

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA HÍBRIDO COMPOSTO  
POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS E ALGORÍTMOS  
GENÉTICOS PARA O TRATAMENTO DE ALARMES  
E O DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS  
ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Marcelo Brondani Toller**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA HÍBRIDO COMPOSTO  
POR REDES NEURAS ARTIFICIAIS E ALGORÍTMOS  
GENÉTICOS PARA O TRATAMENTO DE ALARMES  
E O DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS  
ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

**por**

**Marcelo Brondani Toller**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica, **Área de Concentração em Processamento de Energia**,  
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Elétrica**

**Orientador: Ghendy Cardoso Júnior, Dr. Eng.**

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**PROPOSTA DE UM SISTEMA HÍBRIDO COMPOSTO  
POR REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS E ALGORÍTMOS  
GENÉTICOS PARA O TRATAMENTO DE ALARMES  
E O DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS  
ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

elaborada por

**Marcelo Brondani Toller**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Elétrica

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Ghendy Cardoso Júnior, Dr. Eng. (UFSM)**

---

**Ubiratan Holanda Bezerra, Dr. Sc. (UFPA)**

---

**Olinto César Bassi de Araújo, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 18 de fevereiro de 2011.

---

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Marcelo Brondani Toller. A reprodução de partes ou todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço: Rua Duque de Caxias, 04, Bairro Centro, São Pedro do Sul, RS, 97400-000.

Fone: (55) 3276-2839; End. Eletrônico: [marcelo.toller@aes.com](mailto:marcelo.toller@aes.com)

---

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Ghendy Cardoso Júnior pela orientação, conhecimentos transmitidos, disposição e convívio durante todas as etapas do trabalho.

Aos professores, colaboradores e colegas do CEEMA, em especial ao colega Adriano Peres de Moraes pelo convívio e pelo apoio quanto às dificuldades logísticas devido a minha distância física com a Universidade.

Aos Professores Ubiratan Holanda Bezerra e Olinto César Bassi de Araújo, membros da Comissão Examinadora, pelas valiosas sugestões.

Além do agradecimento especial aos meus pais Argemiro Romeu Toller e Maria Sueli Brondani Toller, a minha irmã Aline Brondani Toller e meu irmão Bruno Brondani Toller que me deram muito incentivo e apoio durante toda trajetória acadêmica, e em todos os momentos da minha vida.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria

# PROPOSTA DE UM SISTEMA HÍBRIDO COMPOSTO POR REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS E ALGORÍTMOS GENÉTICOS PARA O TRATAMENTO DE ALARMES E O DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

AUTOR: MARCELO BRONDANI TOLLER

ORIENTADOR: GHENDY CARDOSO JÚNIOR, Dr. Eng.

**Local e data da Defesa: Santa Maria, 18 de fevereiro de 2011.**

O presente trabalho propõe um sistema híbrido para processamento de alarmes e diagnóstico de faltas em redes elétricas com a utilização de dois métodos de inteligência computacional: *Generalized Regression Neural Network* e Algoritmos Genéticos. A rede neural tem a função de processar o conjunto de alarmes reportados e apresentar como resposta o evento(s) característico(s), utilizando-se, para isso, de um conhecimento elaborado com base nos diagramas funcionais da proteção e entrevista com operadores. Foram implementados seis módulos neurais para diferentes componentes de um sistema teste, de acordo com os seus respectivos esquemas de proteção. A saída destes módulos é utilizada como entrada para o AG que deve fazer uma análise combinatória juntamente com sua base de dados e apresentar ao operador os principais componentes de proteção envolvidos na incidência, bem como as prováveis causas do defeito e ações a serem tomadas de forma a restabelecer o sistema no menor tempo possível e com maior segurança. Para erros aleatórios médios inseridos de 0%, 7,73%, 15,46% e 23,19% nos alarmes reportados, o sistema se mostrou capaz de diagnosticar corretamente em respectivamente 100%, 93,60%, 74,26% e 48,07% dos casos. Verificou-se que o algoritmo genético melhorou os resultados obtidos pela rede neural, apresentando boa capacidade de generalização e condições de apresentação de múltiplas soluções, sendo o tempo de resposta do sistema híbrido aceitável para o problema tratado.

Palavras-chave: Sistema Elétrico de Potência; Processamento de alarmes; Diagnóstico de faltas; Redes neurais artificiais; Algoritmos genéticos.

