivas séries para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$\text{Reat_Ind_S_lt_tna} = \text{Reat_Ind_S_lt} \cdot \text{Fz_lt},$$

onde:

Reat_Ind_S_lt_tna - Reatância indutiva série calculada para um nível de tensão,

Reat_Ind_S_lt - Reatância indutiva série para um nível de tensão,

Fz_lt - Fator de escala de impedância para um nível de tensão.

VI.2.2.14 - Teste das reatâncias indutivas séries

Verifica-se, a seguir, se as reatâncias indutivas séries calculadas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite imposto como máximo, do seguinte modo:

$$\text{Reat_Ind_S_lt_tna} \leq \text{Reat_Ind_Max_S_tna},$$

onde:

Reat_Ind_S_lt_tna - Reatância indutiva série calculada para um nível de tensão,

Reat_Ind_Max_S_tna - Limite imposto como máximo para reatâncias indutivas séries. Tal valor é um dado de entrada.

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam ao limite máximo e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se verificar se o limite imposto como máximo para as reatâncias indutivas séries pode ser alterado, de se adicionarem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão e, por último, de se reduzir a tensão-base para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatância indutiva série maior do que a disponível no TNA.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfez ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a

sugestão pendentes.

- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.2.15 - Cálculo das reatâncias indutivas paralelas

Caso as reatâncias indutivas séries calculadas satisfaçam ao limite imposto como máximo, prossegue-se calculando-se as reatâncias indutivas paralelas para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$\text{Reat_Ind_P_lt_tna} = \text{Reat_Ind_P_lt} \cdot \text{Fz_lt},$$

onde:

Reat_Ind_P_lt_tna - Reatância indutiva paralela calculada para um nível de tensão,

Reat_Ind_P_lt - Reatância indutiva paralela para um nível de tensão,

Fz_lt - Fator de escala de impedância para um nível de tensão.

VI.2.2.16 - Teste das reatâncias indutivas paralelas

Verifica-se, a seguir, se as reatâncias indutivas paralelas calculadas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite imposto como máximo, do seguinte modo:

$$\text{Reat_Ind_P_lt_tna} \leq \text{Reat_Ind_Max_P_tna},$$

onde:

Reat_Ind_P_lt_tna - Reatância indutiva paralela calculada para um nível de tensão,

Reat_Ind_Max_P_tna - Limite imposto como máximo para reatâncias indutivas paralelas. Tal valor é um dado de entrada.

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam ao limite máximo e caso não tenha havido outro erro até agora no cálculo do fator de escala de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de, por prioridade, se verificar se o limite imposto como máximo para as reatâncias indutivas paralelas pode ser alterado, de se adicionarem capacitores externos ou de fase ou de neutro ou ambos no pi da linha do maior nível de tensão e, por último, de se reduzir a tensão-base para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatância indutiva paralela maior do que a disponível no TNA.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfiz ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

Caso as reatâncias indutivas paralelas calculadas satisfaçam

ao limite imposto como máximo, prossegue-se ao cálculo dos fatores de escala de corrente.

VI.2.3 - Escolha dos fatores de escala de corrente

As correntes mínimas para cada nível de tensão e as correntes que circulam nas bobinas, pára-raios, chaves, fontes para cada nível de tensão compõem os dados de entrada para a escolha dos fatores de escala de corrente.

A figura (VI.3) apresenta o diagrama de fluxo de dados para a escolha dos fatores de escala de corrente.

VI.2.3.1 - Cálculo dos fatores de escala de corrente

Calcula-se, inicialmente, o fator de escala de corrente para todos os níveis de tensão, segundo:

$$F_{i_lt} = F_{v_lt} / F_{z_lt},$$

onde:

F_{i_lt} - Fator de escala de corrente para um nível de tensão,

F_{v_lt} - Fator de escala de tensão para um nível de tensão,

F_{z_lt} - Fator de escala de impedância para um nível de tensão.

VI.2.3.2 - Cálculo dos valores das correntes nas bobinas

Calculam-se os valores das correntes nas bobinas para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$C_{Bob_lt_tna} = C_{Bob_lt} \cdot F_{i_lt},$$

onde:

$C_{Bob_lt_tna}$ - Valor calculado da corrente na bobina para um nível de tensão,

C_{Bob_lt} - Corrente na bobina para um nível de tensão,

Fi_lt - Fator de escala de corrente para um nível de tensão.

VI.2.3.3 - Teste dos valores das correntes nas bobinas

Verifica-se, a seguir, se os valores calculados das correntes nas bobinas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA, do seguinte modo:

$$C_{Bob_lt_tna} \leq C_{Bob_Max_tna},$$

onde:

$C_{Bob_lt_tna}$ - Valor calculado da corrente na bobina para um nível de tensão,

$C_{Bob_Max_tna}$ - Corrente máxima na bobina suportada pelo TNA. Tal valor é de 800 mA (OLIVEIRA [33]),

$$X \leq Y - X \text{ menor ou igual que } Y.$$

Caso não satisfaçam ao limite máximo, desconsidera-se qualquer erro pendente até agora no cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de se redimensionar o número de pis da linha do maior nível de tensão.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, escolhe-se o próximo ponto do intervalo mencionado anteriormente para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão e retorna-se, novamente, ao cálculo do fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão. Caso se tenha tentado todos os pontos do intervalo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator

de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizesse ao cálculo do fator de escala de impedância.

- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.3.4 - Cálculo dos valores das correntes nos pára-raios

Caso os valores calculados das correntes nas bobinas para todos os níveis de tensão satisfaçam ao limite máximo, prossegue-se calculando-se os valores das correntes nos pára-raios para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$C_PRaio_lt_tna = C_PRaio_lt \cdot Fi_lt,$$

onde:

$C_PRaio_lt_tna$ - Valor calculado da corrente no pára-raios para um nível de tensão,

C_PRaio_lt - Corrente no pára-raios para um nível de tensão,

Fi_lt - Fator de escala de corrente para um nível de tensão.

VI.2.3.5 - Teste dos valores das correntes nos pára-raios

Verifica-se, a seguir, se os valores calculados das

correntes nos para-raios para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA, do seguinte modo:

$$C_PRaio_lt_tna \leq C_PRaio_Max_tna,$$

onde:

$C_PRaio_lt_tna$ - Valor calculado da corrente no para-raios para um nível de tensão,

$C_PRaio_Max_tna$ - Corrente máxima no para-raios suportada pelo TNA. Tal valor é de 5 A (OLIVEIRA [33]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, desconsidera-se qualquer erro pendente até agora no cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de se redimensionar o número de pis da linha do maior nível de tensão.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, escolhe-se o próximo ponto do intervalo mencionado anteriormente para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão e retorna-se, novamente, ao cálculo do fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão. Caso se tenha tentado todos os pontos do intervalo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfaz ao cálculo do fator de escala de

impedância.

- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.3.6 - Cálculo dos valores das correntes nas chaves

Caso os valores calculados das correntes nos pára-raios para todos os níveis de tensão satisfaçam ao limite máximo, prossegue-se calculando-se os valores das correntes nas chaves para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$C_Chav_lt_tna = C_Chav_lt \cdot Fi_lt,$$

onde:

$C_Chav_lt_tna$ - Valor calculado da corrente na chave para um nível de tensão,

C_Chav_lt - Corrente na chave para um nível de tensão,

Fi_lt - Fator de escala de corrente para um nível de tensão.

VI.2.3.7 - Teste dos valores das correntes nas chaves

Verifica-se, a seguir, se os valores calculados das correntes nas chaves para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA, do seguinte modo:

$$C_Chav_lt_tna \leq C_Chav_Max_tna,$$

onde:

$C_Chav_lt_tna$ - Valor calculado da corrente na chave para um nível de tensão,

$C_Chav_Max_tna$ - Corrente máxima na chave suportada pelo

TNA. Tal valor é de 1,5 A (OLIVEIRA [33]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, desconsidera-se qualquer erro pendente até agora no cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de se redimensionar o número de pis da linha do maior nível de tensão.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, escolhe-se o próximo ponto do intervalo mencionado anteriormente para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão e retorna-se, novamente, ao cálculo do fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão. Caso se tenha tentado todos os pontos do intervalo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfizesse ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.3.8 - Cálculo dos valores das correntes nas fontes

Caso os valores calculados das correntes nas chaves para todos os níveis de tensão satisfaçam ao limite máximo, prossegue-se calculando-se os valores das correntes nas fontes para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$C_{Fon_lt_tna} = C_{Fon_lt} \cdot Fi_lt,$$

onde:

$C_{Fon_lt_tna}$ - Valor calculado da corrente na fonte para um nível de tensão,

C_{Fon_lt} - Corrente na fonte para um nível de tensão,

Fi_lt - Fator de escala de corrente para um nível de tensão.

VI.2.3.9 - Teste dos valores das correntes nas fontes

Verifica-se, a seguir, se os valores calculados das correntes nas fontes para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA, do seguinte modo:

$$C_{Fon_lt_tna} \leq C_{Fon_Max_tna},$$

onde:

$C_{Fon_lt_tna}$ - Valor calculado da corrente na fonte para um nível de tensão,

$C_{Fon_Max_tna}$ - Corrente máxima na fonte suportada pelo TNA. Tal valor é de 1 A (OLIVEIRA [33]),

$X \leq Y$ - X menor ou igual que Y.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, desconsidera-se qualquer erro pendente até agora no cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, torna-se pendente a mensagem do erro e a sugestão de se redimensionar o número de pis da linha do maior nível de tensão.

Caso não satisfaçam ao limite máximo, escolhe-se o próximo ponto do intervalo mencionado anteriormente para ser o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão e retorna-se, novamente, ao cálculo do fator de escala de impedância para os demais níveis de tensão. Caso se tenha tentado todos os pontos do intervalo, encerra-se o processamento emitindo-se as mensagens de erro e sugestões pendentes do cálculo do fator de escala de corrente ou de impedância, da seguinte forma:

- Se existem mensagens de erro pendentes do cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emitem-se ambas as mensagens e a sugestão de, por prioridade, se aumentar progressivamente o número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão e de se aumentar o número de pis da linha do nível de tensão que não satisfaz ao cálculo do fator de escala de impedância.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de corrente, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.
- Se existe apenas mensagem de erro pendente do cálculo do fator de escala de impedância, emitem-se a mensagem e a sugestão pendentes.

VI.2.3.10 - Cálculo dos valores das correntes mínimas

Caso os valores calculados das correntes nas fontes para todos os níveis de tensão satisfaçam ao limite máximo, prossegue-se calculando-se os valores das correntes mínimas para todos os níveis de tensão, da seguinte forma:

$$C_{Min_lt_tna} = C_{Min_lt} \cdot Fi_lt,$$

onde:

$C_{Min_lt_tna}$ - Valor calculado da corrente mínima para um nível de tensão,

C_{Min_lt} - Corrente mínima para um nível de tensão,

Fi_lt - Fator de escala de corrente para um nível de tensão.

VI.2.3.11 - Teste dos valores das correntes mínimas

Verifica-se, a seguir, se os valores calculados das correntes mínimas não nulas para todos os níveis de tensão, ou seja, daquelas que se deseja medir, satisfazem ao limite mínimo imposto pelo TNA, do seguinte modo:

$$C_{Min_lt_tna} * \geq C_{Min_tna},$$

onde:

$C_{Min_lt_tna} *$ - Valor calculado da corrente mínima não nula para um nível de tensão,

C_{Min_tna} - Valor mínimo de corrente que pode ser medido com precisão no TNA. Tal valor é de 4 mA (OLIVEIRA [33]),

$X \geq Y$ - X maior ou igual que Y.

Caso não satisfaçam ao limite mínimo, desconsidera-se qualquer erro pendente até agora no cálculo do fator de escala de corrente e de impedância, emite-se a mensagem do erro, sugere-se que se reduza a tensão-base no componente onde foi calculada a corrente mínima menor que a imposta pelo TNA e encerra-se o processamento.

Caso os valores calculados das correntes mínimas não nulas para todos os níveis de tensão satisfaçam ao limite mínimo, prossegue-se ao cálculo dos fatores de escala de potência.

VI.2.4 - Escolha dos fatores de escala de potência

Os fatores de escala de potência são iguais para todos os níveis de tensão. Torna-se necessário, portanto, calculá-lo apenas para um nível de tensão, segundo:

$$F_p = F_{v_lt} \cdot F_{i_lt},$$

onde:

F_p - Fator de escala de potência para qualquer nível de tensão,

F_{v_lt} - Fator de escala de tensão para um nível de tensão,

F_{i_lt} - Fator de escala de corrente para um nível de tensão.

VI.3 - Exemplificação do modelo computacional

Com o intuito de ilustrar o modelo computacional apresentado, segue-se a aplicação de tal modelo sobre um caso de estudo. Este é baseado no que se encontra em OLIVEIRA [33].

A figura (VI.4) apresenta os dados de entrada para o modelo.