## **ABSTRACT**

Master of Science Dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria

# **PROPOSAL OF A HYBRID SYSTEM COMPOSED OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND GENETIC ALGORITHMS FOR THE TREATMENT OF ALARMS, AND FAULT DIAGNOSIS IN ELECTRICAL POWER SYSTEM**

**AUTHOR: MARCELO BRONDANI TOLLER**

**ADVISOR: GHENDY CARDOSO JÚNIOR, Dr. Eng.**

**Location and date of viva: Santa Maria, February 18<sup>th</sup>, 2011.**

This work proposes a hybrid system for alarm processing and fault diagnosis in electrical networks which use two methods of computational intelligence: Generalized Regression Neural Network and Genetic Algorithms. The neural network has the function of processing the set of received alarms and present as a response the characteristic(s) event(s), using for this, an elaborated knowledge based on the functional diagrams for protection and interviews with operators. Six modules were implemented for different neural components of a test system, according to their protection schemes. The output of these modules is used as input to the GA which has to do a combined analysis along with its database and provide the operator with the main protective components involved in the incident, as well as the probable causes of defects and actions to be taken in order to return the system in the shortest possible time and greater safety. For average inserted random errors of 0%, 7,73%, 15,46% and 23,19% in the received alarms, the system was able to diagnoses correctly in 100%, 93,60%, 74,26% and 48,07% of the cases respectively. It was found that the genetic algorithm improved the results obtained by neural network with good capability of generalization and condition to present multiple solutions, and the response time of the hybrid system was acceptable to the under consideration problem.

**Keywords:** Electric Power System; Alarm processing; Fault diagnosis; Artificial neural networks; Genetic algorithms.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	10
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	10
1.3 MOTIVAÇÃO	11
1.4 ESTADO-DA-ARTE	12
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	13
<b>2. PROCESSAMENTO DE ALARMES E DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS DE POTÊNCIA</b>	<b>14</b>
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	14
2.2 CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA	14
2.3 TÉCNICAS MAIS EMPREGADAS	16
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
<b>3. TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL UTILIZADAS</b>	<b>24</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	24
3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNAs)	24
3.2.1 <i>Introdução</i>	24
3.2.2 <i>Modelo do Neurônio</i>	25
3.2.3 <i>Arquitetura das Redes</i>	27
3.2.4 <i>Paradigmas de Aprendizagem</i>	28
3.2.5 <i>Generalized Regression Neural Network (GRNN)</i>	28
3.3 ALGORITMOS GENÉTICOS (AGs)	31
3.3.1 <i>Introdução</i>	31
3.3.2 <i>Teoria da Evolução</i>	32
3.3.3 <i>Darwinismo Computacional</i>	33
3.3.4 <i>Esquema Básico do AG</i>	34
3.3.5 <i>Representação Cromossomial</i>	36
3.3.6 <i>Parâmetros do AG</i>	37
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
<b>4. METODOLOGIA DE SOLUÇÃO PROPOSTA</b>	<b>42</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	42
4.2 METODOLOGIA PROPOSTA	42
4.3 SISTEMA HÍBRIDO	44
4.3.1 <i>Exemplo de Aplicação</i>	47
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
<b>5. RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>58</b>

5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	58
5.2	SISTEMA TESTE	58
5.3	MÓDULOS NEURAIS	59
5.3.1	<i>Módulo 1 - Modelagem da Linha de Transmissão SVI</i>	59
5.3.2	<i>Módulo 2 - Modelagem da Linha de Transmissão UFSE</i>	61
5.3.3	<i>Módulo 3 - Modelagem do Barramento 69 kV</i>	62
5.3.4	<i>Módulo 4 - Modelagem das Linhas de Transmissão Carga</i>	63
5.3.5	<i>Módulo 5 - Modelagem do Transformador TR-1</i>	66
5.3.6	<i>Módulo 6 - Modelagem dos Alimentadores</i>	68
5.4	MÓDULO GENÉTICO	71
5.4.1	<i>Resumo Dimensionamento do Sistema Teste</i>	73
5.5	PARÂMETROS UTILIZADOS	73
5.5.1	<i>Parâmetros Utilizados na GRNN</i>	73
5.5.2	<i>Parâmetros Utilizados no AG</i>	75
5.6	RESULTADOS	76
5.6.1	<i>Desempenho da GRNN</i>	76
5.6.2	<i>Desempenho do AG</i>	79
5.6.3	<i>Tempo de Processamento</i>	87
5.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b>	<b>89</b>
6.1	CONCLUSÕES	89
6.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	90
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>91</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICES</b>	<b>105</b>
	APÊNDICE A	105

# *Capítulo 1*

## **INTRODUÇÃO**

### **1.1 Considerações Gerais**

A proteção dos Sistemas Elétricos de Potência ocorre por meio da atuação dos relés quando esses têm seus limites de ajuste ultrapassados. Alguns equipamentos de proteção como chaves fusíveis, chaves repetidoras e religadores não telecomandados, responsáveis pela proteção de alimentadores de distribuição, não apresentam sistemas de monitoramento de parâmetros elétricos e de atuações. Porém, quando o nível de importância dos equipamentos elétricos envolvidos no defeito passa a ter maior relevância financeira, maior dificuldade de reposição, maior quantidade de clientes conectados e maior urgência de restabelecimento, como equipamentos elétricos de uma subestação ou de uma linha de transmissão, se comparados aos Transformadores e estruturas das redes distribuição, o nível de complexidade e quantidade de proteções eleva-se significativamente pela aplicação de relés e dispositivos de sinalização e monitoramento de parâmetros elétricos.

Geralmente, os sistemas mais complexos como subestações e linhas de transmissão são monitorados em tempo real. Os operadores do sistema devem saber identificar as causas da atuação das proteções desses para que ações sejam tomadas no intuito de fazer as manutenções corretivas e preventivas necessárias para evitar futuras atuações. Com isso, busca-se sempre evitar acidentes, manter a conservação das instalações e equipamentos elétricos e minimizar ao máximo o número de clientes afetados por defeitos na rede elétrica. Esta tarefa nem sempre é fácil devido à inexistência de ferramentas de apoio a tomada de decisão.

### **1.2 Objetivos do Trabalho**

Esta dissertação tem como objetivo geral abordar os assuntos relacionados exclusivamente a processamento de alarmes e diagnóstico de faltas em Sistemas Elétricos de Potência. O diagnóstico de faltas apresenta alguns desafios a serem solucionados. Logo, como objetivo inovador, este trabalho tem a finalidade de propor uma nova metodologia para

análise de faltas durante a ocorrência de defeitos no sistema elétrico e, deste modo, solucionar ou minimizar os problemas relacionados à interpretação dos alarmes acionados.

Como objetivo específico este trabalho visa:

- Identificar os principais problemas relacionados à inexistência de uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão;
- Buscar um método de inteligência computacional que consiga solucionar os problemas identificados;
- Fazer com que o método adotado tenha bom desempenho para um sistema teste real e consiga ser aplicado de forma generalista para outros sistemas elétricos;
- Recomendar a utilização do método para solução do problema, descrevendo as dificuldades e avanços obtidos.

### **1.3 Motivação**

A crescente expansão e modernização do Sistema Elétrico Nacional (SEN), motivadas pelo aumento do consumo e aplicação de novos equipamentos de monitoramento e proteção, estão tornando a operação cada vez mais complexa. A crescente interligação do SEN vem contribuindo para o aumento do número de alarmes acionados durante a ocorrência de defeitos. Falhas de operação de equipamentos e deficiência em ajustes de parâmetros de proteção ainda são muito frequentes, além disso, falhas de comunicação pela crescente utilização de telecomandos via sinal de telefonia são cada vez mais recorrentes. Todos estes fatores vêm complicando cada vez mais a tarefa de identificar a causa do defeito na rede elétrica. Além de todas estas dificuldades, hoje a escassez de profissionais especializados em operação do sistema elétrico com experiência suficiente para interpretar, principalmente, ocorrências de grande vulto também se torna mais um fator complicador. Esta soma de fatores leva a demora excessiva no restabelecimento do sistema e em alguns casos a interpretações equivocadas, podendo causar avarias de equipamentos e acidentes graves.

Pelo número crescente de publicações na área de processamento de alarmes e diagnóstico de faltas verifica-se que ainda não há uma solução definitiva para a minimização do problema, o que leva os pesquisadores a procurarem diversas técnicas e alternativas de implementação. O desafio de desenvolver uma metodologia que seja capaz de apresentar bons resultados, que favorecem uma redução no tempo de restabelecimento do sistema elétrico,

utilizando-se das informações passadas pelos equipamentos de monitoramento e proteção é a motivação para o estudo.