Inicialmente, escolhe-se a tensão-base de 20 volts e calculam-se as tensões de Joelho das bobinas saturáveis para todos os níveis de tensão. Tem-se então:

$$1,54 \cdot 20 = 30,8 \text{ V},$$

$$1,25 \cdot 20 = 25 \text{ V},$$

$$1,20 \cdot 20 = 24 \text{ V},$$

$$1,27 \cdot 20 = 25,4 \text{ V},$$

$$1,47 \cdot 20 = 29,4 \text{ V},$$

$$1,17 \cdot 20 = 23,4 \text{ V}.$$

Como as tensões de Joelho das bobinas saturáveis se encontram entre 22,3 e 33,9 volts, calculam-se os fatores de escala de tensão para cada nível de tensão. Tem-se:

$$F_{v_500} = (20 \cdot \sqrt{3}) / 500 = 0,0693 \text{ V/kV},$$

$$Fv_{345} = (20 \cdot \sqrt{3}) / 345 = 0,1004 \text{ V/kV},$$

$$Fv_{289} = (20 \cdot \sqrt{3}) / 289 = 0,1199 \text{ V/kV},$$

$$Fv_{138} = (20 \cdot \sqrt{3}) / 138 = 0,2510 \text{ V/kV},$$

$$Fv_{13,8} = (20 \cdot \sqrt{3}) / 13,8 = 2,5102 \text{ V/kV}.$$

Calcula-se o fator de escala de impedância mínimo para o nível de maior tensão. Tem-se:

$$Fz1 = 315,5 / (1332,75 + 0) = 0,2367,$$

$$Fz2 = 2321,4 / (4332,75 + 0) = 0,5358,$$

$$\text{Min_Fz_lmt} = \text{máximo}(0,2367 ; 0,5358) = 0,5358.$$

Calcula-se o fator de escala de impedância máximo para o nível de maior tensão. Tem-se:

$$Fz11 = 25 / 0,2 = 125,$$

$$Fz12 = 25 / 2,94 = 8,5034,$$

$$Fz21 = 20 / 9,1 = 2,1978,$$

$$Fz22 = 20 / 8,26 = 2,4213,$$

$$Fz1 = \text{mínimo}(125 ; 8,5034) = 8,5034,$$

$$Fz2 = \text{mínimo}(2,1978 ; 2,4213) = 2,1978,$$

$$\text{Max_Fz_lmt} = \text{mínimo}(8,5034 ; 2,1978) = 2,1978.$$

Calcula-se o incremento do fator de escala de impedância para o nível de maior tensão. Tem-se:

$$\text{Inc_Fz_lmt} = (2,1978 - 0,5358) / 10 = 0,1662.$$

Obtem-se, portanto, o intervalo discreto de valores possíveis de fatores de escala de impedância para o nível de maior tensão dado por:

$$[0,5358 ; 0,7020 ; 0,8682 ; \dots \dots \dots ; 1,8654 ; 2,0316 ; 2,1978].$$

Toma-se, inicialmente, o fator de escala de impedância para o nível de maior tensão igual a 0,5358 e calcula-se o mesmo para os demais níveis de tensão. Tem-se:

$$Fz_{500} = 0,5358,$$

$$Fz_{345} = 0,5358 \cdot (500 / 345) ** 2 = 1,1254,$$

$$Fz_{289} = 0,5358 \cdot (500 / 289) ** 2 = 1,6038,$$

$$Fz_{138} = 0,5358 \cdot (500 / 138) ** 2 = 7,0337,$$

$$Fz_{13,8} = 0,5358 \cdot (500 / 13,8) ** 2 = 703,3711.$$

Calculam-se as resistências de fase e neutro do modelo pi da linha dos demais níveis de tensão. Tem-se:

$$R_{Fase_{345_pi}} = 0,5 \cdot 1,1254 = 0,5627 \text{ ohms},$$

$$R_{Neutro_{345_pi}} = 2,46 \cdot 1,1254 = 2,7685 \text{ ohms},$$

$$R_{Fase_{289_pi}} = 0,34 \cdot 1,6038 = 0,5453 \text{ ohms},$$

$$R_{Neutro_{289_pi}} = 2,33 \cdot 1,6038 = 3,7369 \text{ ohms},$$

$$R_{Fase_{138_pi}} = 0 \cdot 7,0337 = 0 \text{ ohms},$$

$$R_{Neutro_{138_pi}} = 0 \cdot 7,0337 = 0 \text{ ohms},$$

$$R_{Fase_{13,8_pi}} = 0 \cdot 703,3711 = 0 \text{ ohms},$$

$$R_{Neutro_{13,8_pi}} = 0 \cdot 703,3711 = 0 \text{ ohms}.$$

Verifica-se, para os demais níveis de tensão, que tanto as resistências de fase quanto as de neutro das linhas modeladas satisfazem ao limite máximo imposto por pi de tipo 1.

Calculam-se as indutâncias de fase e neutro do modelo pi da linha dos demais níveis de tensão. Tem-se:

$$I_{Fase_{345_pi}} = 8,46 \cdot 1,1254 = 9,5209 \text{ ohms},$$

$$I_{Neutro_{345_pi}} = 8,41 \cdot 1,1254 = 9,4646 \text{ ohms},$$

$$I_{Fase_{289_pi}} = 7,97 \cdot 1,6038 = 12,7823 \text{ ohms},$$

$$I_{Neutro_{289_pi}} = 7,99 \cdot 1,6038 = 12,8144 \text{ ohms},$$

$$I_{Fase_{138_pi}} = 0 \cdot 7,0337 = 0 \text{ ohms},$$

$$I_{Neutro_{138_pi}} = 0 \cdot 7,0337 = 0 \text{ ohms},$$

$$I_{Fase_{13,8_pi}} = 0 \cdot 703,3711 = 0 \text{ ohms},$$

$$I_{Neutro_{13,8_pi}} = 0 \cdot 703,3711 = 0 \text{ ohms}.$$

Verifica-se, para os demais níveis de tensão, que tanto as indutâncias de fase quanto as de neutro das linhas modeladas satisfazem ao limite máximo imposto por pi de tipo 1.

Calculam-se as capacitâncias de fase e neutro do modelo pi da linha dos demais níveis de tensão. Tem-se:

$$C_{\text{Fase}_{345_pi}} = (263,2 / 1,1254) - 0 = 233,8724 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Neutro}_{345_pi}} = (1667,7 / 1,1254) - 0 = 1481,8731 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Fase}_{289_pi}} = (252,1 / 1,6038) - 0 = 157,1892 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Neutro}_{289_pi}} = (1579,8 / 1,6038) - 0 = 985,0355 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Fase}_{138_pi}} = (0 / 7,0337) - 0 = 0 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Neutro}_{138_pi}} = (0 / 7,0337) - 0 = 0 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Fase}_{13,8_pi}} = (0 / 703,3711) - 0 = 0 \text{ nF},$$

$$C_{\text{Neutro}_{13,8_pi}} = (0 / 703,3711) - 0 = 0 \text{ nF}.$$

Verifica-se, para os demais níveis de tensão, que tanto as capacitâncias de fase quanto as de neutro das linhas modeladas satisfazem aos limites máximos impostos por pi de tipo 1.

Calculam-se as reatâncias indutivas séries para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_S_{500_tna}} = 0 \cdot 0,5358 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_S_{345_tna}} = 0 \cdot 1,1254 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_S_{289_tna}} = 0 \cdot 1,6038 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_S_{138_tna}} = 0 \cdot 7,0337 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_S_{13,8_tna}} = 1 \cdot 703,3711 = 703,3711 \text{ ohms}.$$

Verifica-se que as reatâncias indutivas séries calculadas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite imposto como máximo.

Calculam-se as reatâncias indutivas paralelas para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_P_{500_tna}} = 0 \cdot 0,5358 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_P_{345_tna}} = 0 \cdot 1,1254 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_P_{289_tna}} = 0 \cdot 1,6038 = 0 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_P_{138_tna}} = 30 \cdot 7,0337 = 211,0110 \text{ ohms},$$

$$\text{Reat}_{\text{Ind}_P_{13,8_tna}} = 0 \cdot 703,3711 = 0 \text{ ohms}.$$

Verifica-se que as reatâncias indutivas paralelas calculadas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite imposto como máximo.

Calcula-se o fator de escala de corrente para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$Fi_{500} = 0,0693 / 0,5358 = 0,1293 \text{ mA/A,}$$

$$Fi_{345} = 0,1004 / 1,1254 = 0,0892 \text{ mA/A,}$$

$$Fi_{289} = 0,1199 / 1,6038 = 0,0748 \text{ mA/A,}$$

$$Fi_{138} = 0,2510 / 7,0337 = 0,0357 \text{ mA/A,}$$

$$Fi_{13,8} = 2,5102 / 703,3711 = 0,0036 \text{ mA/A.}$$

Calculam-se os valores das correntes nas bobinas para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$C_{Bob_{500}_{tna}} = 0 \cdot 0,1293 = 0 \text{ mA,}$$

$$C_{Bob_{345}_{tna}} = 8500 \cdot 0,0892 = 758,2000 \text{ mA,}$$

$$C_{Bob_{289}_{tna}} = 6332 \cdot 0,0748 = 473,6336 \text{ mA,}$$

$$C_{Bob_{138}_{tna}} = 0 \cdot 0,0357 = 0 \text{ mA,}$$

$$C_{Bob_{13,8}_{tna}} = 0 \cdot 0,0036 = 0 \text{ mA.}$$

Verifica-se que os valores calculados das correntes nas bobinas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA.

Calculam-se os valores das correntes nos pára-raios para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$C_{PRaio_{500}_{tna}} = 0 \cdot 0,1293 = 0 \text{ mA,}$$

$$C_{PRaio_{345}_{tna}} = 0 \cdot 0,0892 = 0 \text{ mA,}$$

$$C_{PRaio_{289}_{tna}} = 0 \cdot 0,0748 = 0 \text{ mA,}$$

$$C_{PRaio_{138}_{tna}} = 0 \cdot 0,0357 = 0 \text{ mA,}$$

$$C_{PRaio_{13,8}_{tna}} = 0 \cdot 0,0036 = 0 \text{ mA.}$$

Verifica-se que os valores calculados das correntes nos pára-raios para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA.

Calculam-se os valores das correntes nas chaves para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$C_{\text{Chav}_500_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,1293 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Chav}_345_{\text{tna}}} = 10000 \cdot 0,0892 = 892 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Chav}_289_{\text{tna}}} = 6332 \cdot 0,0748 = 473,6336 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Chav}_138_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0357 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Chav}_{13,8}_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0036 = 0 \text{ mA}.$$

Verifica-se que os valores calculados das correntes nas chaves para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA.

Calculam-se os valores das correntes nas fontes para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$C_{\text{Fon}_500_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,1293 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Fon}_345_{\text{tna}}} = 10000 \cdot 0,0892 = 892 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Fon}_289_{\text{tna}}} = 6332 \cdot 0,0748 = 473,6336 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Fon}_138_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0357 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Fon}_{13,8}_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0036 = 0 \text{ mA}.$$

Verifica-se que os valores calculados das correntes nas fontes para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite máximo imposto pelo TNA.

Calculam-se os valores das correntes mínimas para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$C_{\text{Min}_500_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,1293 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Min}_345_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0892 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Min}_289_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0748 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Min}_138_{\text{tna}}} = 0 \cdot 0,0357 = 0 \text{ mA},$$

$$C_{\text{Min}_{13,8}_{\text{tna}}} = 1313 \cdot 0,0036 = 4,7268 \text{ mA}.$$

Verifica-se que os valores calculados das correntes mínimas não nulas para todos os níveis de tensão satisfazem ao limite mínimo imposto pelo TNA.

Calcula-se, por fim, o fator de escala de potência para todos os níveis de tensão. Tem-se:

$$\begin{aligned} F_p &= F_{p_500} = F_{p_345} = F_{p_289} = F_{p_138} = F_{p_13,8} = \\ &= 0,0693 \cdot 0,1293 = 0,0090 \text{ VA/MVA.} \end{aligned}$$

Obteve-se como resultado, portanto, os fatores de escala agrupados na figura (VI.5).

VI.4 - A abordagem de inteligência artificial para o modelo computacional

Como visto, determinados equipamentos geram restrições à escolha dos fatores de escala e, por conseguinte, à modelagem da rede no TNA. Viu-se, também, na especificação do modelo computacional, que tais restrições apresentam-se sob a forma de inequações. Como, ao se calcularem os fatores de escala, só se toma em consideração tais equipamentos, o problema de se calcular os fatores de escala é, conseqüentemente, o problema de resolução de um sistema de inequações.

Surge, pois, a questão: Por que não por as limitações sob forma de inequações e então aplicar um algoritmo numérico para resolvê-las? Por que a abordagem de inteligência artificial ou, mais especificamente, por que a criação de um sistema especialista quando existem, no mercado, vários programas computacionais que resolvem, de modo eficaz, sistemas de inequações?

Os programas computacionais de resolução de sistemas de inequações, quando aplicados a problemas solúveis, normalmente satisfazem de modo pleno demonstrando rapidez no cálculo da solução. Quando, porém, aplicados a problemas insolúveis, informam apenas a não existência de solução. Ora, muitas vezes, os equipamentos que são limitantes à modelagem da rede no TNA

são por demais limitantes gerando sistemas insolúveis de inequações. Segundo os especialistas em TNA no CEPEL, de quarenta a sessenta por cento dos casos incidem nesse domínio. O que fazer então? Informar à companhia que solicitou o estudo de que é impossível realizá-lo?

Contorna-se este problema resolvendo-o, como fazem os especialistas, de forma contínua e ordenada. Deste modo, torna-se possível identificar quais restrições são demasiadamente limitantes ou, em outras palavras, quais equipamentos são demasiadamente restritivos à modelagem da rede no TNA. Ora, um sistema especialista que absorva, em sua base de conhecimentos, a forma com que os especialistas resolvem tais problemas, é também capaz de identificar e informar quais equipamentos são limitantes à modelagem da rede. Este é o ponto crucial, ou melhor, é agora que se introduz, de modo decisivo, o conhecimento e a experiência do especialista pois, uma vez conhecidos quais equipamentos são restritivos, sabe que atitude tomar para amenizar tais restrições tornando solúvel o sistema e, por conseguinte, viável o estudo. É, portanto, marcante a diferença entre um programa computacional de resolução de sistemas de inequações e um sistema especialista para cálculo dos fatores de escala posto que aquele, em problemas insolúveis, não fornece subsídios para que o especialista o torne solúvel.