#### 1.4 Estado-da-arte

A inexistência de um modelo consolidado para o processamento de alarmes e diagnóstico de faltas deflagra a necessidade de avanços de pesquisas na área. Na década de 60 (EPRI, 1960) iniciaram os primeiros estudos de priorização de alarmes utilizando-se de modelagens matemáticas, e com o passar dos anos o número de publicações vem aumentando com a utilização de técnicas de inteligência computacional. Dos anos 80 até os primeiros anos da década de 90 as técnicas amplamente exploradas foram sistemas especialistas (SAKAGUCHI *et al.*, 1983; LIU *et al.*, 1987; GIRGIS *et al.*, 1989; DUROCHER, 1990; BERNARD *et al.*, 1993; ZHU *et al.*, 1994) e redes neurais artificiais (TANAKA *et al.*, 1989; CHAN, 1990; KANDIL *et al.*, 1992; CHEON *et al.*, 1993; LEFEVRE, 1995). A partir da metade dos anos 90 a metade dos anos 2000 foi acrescida ao conjunto de técnicas mais tradicionais a lógica *fuzzy* (CHOW *et al.*, 1997; PARK *et al.*, 1999; LEE *et al.*, 2000; MEZA, 2001; CHIN, 2003; SUN *et al.*, 2004), as redes de petri (YANG *et al.*, 1995; LO *et al.*, 1999; FERGANY *et al.*, 2002; SAMPAIO *et al.*, 2003; REN *et al.*, 2004), os algoritmos genéticos (WEN *et al.*, 1995; CAMPOCCIA, 1999; LEÃO, 2004) e também a busca tabu (WEN & CHANG, 1997), mas esta com menos trabalhos publicados. Na segunda metade da década de 2000 começaram a se intensificar os estudos de aplicação de novas técnicas, como algoritmo multi-agente (WANG *et al.*, 2005; CATTERSON *et al.*, 2005; MCARTHUR *et al.*, 2006), mineração de dados (LAMBERT-TORRES *et al.*, 2006; LI *et al.*, 2008; YAGANG *et al.*, 2009), *fuzzy reasoning* petri-nets (XIAO-LONG *et al.*, 2007; LUO *et al.*, 2008; KEZUNOVIC, 2009), sistema imunológico artificial (LEÃO *et al.*, 2009; LIU *et al.*, 2009), entre outras. Em meio ao período de transição entre a utilização das técnicas tradicionais e o surgimento de novas técnicas passou-se a explorar os sistemas híbridos na busca por novas soluções. Nos últimos 10 anos, muitas propostas de hibridização vêm sendo apresentadas, com maior aplicação de técnicas tradicionais como RNA & *fuzzy* (MITRA *et al.*, 2000; SOUZA, 2004; RIGATOS *et al.*, 2009), RNA & AG (BI, 2000; FRITZEN *et al.*, 2009; TOLLER *et al.*, 2009), SE & RNA (CARDOSO JR *et al.*, 2004) e AG & busca Tabu (LIN *et al.*, 2010), e algumas aplicações mesclando as técnicas mais tradicionais com as mais recentes como *Fuzzy* & Causa-Efeito (CHEN *et al.*, 2000), SE & Mineração de Dados (SILVA *et al.*,

2003), RNA & Árvore de Decisão (BATISTA, 2005) AG & Programação Binária (LEÃO *et al.*, 2006) e RNA & Colônia de formigas (ZHANG & SUN, 2007).

Analisando a evolução histórica de publicações verifica-se que a aplicação de uma única técnica tradicional não se mostrou suficiente para apresentar uma boa solução generalista, que sirva para tratar se não de todos pelo menos da maioria dos sistemas elétricos. Tanto o crescimento de aplicação de novas técnicas como aplicação de sistemas híbridos nos últimos anos comprovam esta evolução. A tendência atual das pesquisas é a busca por novas técnicas com filosofias ainda não exploradas e a hibridização entre técnicas com propriedades distintas na busca pela concatenação das suas características de forma complementar.

## **1.5 Estrutura da Dissertação**

No Capítulo 2 são abordadas as principais características do problema tratado neste trabalho, sendo apresentado um resumo de publicações na área com intuito de identificar a tendência de evolução das pesquisas com relação às técnicas computacionais. Posteriormente são feitos breves comentários sobre as principais características dos métodos mais tradicionalmente explorados, com maior ênfase nos utilizados neste trabalho.