Um novo aspecto se apresenta agora. Se um sistema especialista é capaz de identificar quais equipamentos são demasiadamente limitantes à modelagem da rede no TNA, por que não se incorporar a tal sistema o conhecimento que o especialista tem quando muda, de insolúvel para solúvel, um sistema?

O sistema especialista desenvolvido como trabalho de tese possui, em sua base de fatos e de regras, o conhecimento dos especialistas de modo que, para cada tipo possível de problema insolúvel, não só informa quais os equipamentos limitantes como também, por prioridades, que atitudes se deve tomar para torná-lo solúvel.

As vantagens da abordagem de inteligência artificial para a escolha dos fatores de escala são, portanto, indiscutíveis. Dentre todas as que um sistema especialista oferece, as mais relevantes, no contexto do CEPEL, são a que permite o aumento de produtividade dos pesquisadores que lidam com o TNA e a que permite que, a partir de agora, tal escolha seja feita não somente por especialistas como também por engenheiros não-especialistas em TNA.

CAPITULO VII

O protótipo

VII.1 - Implementação em PROLOG

Descreveu-se, no capítulo precedente, o modelo computacional para a escolha dos fatores de escala do TNA. Baseado nele, criou-se um algoritmo e a sua implementação em micro-computador da linha IBM-PC. Tal implementação ou programa foi desenvolvida usando-se Turbo PROLOG (BORLAND [2]). A opção por esta linguagem não foi acidental. Tampouco o fato de se usar PROLOG definiu o problema de escolha dos fatores de escala como um problema no âmbito de inteligência artificial.

De modo geral, não é uma linguagem que define um tipo de problema e sim a sua natureza intrínseca. Pode-se, por exemplo, ter um problema comercial implementado em uma linguagem científica. No entanto, como cada linguagem foi criada para atender bem a um determinado tipo de problema, fornecendo melhores subsídios para a sua resolução, nada mais natural que se usar uma linguagem de inteligência artificial para implementar um problema do mesmo naipe.

VII.2 - Especificação do protótipo

O protótipo segue o padrão de um sistema especialista. Compõe-se, conforme a figura (VII.1), de uma entrada, de uma base de fatos, de uma base de regras, de um motor de inferência e de uma saída. A entrada consiste em um arquivo de fatos a serem incorporados à base. Contém os dados relativos a algum estudo no TNA. A base de fatos e a de regras compõem a base de conhecimentos que foi absorvida dos especialistas. O motor de

inferência está embutido no compilador Turbo PROLOG. Dado o objetivo, que é a escolha dos fatores de escala, infere os conhecimentos da base até alcançá-lo. A saída são os quatro fatores de escala: de tensão, de impedância, de corrente e de potência.

O protótipo foi desenvolvido de forma modular. Compõe-se de oito módulos, a saber: módulo principal, módulo de relações auxiliares, módulo de inicialização, módulo de impressão, módulo do fator de escala de tensão, módulo do fator de escala de impedância, módulo do fator de escala de corrente e módulo do fator de escala de potência.

A seguir, descrever-se-á a função de cada módulo reportando-se, quando necessário, ao diagrama do fluxo dos dados de alguns deles referidos no capítulo anterior.

VII.2.1 - Módulo principal

O módulo principal é quem define o objetivo do programa, o cálculo dos fatores de escala. Para isto contém, segundo a figura (VII.2), a declaração goal. Possui, conforme mostrado na figura (VII.3), uma única regra. Por meio desta chama, um a um, os demais módulos do programa.

VII.2.2 - Módulo de relações auxiliares

O módulo de relações auxiliares contém as regras que servem de auxílio aos demais módulos. Como exemplos, a regra append que une duas listas e a regra min que fornece o menor elemento em uma lista.

VII.2.3 - Módulo de inicialização

O módulo de inicialização contém a base de fatos estática e

as regras que inicializam a base de fatos dinâmica. Esta última contém os fatos que, durante a execução do programa, podem ser retirados ou incluídos na base como, por exemplo, os dados de entrada.

VII.2.4 - Módulo de impressão

Uma vez calculados os fatores de escala, este módulo é quem contém as regras e fatos que respondem pela sua impressão.

VII.2.5 - Módulo do fator de escala de tensão

O módulo do fator de escala de tensão contém as cláusulas que são responsáveis pela escolha do fator de escala de tensão.

O seu diagrama de fluxo de dados encontra-se descrito na figura (VI.1).

Como exemplo, o quinto bloco do diagrama foi implementado em PROLOG segundo a forma apresentada na figura (VII.4). A relação $\text{max}(T_{jb}, \text{Max})$ é uma relação auxiliar que retorna, na variável Max , o maior elemento da lista T_{jb} . De modo análogo, $\text{min}(T_{jb}, \text{Min})$ retorna o menor elemento. A cláusula `retract` retira um fato da base de fatos e a cláusula `assertz` insere um fato na última posição da base de fatos. A cláusula `fail` força a recursividade, ou seja, a volta para a escolha de uma nova tensão-base. Por conseguinte, a primeira cláusula `testo_bobinas_saturaveis` testa se as tensões de Joelho das bobinas saturáveis satisfazem aos limites, máximo e mínimo, permitidos. Caso não satisfaçam, será executada, então, a segunda cláusula `testo_bobinas_saturaveis`.

VII.2.6 - Módulo do fator de escala de impedância

O módulo do fator de escala de impedância contém os fatos e

regras que respondem pela escolha do fator de escala de impedância.

O seu diagrama de fluxo de dados acha-se descrito na figura (VI.2).

Como exemplo, descreve-se, na figura (VII.5), a implementação em PROLOG do sexto bloco do diagrama. A relação `append(X3,[Fz_lt],X4)`, já citada como uma relação auxiliar, une as listas X3 e [Fz_lt] gerando a lista X4. Por conseguinte, a cláusula `calculo_fator_impedancia_lt` calculará e armazenará, na base de fatos, uma lista contendo os fatores de escala de impedância para cada nível de tensão.

VII.2.7 - Módulo do fator de escala de corrente

O módulo do fator de escala de corrente contém as cláusulas que são responsáveis pela escolha do fator de escala de corrente.

O seu diagrama de fluxo de dados encontra-se descrito na figura (VI.3).

Como exemplo, descreve-se, na figura (VII.6), a implementação em PROLOG do décimo-segundo ao décimo-quarto blocos do diagrama. A relação `calculo6` é executada de forma recursiva percorrendo-se, deste modo, todos os níveis de tensão.

VII.2.8 - Módulo do fator de escala de potência

O módulo do fator de escala de potência contém uma única cláusula que responde pela escolha do fator de escala de potência.

VII.3 - Exemplificação do uso do protótipo

A seguir, ilustrar-se-á o uso do protótipo. Para tal, tomar-se-á o exemplo do capítulo anterior. Os seus dados se encontram na figura (VI.4).

Os dados de entrada para o protótipo devem estar situados em um arquivo denominado FATESC.DAT no diretório que se estiver utilizando. Portanto, lançando-se mão de qualquer editor de texto, cria-se o arquivo FATESC.DAT que contenha os dados da figura acima mencionada. Tal arquivo, para que possa ser acessado pelo protótipo, deve possuir a forma apresentada na figura (VII.7).

Algumas observações devem ser proferidas a respeito da forma do arquivo:

- Na cláusula `linhas_tensão`, o nível de maior tensão deve sempre vir em primeiro lugar.
- Com exceção das cláusulas `tensoes_joelho_transformadores`, `numero_passos`, `reatancia_indutiva_maxima_s_tna`, `reatancia_indutiva_maxima_p_tna` e `fim_dados_entrada`, todas as demais devem seguir a ordem dos níveis de tensão imposta pela cláusula `linhas_tensao`. Assim, por exemplo, se a cláusula `linhas_tensao` fosse `linhas_tensao([500,289,345,138,13.8])`, a cláusula `indutancias_neutro` deveria ser `indutancias_neutro([8.26,7.99,8.41,0.0,0.0])` e assim sucessivamente.
- Com exceção da cláusula `fim_dados_entrada`, todas as demais podem vir em qualquer posição.
- A cláusula `fim_dados_entrada` indica o fim dos dados de entrada e deve, portanto, ser a última do arquivo.

Uma vez criado o arquivo FATESC.DAT, deve-se prosseguir chamando à execução o arquivo FATESC.EXE. Obtem-se, então, ou

uma mensagem de erro e as sugestões para a correção do mesmo ou os quatro fatores de escala calculados.

As sugestões para a correção do erro nada mais são que sugestões para a modificação do caso em estudo e, portanto, dos dados de entrada. Assim, cada sugestão está associada à alteração de uma ou mais cláusulas no arquivo FATESC.DAT. Tal associação dá-se da seguinte forma:

- A verificação dos valores das tensões de Joelho para os níveis de tensão está associada à verificação dos valores da lista na cláusula `tensoes_joelho_transformadores`.
- O redimensionamento ou aumento do número de pis de linha de algum nível de tensão está associado à alteração do valor correspondente ao nível de tensão nas cláusulas `tipos_pi`, `resistencias_fase`, `resistencias_neutro`, `indutancias_fase`, `indutancias_neutro`, `capacitancias_fase` e `capacitancias_neutro`.
- A utilização de uma tensão-base diferente da escolhida pelo protótipo no componente onde foi calculada uma corrente mínima menor que a imposta pelo TNA está associada à alteração do valor correspondente ao nível de tensão na cláusula `correntes_minimas`.
- O aumento do número de passos de incremento do fator de escala de impedância para o maior nível de tensão está associado ao aumento do valor na cláusula `numero_passos`.
- A alteração do limite imposto como máximo para a reatância indutiva série de qualquer nível de tensão está associada ao aumento do valor na cláusula `reatancia_indutiva_maxima_s_tna`.
- A utilização de uma tensão-base diferente da escolhida pelo protótipo para o elemento ou parte do sistema onde

foi calculada a reatância indutiva série maior do que a disponível no TNA está associada à alteração do valor correspondente ao nível de tensão na cláusula `reatancias_indutivas_s`.

- A alteração do limite imposto como máximo para a reatância indutiva paralela de qualquer nível de tensão está associada ao aumento do valor na cláusula `reatancia_indutiva_maxima_p_tna`.
- A utilização de uma tensão-base diferente da escolhida pelo protótipo para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatância indutiva paralela maior do que a disponível no TNA está associada à alteração do valor correspondente ao nível de tensão na cláusula `reatancias_indutivas_p`.
- A adição de capacitâncias externas de fase no pi de linha de algum nível de tensão está associada ao aumento do valor correspondente ao nível de tensão na cláusula `capacitancias_externas_fase`.
- A adição de capacitâncias externas de neutro no pi de linha de algum nível de tensão está associada ao aumento do valor correspondente ao nível de tensão na cláusula `capacitancias_externas_neutro`.

Ao final da execução do arquivo `FATESC.EXE`, caso se obtenha uma mensagem de erro e as pertinentes sugestões, precisa-se, então, alterar o arquivo `FATESC.DAT` segundo as mesmas e, novamente, chamar à execução o arquivo `FATESC.EXE`. Deve-se repetir este ciclo até se obterem os fatores de escala.

No exemplo apresentado na figura (VII.7), como não há erros, obtêm-se de imediato, após a execução, os fatores de escala na forma exposta na figura (VII.8).

VII.4 - Estudo de casos

Submeteu-se o protótipo a testes com três casos de estudo pertencentes ao sistema elétrico brasileiro. Durante a sua realização, contou-se com a presença dos mesmos pesquisadores que tiveram os seus conhecimentos na área modelados pelo protótipo. Descreve-se, abaixo, a execução destes três casos de estudo.

O primeiro caso foi um estudo realizado no CEPEL entre abril e julho de 1987. Os dados do mesmo são apresentados na figura (VII.9). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.10). Optando-se pela adição de capacitâncias externas, alteraram-se os dados de entrada conforme a figura (VII.11) e executou-se o protótipo. Por haver erro na indutância de fase, emitiu a mensagem e as sugestões da figura (VII.12). Preferiu-se adicionar capacitâncias externas conforme a figura (VII.13). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.14). Optou-se pela adição de capacitâncias externas e alteraram-se, por conseguinte, os dados de entrada conforme a figura (VII.15). Por fim, ao executar-se o protótipo, obteve-se os fatores de escala segundo a figura (VII.16).

O segundo caso foi um estudo realizado no CEPEL entre agosto e outubro de 1987. Os dados do mesmo são apresentados na figura (VII.17). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.18). Optando-se pela adição de capacitâncias externas, alteraram-se os dados de entrada conforme a figura (VII.19) e executou-se o protótipo. Por haver erro na indutância de fase, emitiu a mensagem e as

sugestões da figura (VII.20). Preferiu-se adicionar capacitâncias externas conforme a figura (VII.21). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.22). Optou-se pela adição de capacitâncias externas e alteraram-se, então, os dados de entrada conforme a figura (VII.23). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.24). Como o limite imposto como máximo para a reatância indutiva série podia ser alterado, elevou-se tal limite conforme a figura (VII.25). Por fim, ao executar-se o protótipo, obteve-se os fatores de escala segundo a figura (VII.26).

O terceiro caso foi um estudo realizado no CEPEL entre abril e junho de 1986. Os dados do mesmo são apresentados na figura (VII.27). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.28). Optando-se pela adição de capacitâncias externas, alteraram-se os dados de entrada conforme a figura (VII.29) e executou-se o protótipo. Por haver erro na indutância de fase, emitiu a mensagem e as sugestões da figura (VII.30). Preferiu-se adicionar capacitâncias externas conforme a figura (VII.31). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.32). Optou-se pela adição de capacitâncias externas e alteraram-se, por conseguinte, os dados de entrada conforme a figura (VII.33). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.34). Optando-se pela adição de capacitâncias externas, alteraram-se os dados de entrada conforme a figura (VII.35) e executou-se o protótipo. Por haver erro na capacitância de neutro, emitiu a mensagem e as sugestões da

figura (VII.36). Preferiu-se adicionar capacitâncias externas conforme a figura (VII.37). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.38). Optou-se pela adição de capacitâncias externas e alteraram-se, então, os dados de entrada conforme a figura (VII.39). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.40). Optando-se pela adição de capacitâncias externas, alteraram-se os dados de entrada conforme a figura (VII.41) e executou-se o protótipo. Por haver erro na capacitância de neutro, emitiu a mensagem e as sugestões da figura (VII.42). Preferiu-se adicionar capacitâncias externas conforme a figura (VII.43). Ao executar-se o protótipo, emitiu a mensagem de erro e as sugestões mostradas na figura (VII.44). Como o limite imposto como máximo para a reatância indutiva série podia ser alterado, elevou-se tal limite conforme a figura (VII.45). Por fim, segundo a figura (VII.46), ao executar-se o protótipo, houve erro de corrente na bobina. Optou-se, no caso, pelo aumento do número de pis de linha. Com isto, segundo o que foi mencionado, haverá uma mudança substancial nos dados de entrada. Por conseguinte, ao se obterem os novos dados, deve-se dar o valor zero às capacitâncias externas e, novamente, como se fosse um novo caso em estudo, executar sucessivamente o protótipo até se obterem os quatro fatores de escala.

VII.5 - Conclusões

Como visto, nos três casos apresentados, o protótipo aponta sempre para um caminho que leve à solução. Para os engenheiros leigos em TNA, basta-lhes observar o tipo de erro e seguir alguma ou algumas sugestões. Para os especialistas em TNA, a

execução do protótipo permite-lhes não somente acompanhar e entender em detalhe os seus passos como também verificar quais os pontos mais críticos do caso em estudo. Outrossim, as sugestões que o protótipo apresenta nada mais são que as alternativas que eles próprios escolheriam para a solução do problema.

Percebe-se, nos três casos apresentados, que as opções dos pesquisadores pelas alternativas a seguir incidiram, na maioria das vezes, sobre a adição de capacitâncias externas. Isto, em verdade, é uma realidade pois tal alternativa constitui na melhor relação custo-benefício, ou seja, sem ter o trabalho de reestruturar o estudo, consegue-se avançar satisfatoriamente na direção da solução. Contudo, há um limite. O número de capacitâncias externas disponíveis no TNA é finito e, muitas vezes, constitui-se em um empecilho obrigando-se a redimensionar o modelo de alguma linha de transmissão. Esta e outras questões foram discutidas quando da criação do modelo. Ficou assentado, na ocasião, que o protótipo cuidaria da escolha dos fatores de escala levando apenas em consideração os aspectos relevantes a tal escolha. Isto porque, como apresentado no quarto capítulo, houve por bem dividir o sistema de cálculo e montagem do TNA em grandes blocos. O protótipo satisfaz, então, de modo pleno, o bloco de escolha dos fatores de escala. Com isto, definiu-se as limitações do mesmo. Uma vez que, segundo o quarto capítulo, a fixação de limites devido a falta de componentes disponíveis é objeto de estudo de um outro bloco, não constituem, portanto, tais limites, em fator de consideração por parte do protótipo.

CAPITULO VIII

Conclusões

VIII.1 - Avaliação do processo de desenvolvimento do sistema especialista

Para o desenvolvimento do sistema especialista para a escolha dos fatores de escala do TNA, houve todo um trabalho de uma equipe composta por dois pesquisadores da Divisão de Simulação de Redes Elétricas (DVSR), Glória Suzana Gomes de Oliveira e Márcio Antônio Guedes Drummond, e por mim, Otávio Augusto Salgado Carpinteiro, analista de suporte de sistemas da Divisão de Processamento de Dados (DVPD). Tal trabalho, que teve por alicerce as nossas reuniões, foi realizado entre agosto de 1985 e novembro de 1986.

Nas reuniões iniciais, entre agosto e dezembro de 1985, tive por objetivo adquirir conhecimentos básicos sobre o TNA e conhecimentos básicos de engenharia elétrica a ele relacionados. Esta primeira etapa não me causou maiores problemas. Posso afirmar que assim ocorreu devido às explicações precisas transmitidas pelos dois pesquisadores, às suas orientações quanto a bibliografia a ser consultada e também, por fim, devido a já possuir um conhecimento básico sobre eletricidade.

Nas reuniões intermediárias e finais, realizadas no período compreendido entre janeiro e novembro de 1986, visei, por escopo, apreender o problema da escolha dos fatores de escala do TNA, o conhecimento que empregavam para escolhê-los e, por fim, desenvolver o novo método, ou seja, o modelo computacional para tal escolha. Nesta segunda etapa, posso afirmar apliquei o

meu maior esforço. O fato de não ser especialista em TNA, a obrigação de entender em profundidade o problema, a dificuldade em extrair conhecimentos não-formalizados, produtos da experiência e da sensibilidade dos especialistas, e, por fim, a necessidade de precisar um método como síntese do conhecimento absorvido foram, sem dúvida, as maiores barreiras a serem transpostas.

As nossas reuniões, posso classificá-las como bastante produtivas. De igual forma, posso assim classificar o tempo despendido, de agosto de 1985 a novembro de 1986, no desenvolvimento do sistema especialista. Classifico-o assim porque, durante este período, empreguei apenas uma pequena parcela do meu tempo no seu desenvolvimento. A maior parcela, dediquei-a a outras atividades como analista de suporte de sistemas da DVPD. Caso me dedicasse exclusivamente ao desenvolvimento do sistema especialista, estimo que a duração do seu desenvolvimento giraria em torno de 70 homens-dia.

Como avaliação final, posso afirmar que foi eficaz o processo de desenvolvimento do sistema especialista. As dificuldades foram vencidas em um tempo relativamente breve. Para que tal ocorresse, no entanto, foi fundamental uma filosofia ou, em outras palavras, um método de trabalho: o trabalho em equipe, pedra angular no desenvolvimento de sistemas especialistas.

VIII.2 - Avaliação do protótipo

Como mencionado, o sistema especialista foi desenvolvido entre agosto de 1985 e novembro de 1986. Não posso me referir ao momento em que encerrei o desenvolvimento do modelo computacional e iniciei a sua implementação. Posso apenas dizer

que ambos terminaram quando da apresentação da primeira versão do protótipo, em novembro de 1986. Isto porque, em vez de desenvolver o modelo computacional integralmente, fiz o seu esboço completo e a medida que desenvolvia as suas partes, já as ia implementando.

A segunda versão do protótipo foi apresentada em setembro de 1987. Basicamente, difere da primeira versão por fornecer valores numéricos nas sugestões para as correções de erros. Por exemplo, quando, em um nível de tensão, havia erro na resistência de fase do modelo pi de alguma linha de transmissão, a primeira versão do protótipo sugeria que se adicionassem capacitâncias externas de fase ou neutro no pi da linha do maior nível de tensão. A segunda versão informa, além disso, o quanto de capacitâncias externas deve ser adicionado.

O protótipo é eficiente. Nesta afirmação está inserida uma grande implicação: a viabilidade da aplicação de inteligência artificial no TNA. Mais ainda, com o êxito do protótipo, infere-se que as técnicas de inteligência artificial resolvem de forma adequada um problema complexo dentro de um muito mais complexo, o sistema de cálculo e montagem do TNA.

Concluindo, por fim, pode-se afirmar que o protótipo respondeu satisfatoriamente às necessidades dos pesquisadores da Divisão de Simulação de Redes Elétricas (DVSR) do CEPEL encontrando-se, inclusive, em operação efetiva desde setembro de 1987.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] BORGONOVO, G., CAZZANI, M., CLERICI, A., LUCCHINI, G. e VIDONI, G., "Five years of experience with the new CESI TNA", Presented at IEEE, Canadian Communication and Power Conference, Montreal, Nov 1974.
- [2] BORLAND International Inc., Turbo PROLOG 1.0: Owner's Handbook, first edition, California, USA, 1986.
- [3] BOUVERESSE, J., La parole malheureuse, Paris, Minuit, 1971.
- [4] BROOKS, R. A., "Model-based three dimensional interpretations of two dimensional images", (DRINAN, A. ed.), IJCAI-81, Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 24-28 Aug 1981, Vancouver, Canada.
- [5] BUCHANAN, B. G. e FEIGENBAUM, E., "DENDRAL and meta-DENDRAL: Their applications dimensions", Artificial Intelligence 11, 1978.
- [6] CLARK, K. L. e McCABE, F. G., micro-PROLOG: Programming in Logic, Prentice-Hall International, 1984.
- [7] CLARK, K. L., McCABE, F. G. e STEEL, B. D., micro-PROLOG 3.1: Programmer's reference manual, fourth edition, Logic Programming Associates Ltd., London, England, 1984.
- [8] CLOCKSIN, W. F. e MELLISH, C. S., Programming in PROLOG, Second edition, Springer-Verlag, 1984.
- [9] COLMERAUER, A., "Les systemes-Q ou un Formalisme pour Analyser et Synthetiser des Phrases sur Ordinateur", Publication Interne 43, Dept. d'Informatique, Universite de Montreal, 1973.

- [10] COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, Unidad de Ingenieria Especializada, El Analizador de Transitorios en Redes Electricas, México, Jun 1984.
- [11] DAVIS, R. e BUCHANAN, B. G., "Meta-level knowledge: Overview and applications", Proceedings of the fifth international joint conference on artificial intelligence, Cambridge, USA, 1977.
- [12] DRUMMOND, M. A. G. e OLIVEIRA, G. S. G., Memorando Técnico DVSR GSGO/86/001, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Rio de Janeiro, Brasil, 1986.
- [13] DRUMMOND, M. A. G. e OLIVEIRA, G. S. G., Memorando Técnico DVSR MD/86/002, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Rio de Janeiro, Brasil, 1986.
- [14] DUDA, R. O., HART, P. E., KONOLIGE, K. e REBOH, R., "A computer-based consultant for mineral exploration, Technical Report", SRI International, Sep 1979.
- [15] FIKES, R. E. e NILSSON, N. J., "STRIPS: a new approach to the application of theorem proving to problem solving", Artificial Intelligence 2, 1971.
- [16] FORGY, C. L., OPS5 User's Manual, Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, USA, 1981.
- [17] FORGY, C. e McDERMOTT, J., "OPS, a domain-independent production system language", Proceedings of the fifth international joint conference on artificial intelligence, Cambridge, USA, 1977.
- [18] GARFIELD, E., "Artificial Intelligence: Using computers to think about thinking, Part I: Representing knowledge", Computers Compacts (2) 1, mar-apr 1984.
- [19] GARFIELD, E., "Artificial Intelligence: Using computers to

- think about thinking, part II: Some practical applications of AI", Computers Compactis (2) 2, may-jun 1984.
- [20] GELERNIER, H., HANSEN, J. R. e LOVELAND, D. W., "Empirical explorations of the geometry-theorem proving machine", (FEIGENBAUM, E A. e FELDMAN, J. eds.), Computers and thought, New York, McGraw-Hill, 1963.
- [21] GONDRAN, M., "Introduction aux systèmes experts", EDE Bulletin de la direction des etudes et recherches, serie C - Mathematiques, Informatique 2, 1983.
- [22] GRIESMER, J. H., HONG, S. J., KARNAUGH, M., KASTNER, J. K., SCHOR, M. I., ENNIS, R. L., KLEIN, D. A., MILLIKEN, K. R. e VAN WOERKOM, H. M., "YES/MVS: A continuous real time expert system", Proceedings of the fourth annual national conference on artificial intelligence, Austin, USA, 1984.
- [23] HAMMOND, P. e SERGOT, H., APES 1.1: Augmented PROLOG for expert systems, Reference Manual, micro-PROLOG version, first edition, Logic Based Systems Ltd., Richmond, England, 1984.
- [24] HILTS, P. J., "Interview: John McCarthy", OMNI (5) 7, 1983.
- [25] KASTNER, J. K. e HONG, S. J., "A review of expert systems", European Journal of Operational Research 18, 1984.
- [26] KULIKOWSKI, C. e WEISS, S., "Representation of expert knowledge for consultation: The CASNET and EXPERT projects", Artificial Intelligence in Medicine, Westview Press, 1982.
- [27] LEMMONS, P., "Japan and the fifth generation", Byte (8) 11, Nov 1983.
- [28] McDERMOTT, J. e WILLIAMS, C., "R1: An expert in the

- computer systems domain", Proceedings of the first annual national conference on artificial intelligence, Stanford, USA, 1980.
- [29] MORAVEC, H. P., Obstacle Avoidance and Navigation in the real world by a seeing robot Rover, PhD dissertation, Stanford University, Sep 1980. Publicado como Robot Rover Visual Navigation por UMI Research Press, Ann Arbor, Michigan, 1981.
- [30] MORAVEC, H. P., "The CMU Rover", Proceedings of the AAAI-82, Aug 1982.
- [31] MORAVEC, H. P., "The Stanford Cart and the CMU Rover", Proceedings of the IEEE, 1983.
- [32] NASA, Proceedings of the 1977, MACSYMA Users' Conference, Jul 1977, Berkeley, USA; National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington DC, USA, 1977.
- [33] OLIVEIRA, G. S. G., Memorando Técnico DVSR 86/GSGO/004, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Rio de Janeiro, Brasil, 1986.
- [34] RAIBERT, M. H. e SUTHERLAND, I. E., "Walking Machines", Scientific American, Jan 1983.
- [35] RICH, E., Artificial Intelligence, McGraw-Hill, 1983.
- [36] ROUSSELL, P., Groupe d'Intelligence Artificielle, Université d'Aix-Marseille, Luminy, Sep 1975.
- [37] SAMUEL, A. L., "Some studies in machine learning using the game of checkers", 11: Recent progress, IBM J. Res. Develop. 11, 1967.
- [38] SHANNON, C. E., "Programming a computer for playing chess", Phil. Mag. 41 (Ser. 7), 1950.
- [39] SHORTLIFFE, E. H., Computer-based medical consultations: MYCIN, American Elsevier, New York, 1976.