No Capítulo 3 são apresentadas, de forma mais detalhada, as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos. São demonstradas as teorias na qual as técnicas são baseadas, seus principais conceitos, parâmetros e características de ajustes, além de algumas formulações matemáticas.

O Capítulo 4 descreve a metodologia de solução proposta neste trabalho. São apresentados os conceitos que levaram a propor a unificação de dois métodos distintos para solução do problema. É descrito o fluxograma do sistema híbrido e, por fim, o passo a passo de um exemplo demonstrativo é apresentado de modo a facilitar a compreensão do método proposto.

No Capítulo 5 é apresentado o sistema teste utilizado e toda base de dados extraída dele para a realização das simulações. Posteriormente são mostrados os resultados das simulações, e o desempenho do sistema híbrido é avaliado. Também são feitas algumas discussões sobre os resultados e sobre o tempo de processamento do simulador.

Por fim, no Capítulo 6, as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros são descritas.

## *Capítulo 2*

# **PROCESSAMENTO DE ALARMES E DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM SISTEMAS DE POTÊNCIA**

### **2.1 Considerações Gerais**

Uma solução para o problema do processamento de alarmes e diagnóstico de faltas em Sistemas de Potência vem sendo pesquisada há algumas décadas. Os recursos normalmente explorados são baseados nas técnicas de inteligência computacional. Este Capítulo mostra o problema que se está buscando solucionar e uma sinopse de publicações na área, com breves comentários sobre algumas características dos métodos mais difundidos na literatura.

### **2.2 Características do Problema**

O constante crescimento nos setores de produção agrícola, industrial e comercial, além da expansão do fornecimento de energia elétrica para pontos extremos do país, está provocando um aumento considerável na demanda de energia elétrica e fazendo com que os sistemas elétricos tornem-se cada vez maiores e mais complexos. Como a energia elétrica é essencial para o desenvolvimento do país a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL vem exigindo cada vez mais, na forma de legislações, maior qualidade nos serviços prestados pelas empresas detentoras das concessões de geração, transmissão e distribuição de energia, fazendo com que as metas de tempos de interrupção sejam cada vez menores, sob pena das empresas arcarem com elevadas multas de ressarcimento aos seus clientes.

Como resposta, as empresas passaram a investir cada vez mais em sofisticados sistemas de informação, relés multifunção baseados em microprocessadores e em equipamentos para o monitoramento do sistema, no intuito de aumentar a segurança e a confiabilidade do sistema

elétrico. Como consequência natural, veio o aumento no número de alarmes e a possibilidade de serem acionados simultaneamente (CHAN, 1990).

No centro de operação de um Sistema Elétrico de Potência, um pequeno grupo de profissionais é responsável pela supervisão de uma área que geralmente compreende dezenas de subestações, englobando milhares de pontos de monitoração. Desligamentos ocasionados por paradas não programadas são seguidos por um processo de restauração que deve ocorrer no menor tempo possível, no intuito de reduzir ao máximo o impacto nos indicadores técnicos globais DEC e FEC e individuais DIC, FIC e DMIC.

Certas situações de emergência como tempestades ou defeitos em equipamentos podem implicar na atuação de vários dispositivos de proteção, produzindo como consequência a sinalização de centenas de alarmes, os quais devem ser analisados pelos operadores. Conforme DUROCHER (1990) durante um desligamento em uma das subestações da Hidro-Québec, Canadá, o centro de operação registrou mais de 2.000 alarmes e durante um colapso geral do sistema em um centro regional foi registrado mais de 15.000 alarmes nos primeiros cinco segundos do evento.

Diante deste cenário, os operadores têm que agir o mais rápido possível de modo a isolar o componente defeituoso e recompor o maior número de equipamentos desligados, selecionando as mensagens mais relevantes e extraindo conclusões a partir dos dados disponíveis.

O problema reside no fato de que em um sistema de grande porte, os alarmes geralmente retornam ao centro de operação com mensagens de difícil leitura (de forma binária) (MEZA *et al.*, 2006; TOLLER *et al.*, 2010), em grande quantidade, com informações incompletas e corrompidas provocadas por falhas em unidades terminais remotas (UTR), nos canais de comunicação e na aquisição de dados (CARDOSO JR *et al.*, 2004). Falhas nos sistemas de proteção e em equipamentos podem complicar ainda mais a tarefa do operador, pois implica em uma relação combinatorial muitas vezes de difícil interpretação.