- [40] STEFIK, M., AIKINS, J., BALZER, R., BENOIT, J., BIRNBAUM, L., HAYES-ROTH, F. e SACERDOTI, E., "The organization of expert systems, a tutorial", Artificial Intelligence 18, Mar 1982.
- [41] THIOLENT, M., "Informática e processos cognitivos", (BENAKOUCHE, R. ed.), A questão da informática no Brasil, Editora Brasiliense, 1985.
- [42] WARREN, D., PEREIRA, L. e PEREIRA, F., User's guide to DECsystem-10 PROLOG, Dept. AI, University of Edinburgh, 1978.
- [43] WEEDY, B. M., Sistemas Elétricos de Potência, Editora Polígono da Universidade de São Paulo, 1973.
- [44] WEISS, S. M., KULIKOWSKI, C. A., AMAREL, S. e SAFIR, A., "A model-based method for computer-aided medical decision-making", Artificial Intelligence (11) 1-2, 1978.
- [45] WEISS, S., KULIKOWSKI, C., APTE, C., USCHOLD, M., PATCHETT, J., BRIGHAM, R. e SPITZER, B., "Building expert systems for controlling complex programs", Proceedings of the second annual national conference on artificial intelligence, Pittsburg, USA, 1982.
- [46] WITTGENSTEIN, L., Le cahier bleu et le cahier brun, Paris, Gallimard, 1965.
- [47] WOLLENBERG, B. F., "Feasibility study for an energy management system: IAP (Intelligent Alarm Processor)", IEEE Transactions on Power Systems, May 1986.

APENDICE A

Aspectos de implementação

Citam-se, neste apêndice, alguns detalhes que foram usados na implementação do protótipo. Mencionam-se tais detalhes quer seja por evitarem erros do compilador Turbo PROLOG versão 1.0 quer seja simplesmente por terem algum relevo no protótipo como um todo.

- No protótipo, conforme mostrado na figura (A.1), incluíram-se cláusulas que limpam a base de fatos dinâmica para permitir o uso do protótipo de forma interativa uma vez que, quando compilado em memória, utiliza a base de fatos da execução anterior. Tal detalhe permite também o uso do protótipo para a obtenção de algum dos fatores de escala. Conforme a figura (A.2), basta que se retire o objetivo (goal) e peça, de forma interativa, que o protótipo calcule o fator de escala desejado. Neste caso, é bom ressaltar que os fatores de escala de corrente e de potência são dependentes dos fatores de escala de tensão e de impedância.
- Toda vez que o programa retorna em busca de um novo fato (backtrack), tal fato deve ter sido acrescentado à base de fatos em um nível mais externo do que o nível em que é referenciado. A figura (A.3) mostra um exemplo. Durante a sua execução, o fato `tensao_base(Tb)` na cláusula `escolho_tensao_base` é referenciado. Executa-se a cláusula `calcula_tensoes_joelho_bobinas_saturaveis`. Durante a execução da cláusula `testo_bobinas_saturaveis`, caso haja erro, executar-se-á a cláusula `erro_bobinas_saturaveis`. Esta, por sua vez, chamará em execução ou a cláusula `aumento_tensao_base` ou a `diminuo_tensao_base`. Em ambas haverá a inclusão de um novo fato, `tensao_base(Nov_Tb)`, na base de fatos. Como houve erro, haverá o retorno ao fato `tensao_base(Tb)` na cláusula `escolho_tensao_base`. O programa deveria, então, usar agora o novo fato, `tensao_base(Nov_Tb)`, acrescentado à base. Contudo, por se ter acrescentado

o fato `tensao_base(Nov_Tb)` em um nível mais interno do que aquele em que é referenciado, fez com que o Turbo PROLOG se perdesse. Por tal motivo, no protótipo, segundo a figura (A.4), todas as cláusulas `tensao_base` e `fator_impedancia_lmt` foram acrescentadas à base antes de serem referenciadas.

- O Turbo PROLOG se perde caso se tente retirar mais de um fato, de uma só vez, da base. Ao se usarem as cláusulas `retiro_tensoes_base` e `retiro_fatores_impedancia_lmt`, conforme a figura (A.5), haverá, por conseguinte, erro durante a execução. Para evitar tal situação, segundo a figura (A.6), lançou-se mão do fato `erro_fatal` que atua como um sinalizador de condição de erro.
- O Turbo PROLOG não executa uma outra cláusula de mesmo nome se, por ventura, a cláusula anterior possuir um corte (!) seguido de falha (fail). Por exemplo, na figura (A.7), se a primeira cláusula `testo_resistencia` fosse executada até o final, a segunda não o seria.
- Na cláusula `calculo_fator_impedancia_lmt_maximo`, conforme a figura (A.8), adicionou-se $1,0E-10$ aos divisores. Com isto, evitou-se a divisão por zero.
- Na cláusula `testo_incremento_fz_lmt`, mostrada na figura (A.9), testa-se `Inc_Fz_lmt` com precisão de $1,0E-8$. Tornou-se necessário fixar uma precisão posto que, em aritmética de ponto flutuante, sempre há erros de arredondamento. Conforme estabelecido, qualquer incremento, `Inc_Fz_lmt`, entre $-1,0E-8$ e $1,0E-8$ foi considerado como zero.

APENDICE B

Listagem das mensagens

Segue-se a listagem de todas as mensagens possíveis emitidas pelo protótipo.

Nao consegui achar um fator de escala de tensao.
Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de
se achar um fator de escala de tensao :
Tipo de erro : Nao e possivel se obter bobinas saturaveis com
os valores de tensao de joelho dados.

Sugiro que se verifique :

- Os valores das tensoes de joelho para todos os niveis de tensao.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : O fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao e menor que o fator de escala de impedancia minimo do mesmo nivel.

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A resistencia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A indutancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : XXXX.XXXX

Capacitancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : XXXX.XXXX

Capacitancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Verificar se o limite imposto como maximo para a reatancia indutiva serie deste nivel de tensao pode ser alterado associando-se bobinas em serie de acordo com os elementos disponiveis, para obter-se uma reatancia total de ~~XXXX.XXXX~~
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Utilizar, se possivel, uma tensao-base no maximo XXXX.XXXX % da escolhida pelo programa, que foi de XX.XXXX, para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatancia indutiva serie maior do que a disponivel no tna. Isto pode ser obtido utilizando-se transformadores ideais para conectar tal elemento ou parte do sistema a rede.

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Verificar se o limite imposto como maximo para a reatancia indutiva paralela deste nivel de tensao pode ser alterado associando-se bobinas em serie de acordo com os elementos disponiveis, para obter-se uma reatancia total de XXXX.XXXX
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Adicionar XXXX.XXXX de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando XXXX.XXXX de capacitancia externa.
- Utilizar, se possivel, uma tensao-base no maximo XXXX.XXXX % da escolhida pelo programa, que foi de XX.XXXX, para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatancia indutiva paralela maior do que a disponivel no tna. Isto pode ser obtido utilizando-se transformadores ideais para conectar tal elemento ou parte do sistema a rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.
Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar
um fator de escala de corrente :
Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em
alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite
maximo imposto pelo tna.
Nivel de tensao : XXXX.XXXX
Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX
Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX
Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX
Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :
- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de
tensao.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente minima deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite minimo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente minima deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Utilizar, se possivel, uma tensao-base no maximo XXXX.XXXX % da escolhida pelo programa, que foi de XX.XXXX, no componente onde foi calculada uma corrente minima menor que a corrente minima imposta pelo tna. Isto pode ser obtido utilizando-se transformadores ideais para conectar tal componente a rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :
 Tipo de erro : A resistencia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A indutancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfez ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A indutancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfez ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em algum para-raios deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente no para-raios deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfez ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :
 Tipo de erro : A indutancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma chave deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na chave deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :
 Tipo de erro : A resistencia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Resistencia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :
 Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :
 Tipo de erro : A indutancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Indutancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma fonte deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Valor calculado da corrente na fonte deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.

Nivel de tensao : XXXX.XXXX

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : X

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : XXXX.XXXX

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : XXXX.XXXX

Reatancia indutiva paralela calculada para este nivel de tensao : XXXX.XXXX

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, XXXX.XXXX % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Fatores de Escala :

Nivel de Tensao (kV) ==> XXXX.XXXX
 Fv (V/kV) ==> XXXX.XXXX
 Fz ==> XXXX.XXXX
 Fi (mA/A) ==> XXXX.XXXX
 Fp (VA/MVA) ==> XXXX.XXXX

Nivel de Tensao (kV) ==> XXXX.XXXX
 Fv (V/kV) ==> XXXX.XXXX
 Fz ==> XXXX.XXXX
 Fi (mA/A) ==> XXXX.XXXX
 Fp (VA/MVA) ==> XXXX.XXXX

Nivel de Tensao (kV) ==> XXXX.XXXX
 Fv (V/kV) ==> XXXX.XXXX
 Fz ==> XXXX.XXXX
 Fi (mA/A) ==> XXXX.XXXX
 Fp (VA/MVA) ==> XXXX.XXXX

Nivel de Tensao (kV) ==> XXXX.XXXX
 Fv (V/kV) ==> XXXX.XXXX
 Fz ==> XXXX.XXXX
 Fi (mA/A) ==> XXXX.XXXX
 Fp (VA/MVA) ==> XXXX.XXXX

Nivel de Tensao (kV) ==> XXXX.XXXX
 Fv (V/kV) ==> XXXX.XXXX
 Fz ==> XXXX.XXXX
 Fi (mA/A) ==> XXXX.XXXX
 Fp (VA/MVA) ==> XXXX.XXXX

APENDICE C

Figuras

Seguem-se todas as figuras referentes aos capitulos e apêndices.

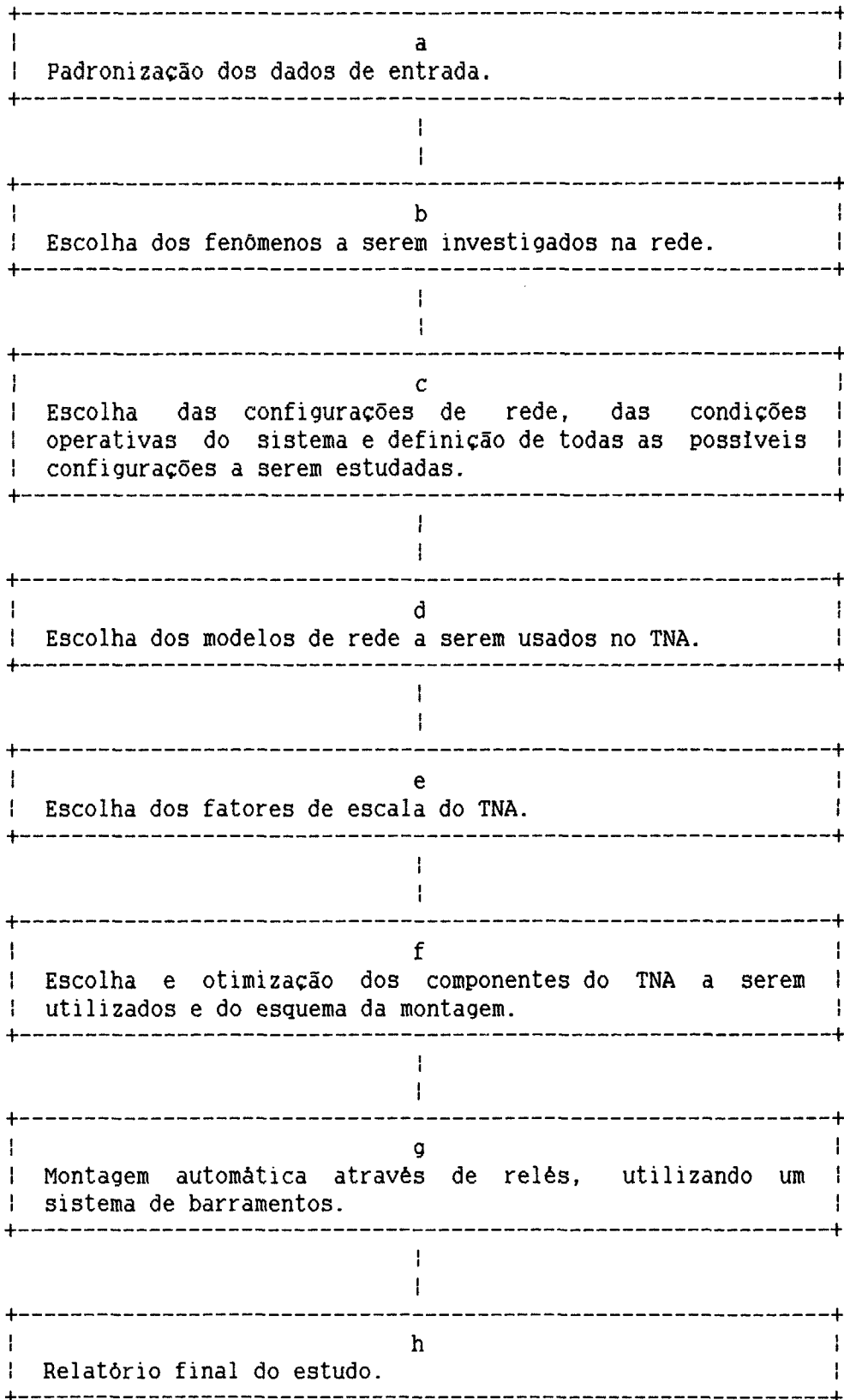
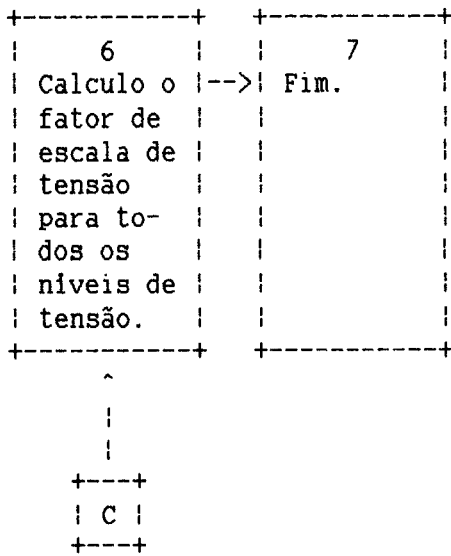
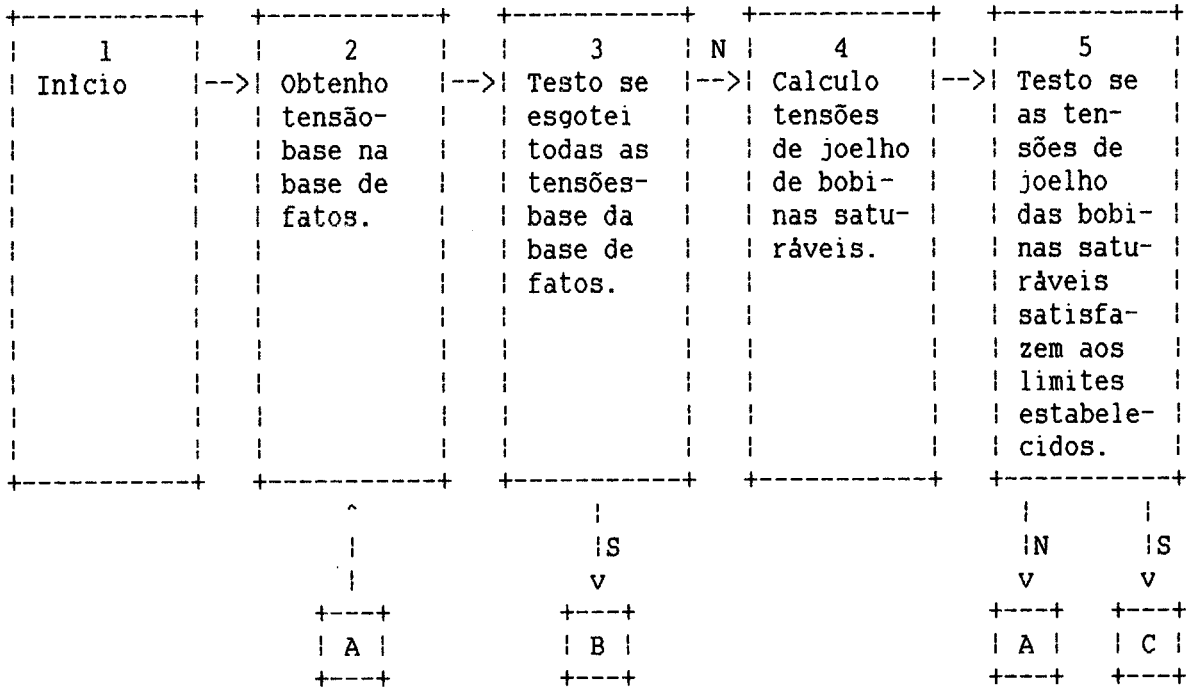


Figura V.1



Continua na página seguinte

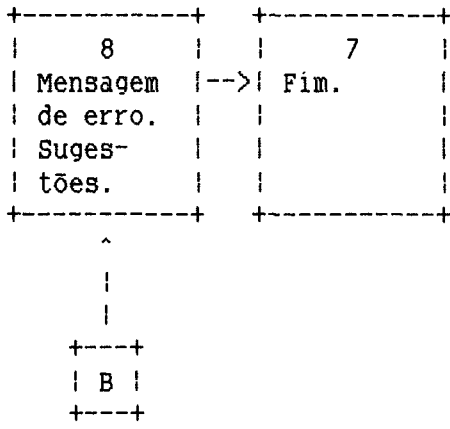


Figura VI.1

1		2	S	3		4		5
Início.	-->	Testo se consigo fatores de escala de impedância para o nível de maior tensão dentro dos limites calculados.	-->	Insiro na base de fatos, fatores de escala de impedância para o nível de maior tensão, dentro dos limites calculados.	-->	Obtenho fator de escala de impedância para o nível de maior tensão na base de fatos.	-->	Testo se esgotei todos os fatores de escala de impedância para o nível de maior tensão da base de fatos.
		 N v +---+ A +---+				^ +---+ B +---+		 S v +---+ A +---+ N v +---+ C +---+

6		7		8	S	9		10
Calculo o fator de escala de impedância para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Calculo as resistências de fase e neutro da linha modelada para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se as resistências de fase e neutro da linha modelada para o i-ésimo nível de tensão satisfazem aos limites estabelecidos.	-->	Calculo as indutâncias de fase e neutro da linha modelada para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se as indutâncias de fase e neutro da linha modelada para o i-ésimo nível de tensão satisfazem aos limites estabelecidos.
^ +---+ C +---+				 N v +---+ A +---+				 N v +---+ A +---+ S v +---+ D +---+

Continua na página seguinte

11		12	S	13	S	14		15
Calculo as capacidades de fase e neutro da linha modelada para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se as capacidades de fase e neutro da linha modelada para o i-ésimo nível de tensão satisfazem aos limites estabelecidos.	-->	Testo se percorri todos os níveis de tensão.	-->	Calculo a reatância indutiva série para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se a reatância indutiva série para o i-ésimo nível de tensão satisfaz ao limite estabelecido.

^
|
+---+
| D |
+---+

|
|N
v
+---+
| B |
+---+

|
|N
v
+---+
| C |
+---+

^
|
+---+
| E |
+---+

|
|N
v
+---+
| A |
+---+
|
|S
v
+---+
| F |
+---+

16		17	S	18	S	19
Calculo a reatância indutiva paralela para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se a reatância indutiva paralela para o i-ésimo nível de tensão satisfaz ao limite estabelecido.	-->	Testo se percorri todos os níveis de tensão.	-->	Fim.

^
|
+---+
| F |
+---+

|
|N
v
+---+
| A |
+---+

|
|N
v
+---+
| E |
+---+

Continua na página seguinte

20	19
Mensagem	Fim.
de erro.	
Suges-	
tões.	

^
|
|
+---+
| A |
+---+

Figura VI.2

1		2		3		4	S	5
Início.	-->	Calculo o fator de escala de corrente para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Calculo a corrente na bobina para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se a corrente na bobina para o i-ésimo nível de tensão satisfaz ao limite estabelecido.	-->	Calculo a corrente no pára-raios para o i-ésimo nível de tensão.
		^						
						N		
						v		v
		+---+				+---+		+---+
		A				B		C
		+---+				+---+		+---+

6	S	7		8	S	9		10
Testo se a corrente no pára-raios para o i-ésimo nível de tensão satisfaz ao limite estabelecido.	-->	Calculo a corrente na chave para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se a corrente na chave para o i-ésimo nível de tensão satisfaz ao limite estabelecido.	-->	Calculo a corrente na fonte para o i-ésimo nível de tensão.	-->	Testo se a corrente na fonte para o i-ésimo nível de tensão satisfaz ao limite estabelecido.
		^						
				N		N		N
				v		v		v
		+---+		+---+		+---+		+---+
		C		B		B		D
		+---+		+---+		+---+		+---+

Continua na página seguinte

11	S	12		13	S	14	S	15
Testo se percorri todos os níveis de tensão.	-->	Calculo a corrente minima para o i- ésimo ní- vel de tensão.	-->	Testo se a corren- te minima para o i- ésimo ní- vel de tensão satisfaz ao limite estabele- cido.	-->	Testo se percorri todos os níveis de tensão.	-->	Fim.
^		^						
	N			N		N		
	v			v		v		
+---+	+---+	+---+	+---+	+---+	+---+	+---+	+---+	
D	A	E	F	E				
+---+	+---+	+---+	+---+	+---+				

16
Retorno ao quarto bloco do diagrama de fluxo de dados do fator de escala de impe- dância.
^
+---+
B
+---+

Continua na página seguinte

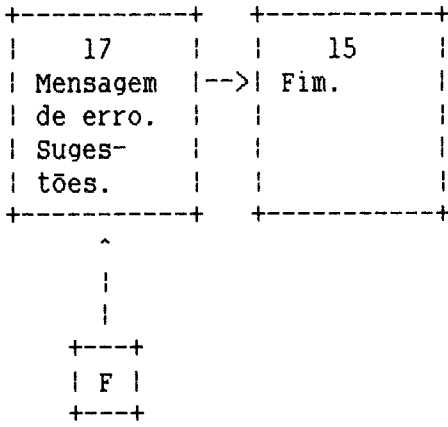


Figura VI.3

Número de passos			10		
Níveis tensão (kV)	500	345	289	138	13,8
Tensões de Joelho	1,54 1,25	1,20	1,27 1,47 1,17	----	----
Tipo de pi	1	1	1	1	1
Resist. fase (ohms)	0,2	0,5	0,34	0	0
Resist. neutro(ohms)	2,94	2,46	2,33	0	0
Indut. fase (ohms)	9,1	8,46	7,97	0	0
Indut. neutro (ohms)	8,26	8,41	7,99	0	0
Capac. fase (nF)	315,5	263,2	252,1	0	0
Capac. neutro (nF)	2321,4	1667,7	1579,8	0	0
Cap. ext. fase (nF)	0	0	0	0	0
Cap. ext. neutro(nF)	0	0	0	0	0
Reat. série (ohms)	0	0	0	0	1
Reat. paralelo(ohms)	0	0	0	30	0
R. máx. série (ohms)			1000		
R. máx. paral.(ohms)			7000		
Corrente bobinas (A)	0	8500	6332	0	0
Corrente p.raios (A)	0	0	0	0	0
Corrente chaves (A)	0	10000	6332	0	0
Corrente fontes (A)	0	10000	6332	0	0
Corrente mínima (A)	0	0	0	0	1313

Figura VI.4

Níveis tensão (kV)	500	345	289	138	13,8
Fv (V/kV)	0,0693	0,1004	0,1199	0,2510	2,5102
Fz	0,5358	1,1254	1,6038	7,0337	703,3711
Fi (mA/A)	0,1293	0,0892	0,0748	0,0357	0,0036
Fp (VA/MVA)	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090

Figura VI.5

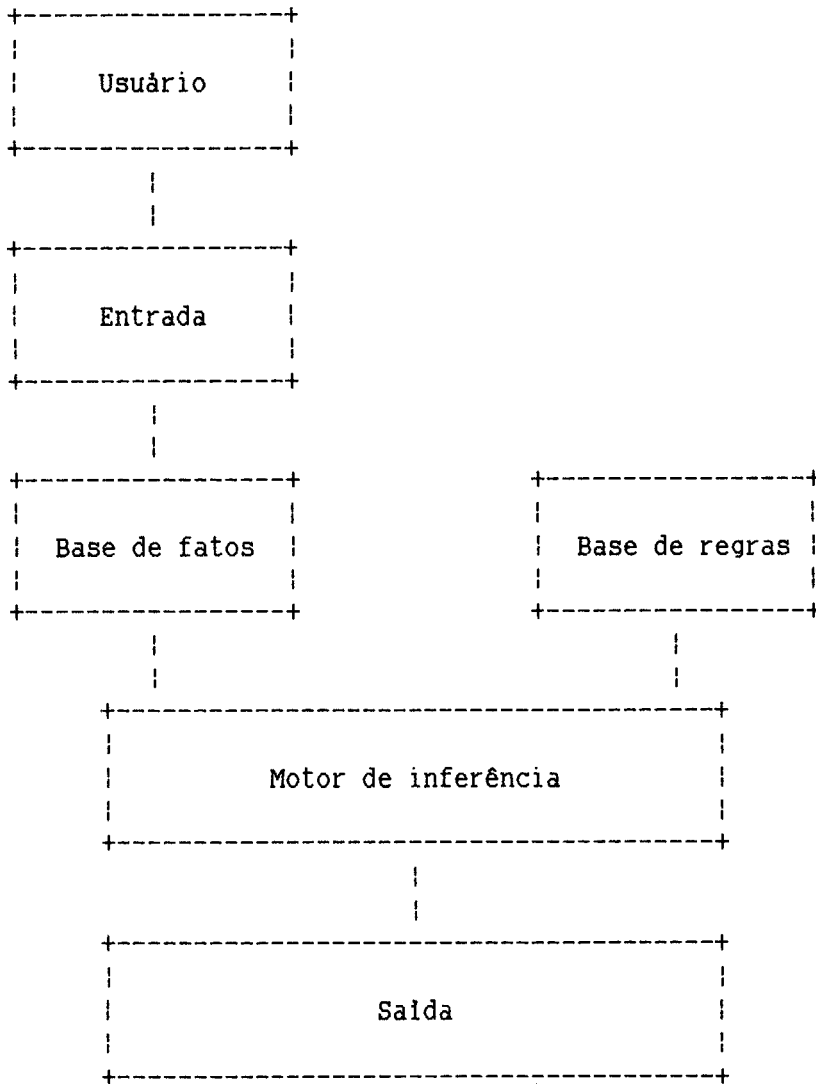


Figura VII.1

```
goal
  fator_escala.
```

Figura VII.2


```
fator_escala :-  
    inicializo_sistema,  
    calculo_fator_tensao,  
    calculo_fator_impedancia,  
    calculo_fator_corrente,  
    calculo_fator_potencia,  
    imprimo_fator_escala.
```

Figura VII.3

```

testo_bobinas_saturaveis :-
    tensoes_joelho_bobinas_saturaveis(Tjb),
    tensao_joelho_bobinas_saturaveis_maxima(Max_Tjb),
    tensao_joelho_bobinas_saturaveis_minima(Min_Tjb),
    max(Tjb,Max),
    min(Tjb,Min),
    Max <= Max_Tjb,
    Min >= Min_Tjb,
    !.
testo_bobinas_saturaveis :-
    /* Erro de bobinas saturaveis. */
    retiro_tensao_base, /* Para tentar outra tensao base. */
    tipo_primeiro_erro_fator_tensao(T_Pri_er_fv),
    T_Pri_er_fv = 0, /* Se nao houve erro ate agora, guardo o erro. */
    retract(tipo_primeiro_erro_fator_tensao(_)),
    assertz(tipo_primeiro_erro_fator_tensao(1)),
    retract(tipo_sugestao_fator_tensao(_)),
    assertz(tipo_sugestao_fator_tensao(1)),
    !,
    fail.

```

Figura VII.4

```
calculo_fator_impedancia_lt(Lt_lmt,Fz_lmt,Lt_lt,Fz_lt) :-  
    X1 = Lt_lmt / Lt_lt,  
    X2 = X1 * X1,  
    Fz_lt = Fz_lmt * X2,  
    retract(fator_impedancia(X3)),  
    append(X3,[Fz_lt],X4),  
    assertz(fator_impedancia(X4)),  
    !.
```

Figura VII.5

```
calculo6([],_ ,_ ,_ ,_ ) :- !.  
calculo6([Lt_lt|Resto_Lt],[Fv_lt|Resto_Fv],[Fz_lt|Resto_Fz],[Fi_lt|Resto_Fi],  
  [C_Min_lt|Resto_C_Min]) :-  
  calculo_corrente_minima_lt_tna(Fi_lt,C_Min_lt,C_Min_lt_tna),  
  testo_corrente_minima_lt_tna(Lt_lt,Fv_lt,Fz_lt,Fi_lt,C_Min_lt_tna),  
  calculo6(Resto_Lt,Resto_Fv,Resto_Fz,Resto_Fi,Resto_C_Min).
```

Figura VII.6

```
linhas_tensao([500,345,289,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.54,1.25,1.20,1.27,1.47,1.17]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,1,1,1]).
resistencias_fase([0.2,0.5,0.34,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([2.94,2.46,2.33,0.0,0.0]).
indutancias_fase([9.1,8.46,7.97,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([8.26,8.41,7.99,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([315.5,263.2,252.1,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([2321.4,1667.7,1579.8,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,0.0,1.0]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,30.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([0.0,8500.0,6332.0,0.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,10000.0,6332.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,10000.0,6332.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,0.0,1313.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.7

Fatores de Escala :

Nivel de Tensao (kV) ==> 500.0000

Fv (V/kV) ==> 0.0693

Fz ==> 0.5358

Fi (mA/A) ==> 0.1293

Fp (VA/MVA) ==> 0.0090

Nivel de Tensao (kV) ==> 345.0000

Fv (V/kV) ==> 0.1004

Fz ==> 1.1254

Fi (mA/A) ==> 0.0892

Fp (VA/MVA) ==> 0.0090

Nivel de Tensao (kV) ==> 289.0000

Fv (V/kV) ==> 0.1199

Fz ==> 1.6037

Fi (mA/A) ==> 0.0747

Fp (VA/MVA) ==> 0.0090

Nivel de Tensao (kV) ==> 138.0000

Fv (V/kV) ==> 0.2510

Fz ==> 7.0334

Fi (mA/A) ==> 0.0357

Fp (VA/MVA) ==> 0.0090

Nivel de Tensao (kV) ==> 13.8000

Fv (V/kV) ==> 2.5102

Fz ==> 703.3446

Fi (mA/A) ==> 0.0036

Fp (VA/MVA) ==> 0.0090

Figura VII.8

```
linhas_tensao([500,345,230,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.60,1.45,1.40,1.30,1.20,1.12,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,2,2,2]).
resistencias_fase([0.0,0.35,0.0,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([3.80,3.15,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_fase([15.9,15.08,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([14.4,11.31,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([553.0,875.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([4569.5,6219.5,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([100.0,200.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_p([3401.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,0.0,1313.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.9

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : O fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao e menor que o fator de escala de impedancia minimo do mesmo nivel.

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 1.1384

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 3181.5912 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 3181.5912 de capacitancia externa.
- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Figura VII.10


```
linhas_tensao([500,345,230,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.60,1.45,1.40,1.30,1.20,1.12,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,2,2,2]).
resistencias_fase([0.0,0.35,0.0,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([3.80,3.15,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_fase([15.9,15.08,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([14.4,11.31,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([553.0,875.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([4569.5,6219.5,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([3182.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([100.0,200.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_p([3401.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,0.0,1313.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.11

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 2.3908

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.5714

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 36.0529

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar 135.2200 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 135.2200 de capacitancia externa.
- Adicionar 3981.8771 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 7163.8771 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 99.1874 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.12

```
linhas_tensao([500,345,230,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.60,1.45,1.40,1.30,1.20,1.12,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,2,2,2]).
resistencias_fase([0.0,0.35,0.0,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([3.80,3.15,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_fase([15.9,15.08,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([14.4,11.31,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([553.0,875.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([4569.5,6219.5,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([136.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([7164.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([100.0,200.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_p([3401.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,0.0,1313.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.13

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 1.2002

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : 1.2002

Capacitancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 5181.8509

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 4349.3509 de capacitancia externa de neutro no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando 4349.3509 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 522.4446 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.14

```
linhas_tensao([500,345,230,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.60,1.45,1.40,1.30,1.20,1.12,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,2,2,2]).
resistencias_fase([0.0,0.35,0.0,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([3.80,3.15,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_fase([15.9,15.08,0.0,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([14.4,11.31,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([553.0,875.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([4569.5,6219.5,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([136.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([7164.0,4350.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([100.0,200.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_p([3401.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,5000.0,6302.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,0.0,1313.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.15

Fatores de Escala :

Nivel de Tensao (kV)	==>	500.0000
Fv (V/kV)	====>	0.0710
Fz	=====>	0.5714
Fi (mA/A)	====>	0.1243
Fp (VA/MVA)	==>	0.0088
Nivel de Tensao (kV)	==>	345.0000
Fv (V/kV)	====>	0.1029
Fz	=====>	1.2002
Fi (mA/A)	====>	0.0857
Fp (VA/MVA)	==>	0.0088
Nivel de Tensao (kV)	==>	230.0000
Fv (V/kV)	====>	0.1544
Fz	=====>	2.7006
Fi (mA/A)	====>	0.0572
Fp (VA/MVA)	==>	0.0088
Nivel de Tensao (kV)	==>	138.0000
Fv (V/kV)	====>	0.2573
Fz	=====>	7.5015
Fi (mA/A)	====>	0.0343
Fp (VA/MVA)	==>	0.0088
Nivel de Tensao (kV)	==>	13.8000
Fv (V/kV)	====>	2.5730
Fz	=====>	750.1543
Fi (mA/A)	====>	0.0034
Fp (VA/MVA)	==>	0.0088

Figura VII.16

```
linhas_tensao([230,138,12.66,5.94]).
tensoes_joelho_transformadores([1.21,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,1,1]).
resistencias_fase([1.75,2.95,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([4.35,1.35,0.0,0.0]).
indutancias_fase([18.1,13.57,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([11.31,12.82,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([942.0,515.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([2919.0,1777.5,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,3.185,1.536]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([1700.0,1700.0,22000.0,22000.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,620.0,620.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.17

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : O fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao e menor que o fator de escala de impedancia minimo do mesmo nivel.

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 1.0000

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 109.5000 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 109.5000 de capacitancia externa.
- Adicionar 2086.5000 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 2086.5000 de capacitancia externa.
- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Figura VII.18


```
linhas_tensao([230,138,12.66,5.94]).
tensoes_joelho_transformadores([1.21,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,1,1]).
resistencias_fase([1.75,2.95,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([4.35,1.35,0.0,0.0]).
indutancias_fase([18.1,13.57,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([11.31,12.82,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([942.0,515.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([2919.0,1777.5,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([109.5,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([2086.5,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,3.185,1.536]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([1700.0,1700.0,22000.0,22000.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,620.0,620.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.19

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 138.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 2.7778

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.4802

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 37.6944

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar 1019.7772 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 1129.2772 de capacitancia externa.
- Adicionar 3160.0101 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 5246.5101 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 108.2566 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.20

```
linhas_tensao([230,138,12.66,5.94]).
tensoes_joelho_transformadores([1.21,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,1,1]).
resistencias_fase([1.75,2.95,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([4.35,1.35,0.0,0.0]).
indutancias_fase([18.1,13.57,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([11.31,12.82,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([942.0,515.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([2919.0,1777.5,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([1130.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([5247.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,3.185,1.536]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([1700.0,1700.0,22000.0,22000.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,620.0,620.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.21

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 138.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 1.3337

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : 1.3337

Capacitancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 1332.7414

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 500.2414 de capacitancia externa de neutro no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando 500.2414 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 60.0891 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.22

```
linhas_tensao([230,138,12.66,5.94]).
tensoes_joelho_transformadores([1.21,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,1,1]).
resistencias_fase([1.75,2.95,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([4.35,1.35,0.0,0.0]).
indutancias_fase([18.1,13.57,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([11.31,12.82,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([942.0,515.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([2919.0,1777.5,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([1130.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([5247.0,501.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,3.185,1.536]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([1700.0,1700.0,22000.0,22000.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,620.0,620.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.23

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.
Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :
Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.
Nivel de tensao : 5.9400
Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 1
Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 719.8616
Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.4342
Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : 1105.7074

Sugiro que se altere por prioridade :

- Verificar se o limite imposto como maximo para a reatancia indutiva serie deste nivel de tensao pode ser alterado associando-se bobinas em serie de acordo com os elementos disponiveis, para obter-se uma reatancia total de 1105.7074
- Adicionar 206.8264 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 1336.8264 de capacitancia externa.
- Adicionar 642.6484 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 5889.6484 de capacitancia externa.
- Utilizar, se possivel, uma tensao-base no maximo 90.4398 % da escolhida pelo programa, que foi de 20.5000, para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatancia indutiva serie maior do que a disponivel no tna. Isto pode ser obtido utilizando-se transformadores ideais para conectar tal elemento ou parte do sistema a rede.

Figura VII.24

```
linhas_tensao([230,138,12.66,5.94]).
tensoes_joelho_transformadores([1.21,1.10]).
numero_passos(10).
tipos_pi([2,2,1,1]).
resistencias_fase([1.75,2.95,0.0,0.0]).
resistencias_neutro([4.35,1.35,0.0,0.0]).
indutancias_fase([18.1,13.57,0.0,0.0]).
indutancias_neutro([11.31,12.82,0.0,0.0]).
capacitancias_fase([942.0,515.0,0.0,0.0]).
capacitancias_neutro([2919.0,1777.5,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_fase([1130.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([5247.0,501.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,3.185,1.536]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1106.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([1700.0,1700.0,22000.0,22000.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,620.0,620.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.25

Fatores de Escala :

Nivel de Tensao (kV) ==> 230.0000

Fv (V/kV) ==> 0.1544

Fz ==> 0.4801

Fi (mA/A) ==> 0.3215

Fp (VA/MVA) ==> 0.0496

Nivel de Tensao (kV) ==> 138.0000

Fv (V/kV) ==> 0.2573

Fz ==> 1.3337

Fi (mA/A) ==> 0.1929

Fp (VA/MVA) ==> 0.0496

Nivel de Tensao (kV) ==> 12.6600

Fv (V/kV) ==> 2.8047

Fz ==> 158.4727

Fi (mA/A) ==> 0.0177

Fp (VA/MVA) ==> 0.0496

Nivel de Tensao (kV) ==> 5.9400

Fv (V/kV) ==> 5.9776

Fz ==> 719.8616

Fi (mA/A) ==> 0.0083

Fp (VA/MVA) ==> 0.0496

Figura VII.26


```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([0.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.27

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : O fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao e menor que o fator de escala de impedancia minimo do mesmo nivel.

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 1.1998

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 143.7953 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 143.7953 de capacitancia externa.
- Adicionar 1102.3368 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 1102.3368 de capacitancia externa.
- Redimensionar o numero de pis da linha do maior nivel de tensao.

Figura VII.28

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([144.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([1103.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.29

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : l

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 2.5197

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.6155

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 38.9793

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar 1401.3329 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 1545.3329 de capacitancia externa.
- Adicionar 5158.3244 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 6261.3244 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 94.8963 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.30

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([1546.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([6262.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.31

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 138.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 8.0796

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.1989

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 25.5317

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar 6028.7561 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 7574.7561 de capacitancia externa.
- Adicionar 22193.3197 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 28455.3197 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 209.4747 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.32

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([7575.0,0.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([28456.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.33

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 1

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 0.4177

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : 0.4177

Capacitancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 3427.2108

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 2094.4608 de capacitancia externa de fase no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando 2094.4608 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 157.1533 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.34


```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes Joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([7575.0,2095.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([28456.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.35

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 1

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 0.4177

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : 0.4177

Capacitancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 10740.1771

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 6407.4271 de capacitancia externa de neutro no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando 6407.4271 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 147.8836 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.36

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([7575.0,2095.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([28456.0,6408.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.37

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A indutancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 138.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 2.6107

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.1565

Indutancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 23.0003

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Adicionar 2411.5697 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 9986.5697 de capacitancia externa.
- Adicionar 8877.0811 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 37333.0811 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 27.0736 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.38

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([9987.0,2095.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([37334.0,6408.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.39

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 1

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 0.3287

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : 0.3287

Capacitancia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 2260.1747

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 927.4247 de capacitancia externa de fase no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando 3022.4247 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 69.5873 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.40

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([9987.0,3023.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([37334.0,6408.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.41

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia :

Tipo de erro : A capacitancia de neutro da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 345.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 1

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 0.3287

Fator de escala de impedancia minimo do nivel de tensao que passa a satisfazer com a adicao de capacitancias externas na linha : 0.3287

Capacitancia de neutro do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 7240.2261

Sugiro que se altere por prioridade :

- Adicionar 2907.4761 de capacitancia externa de neutro no pi da linha deste nivel de tensao, totalizando 9315.4761 de capacitancia externa.
- Aumentar o numero de pis da linha deste nivel de tensao em, no minimo, 67.1046 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.42


```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([9987.0,3023.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([37334.0,9316.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(1000.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.43

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.
Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de
se achar um fator de escala de impedancia :
Tipo de erro : A reatancia indutiva serie calculada para
este nivel de tensao nao satisfaz ao limite imposto como maximo.
Nivel de tensao : 13.8000
Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2
Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 205.4438
Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que
satisfaz : 0.0725
Reatancia indutiva serie calculada para este nivel de tensao : 2157.1601

Sugiro que se altere por prioridade :

- Verificar se o limite imposto como maximo para a reatancia indutiva serie deste nivel de tensao pode ser alterado associando-se bobinas em serie de acordo com os elementos disponiveis, para obter-se uma reatancia total de 2157.1601
- Adicionar 13098.3738 de capacitancia externa de fase no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 23085.3738 de capacitancia externa.
- Adicionar 48215.1026 de capacitancia externa de neutro no pi da linha do maior nivel de tensao, totalizando 85549.1026 de capacitancia externa.
- Utilizar, se possivel, uma tensao-base no maximo 46.3572 % da escolhida pelo programa, que foi de 20.0000, para o elemento ou parte do sistema onde foi calculada a reatancia indutiva serie maior do que a disponivel no tna. Isto pode ser obtido utilizando-se transformadores ideais para conectar tal elemento ou parte do sistema a rede.

Figura VII.44

```
linhas_tensao([500,345,138,13.8]).
tensoes_joelho_transformadores([1.32,1.54]).
numero_passos(10).
tipos_pi([1,1,2,2]).
resistencias_fase([1.05,1.53,3.16,0.0]).
resistencias_neutro([6.01,5.09,1.75,0.0]).
indutancias_fase([16.67,15.47,8.81,0.0]).
indutancias_neutro([15.0,15.28,8.42,0.0]).
capacitancias_fase([1771.5,1431.59,639.45,0.0]).
capacitancias_neutro([6520.8,4486.31,1488.33,0.0]).
capacitancias_externas_fase([9987.0,3023.0,0.0,0.0]).
capacitancias_externas_neutro([37334.0,9316.0,0.0,0.0]).
reatancias_indutivas_s([0.0,0.0,0.0,10.5]).
reatancias_indutivas_p([0.0,0.0,0.0,0.0]).
reatancia_indutiva_maxima_s_tna(2158.0).
reatancia_indutiva_maxima_p_tna(7000.0).
correntes_bobinas([6928.0,0.0,12551.0,0.0]).
correntes_para_raios([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_chaves([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_fontes([0.0,0.0,0.0,0.0]).
correntes_minimas([0.0,0.0,0.0,650.0]).
fim_dados_entrada(_).
```

Figura VII.45

Nao consegui achar um fator de escala de corrente.

Informacoes sobre o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : O valor calculado da corrente que passara em alguma bobina deste nivel de tensao nao satisfaz ao limite maximo imposto pelo tna.

Nivel de tensao : 500.0000

Fator de escala de tensao deste nivel de tensao : 0.0693

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 0.1565

Fator de escala de corrente deste nivel de tensao : 0.4427

Valor calculado da corrente na bobina deste nivel de tensao : 3067.0245

Nao consegui achar um fator de escala de impedancia.

Informacoes sobre o primeiro erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de impedancia logo apos o ultimo erro ocorrido na tentativa de se achar um fator de escala de corrente :

Tipo de erro : A resistencia de fase da linha modelada nao satisfaz ao limite maximo imposto por este tipo de pi neste nivel de tensao.

Nivel de tensao : 138.0000

Tipo de pi da linha deste nivel de tensao : 2

Fator de escala de impedancia deste nivel de tensao : 3.4240

Fator de escala de impedancia maximo do maior nivel de tensao que satisfaz : 0.1989

Resistencia de fase do modelo pi da linha deste nivel de tensao : 10.8198

Sugiro que se altere por prioridade :

- Aumentar progressivamente o numero de passos de incremento do fator de escala de impedancia para o maior nivel de tensao. O valor maximo recomendado e 100. Alem deste valor, pode-se deparar com problemas de sistema na execucao. No entanto, obtendo-se uma resposta, sera valida.
- Aumentar o numero de pis da linha do nivel de tensao que nao satisfaz ao calculo do fator de escala de impedancia em, no minimo, 31.1488 % de seu valor original. Ao executar esta sugestao, lembrar que a linha agora analisada pelo programa pode deixar de ser a mais critica da sua rede.

Figura VII.46

```
inicializo_sistema :-  
    limpo_area_trabalho,  
    inicializo_area_trabalho,  
    !.  
inicializo_sistema :-  
    inicializo_area_trabalho.
```

```
limpo_area_trabalho :-  
    limpo_dados_entrada,  
    limpo_fator_tensao,  
    limpo_fator_impedancia,  
    limpo_fator_corrente,  
    limpo_fator_potencia.
```

Figura A.1

```
goal
```

```
    fator_escala.
```

```
fator_escala :-  
    inicializo_sistema,  
    calculo_fator_tensao,  
    calculo_fator_impedancia,  
    calculo_fator_corrente,  
    calculo_fator_potencia,  
    imprimo_fator_escala.
```

Figura A.2

```

calculo_fator_tensao(Fv) :-
    escolho_tensao_base,
    calculo_tensoes_joelho_bobinas_saturaveis,
    teste_bobinas_saturaveis,
    calculos_finais_fator_tensao,
    fator_tensao(Fv).

escolho_tensao_base :-
    tensao_base(Tb),
    teste_tensao_base(Tb).

teste_bobinas_saturaveis :-
    tensoes_joelho_bobinas_saturaveis(Tjb),
    tensao_joelho_bobinas_saturaveis_maxima(Max_Tjb),
    tensao_joelho_bobinas_saturaveis_minima(Min_Tjb),
    max(Tjb,Max),
    min(Tjb,Min),
    Max <= Max_Tjb,
    Min >= Min_Tjb,
    !.

teste_bobinas_saturaveis :-
    erro_bobinas_saturaveis,
    !,
    fail.

erro_bobinas_saturaveis :-
    tensoes_joelho_bobinas_saturaveis(Tjb),
    tensao_joelho_bobinas_saturaveis_maxima(Max_Tjb),
    max(Tjb,Max),
    Max <= Max_Tjb,
    aumento_tensao_base,
    !.

erro_bobinas_saturaveis :-
    diminuo_tensao_base.

aumento_tensao_base :-
    retract(tensao_base(Tb)),
    Nov_Tb = Tb + 0.5,
    assertz(tensao_base(Nov_Tb)).

diminuo_tensao_base :-
    retract(tensao_base(Tb)),
    Nov_Tb = Tb - 0.5,
    assertz(tensao_base(Nov_Tb)).

```

Figura A.3

```

inicializo_tensao_base :-
    assertz(tensao_base(20.0)),
    assertz(tensao_base(20.5)),
    assertz(tensao_base(19.5)),
    assertz(tensao_base(21.0)),
    assertz(tensao_base(19.0)),
    assertz(tensao_base(21.5)),
    assertz(tensao_base(18.5)),
    assertz(tensao_base(22.0)),
    assertz(tensao_base(18.0)),
    assertz(tensao_base(-1.0)).

inicializo_fator_impedancia_lmt(Max_Fz_lmt,Inc_Fz_lmt,Fz_lmt) :-
    Nov_Fz_lmt = Fz_lmt + Inc_Fz_lmt,
    /* Devo incrementar "Max_Fz_lmt" de 1,0E-10 para estabelecer uma preci- */
    /* sao, que se torna necessaria sempre que se trabalha com aritmetica */
    /* de ponto flutuante. */
    Nov_Fz_lmt <= Max_Fz_lmt + 0.0000000001,
    assertz(fator_impedancia_lmt(Nov_Fz_lmt)),
    inicializo_fator_impedancia_lmt(Max_Fz_lmt,Inc_Fz_lmt,Nov_Fz_lmt).
inicializo_fator_impedancia_lmt(_,_,_) :-
    assertz(fator_impedancia_lmt(-1.0)),
    !.

```

Figura A.4


```
retiro_tensoes_base :-  
    tensao_base(Tb),  
    Tb <> -1.0,  
    retract(tensao_base(_)),  
    retiro_tensoes_base.  
retiro_tensoes_base :- !.
```

```
retiro_fatores_impedancia_lmt :-  
    fator_impedancia_lmt(Fz_lmt),  
    Fz_lmt <> -1.0,  
    retract(fator_impedancia_lmt(_)),  
    retiro_fatores_impedancia_lmt.  
retiro_fatores_impedancia_lmt :- !.
```

Figura A.5

```
retiro_tensoes_base :-
  /* Devo incluir a clausula "erro_fatal" pois o compilador Turbo Prolog */
  /* V1.0 nao aceita que se retirem todas as clausulas "tensao_base" de */
  /* uma vez. */
  retract(erro_fatal(_)),
  assertz(erro_fatal(1)),
  !.

retiro_fatores_impedancia_lmt :-
  /* Devo incluir a clausula "erro_fatal" pois o compilador Turbo Prolog */
  /* V1.0 nao aceita que se retirem todas as clausulas "fator_impedancia_ */
  /* _lmt" de uma vez. */
  retract(erro_fatal(_)),
  assertz(erro_fatal(1)),
  !.
```

Figura A.6

```
testo_resistencia :-  
    . . . . .,  
    !,  
    fail.  
testo_resistencia :-  
    . . . . .
```

Figura A.7

```

calculo_fator_impedancia_lmt_maximo(Max_Fz_lmt) :-
    tipos_pi([T_pi_lmt|_]),
    resistencias_fase([R_Fase_lmt|_]),
    resistencias_neutro([R_Neutro_lmt|_]),
    indutancias_fase([I_Fase_lmt|_]),
    indutancias_neutro([I_Neutro_lmt|_]),
    resistencia_maxima_pi(T_pi_lmt,R_Max_pi),
    indutancia_maxima_pi(T_pi_lmt,I_Max_pi),
    Fz11 = R_Max_pi / (R_Fase_lmt + 0.0000000001), /* Evito div. por zero */
    Fz12 = R_Max_pi / (R_Neutro_lmt + 0.0000000001), /* Evito div. por zero */
    menor(Fz11,Fz12,Fz1),
    Fz21 = I_Max_pi / (I_Fase_lmt + 0.0000000001), /* Evito div. por zero */
    Fz22 = I_Max_pi / (I_Neutro_lmt + 0.0000000001), /* Evito div. por zero */
    menor(Fz21,Fz22,Fz2),
    menor(Fz1,Fz2,Fz3),
    Max_Fz_lmt = Fz3.

```

Figura A.8

```

testo_incremento_fz_lmt(Min_Fz_lmt,Max_Fz_lmt,Inc_Fz_lmt) :-
    /* Testa-se "Inc_Fz_lmt" com precisao de 1,0E-8. Torna-se necessario */
    /* estabelecer uma precisao sempre que se trabalha com aritmetica de */
    /* ponto flutuante. */
    Inc_Fz_lmt > 0.00000001,
    Fz_lmt = Min_Fz_lmt - Inc_Fz_lmt,
    inicializo_fator_impedancia_lmt(Max_Fz_lmt,Inc_Fz_lmt,Fz_lmt),
    !.
testo_incremento_fz_lmt(Min_Fz_lmt,_,Inc_Fz_lmt) :-
    /* Testa-se "Inc_Fz_lmt" com precisao de 1,0E-8. Torna-se necessario */
    /* estabelecer uma precisao sempre que se trabalha com aritmetica de */
    /* ponto flutuante. */
    Inc_Fz_lmt > -0.00000001,
    assertz(fator_impedancia_lmt(Min_Fz_lmt)),
    assertz(fator_impedancia_lmt(-1.0)),
    !.
testo_incremento_fz_lmt(_,Max_Fz_lmt,_) :-
    /* Erro de fator de impedancia do nivel de maior tensao. */
    assertz(fator_impedancia_lmt(-1.0)),
    . . . . .

```

Figura A.9