Informações essenciais como falha de operação de equipamentos, falhas de comunicação, deficiência em ajustes, coordenação e seletividade, podem não ser identificadas pela “avalanche de mensagens”, prejudicando avaliações de pós-operação (avaliação feita posteriormente ao restabelecimento do sistema elétrico) devido à ausência de metodologia apropriada (MENEZES *et al.*, 2009).

Por conseqüência os operadores são levados a tomar decisões equivocadas no momento do restabelecimento, podendo implicar em acidentes graves e danificação de equipamentos elétricos muitas vezes de alto custo e difícil reposição.

Além disso, durante as últimas décadas, muitos sistemas computacionais dedicados ao monitoramento e controle de Sistemas de Potência em tempo real não foram concebidos de modo a permitirem expansão e manutenção, tornando-se obsoletos mediante a necessidade de atualização dos softwares para atender aos novos requisitos operacionais dos Sistemas de Potência (ZHU & DAVID, 1997).

### 2.3 Técnicas Mais Empregadas

Existem muitas técnicas aplicadas à solução do problema. Na Tabela 2.1 tem-se uma sinopse de publicações.

Tabela 2.1 – Alguns trabalhos publicados na busca pela solução do problema.

AUTOR	ANO	SE	RNA	FUZZY	PETRI	AG	OUTROS MÉTODOS	SISTEMA HÍBRIDO
SAKAGUCHI et al.	1983	X						
LIU et al.	1987	X						
TANAKA et al.	1989		X					
GIRGIS et al.	1989	X						
CHAN	1990		X					
GOMI	1990	X						
CHEN et al.	1990						Fuzzy Reasoning Petri-Nets	
DUROCHER	1990	X						
CIGRE TF 38-06-02	1991	X						
PFAU-WAGENBAUER et al.	1991	X						
LAMBERT-TORRES et al.	1991	X						
KEZUNOVIC	1991	X						
KANDIL et al.	1992		X					
HANDSCHIN et al.	1992	X						
KIRSCHEN et al.	1992	X						
KIM et al.	1993		X					
CIGRE TF 38-06-06	1993		X					
BERNARD et al.	1993	X						
CHEON et al.	1993	X	X					
RIBEIRO et al.	1994	X						
HANDSCHIN et al.	1994		X					
YANG et al.	1994		X					
ZHU et al.	1994	X						
LEFEVRE	1995	X	X					
SILVA et al.	1995		X					

Continuação da Tabela 2.1

AUTOR	ANO	SE	RNA	FUZZY	PETRI	AG	OUTROS MÉTODOS	SISTEMA HÍBRIDO
YANG et al.	1995				X			
WEN et al.	1995					X		
FU	1995	X						
NAVARRO DA SILVA et al.	1996							RNA & FUZZY
BIONDI et al.	1996							SE & RNA
KEZUNOVIC et al.	1996		X					
CHOW et al.	1997			X				
WEN et al.	1997						Busca Tabu	
CHO et al.	1997			X				
BRITTES	1998	X						
VALE et al.	1998	X						
BURRELL et al.	1998	X						
MANOJ et al.	1998						Fuzzy Reasoning Petri-Nets	
ZHANG et al.	1998						Teoria dos Conjuntos Aproximados	
PARK et al.	1999			X				
LO et al.	1999				X			
CAMPOCCIA	1999					X		
LEE et al.	2000	X		X				
EL-SAYED et al.	2000		X					
PARK et al.	2000			X				
MITRA et al.	2000							RNA & FUZZY
CHEN et al.	2000							FUZZY & Causa-Efeito
BI et al.	2000							RNA & AG
RODRIGUES et al.	2001		X					
SOUZA et al.	2001		X					
MEZA	2001			X				
MAZON et al.	2001		X					
TAN	2001			X				
PAUL et al.	2002							RNA & FUZZY
VAZQUEZ et al.	2002	X						
HUANG	2002	X						
FERGANY et al.	2002				X			
BI et al.	2002		X					
CHIN	2003			X				
SILVA et al.	2003							SE & Mineração de Dados
SAMPAIO et al.	2003				X			
GAO et al.	2003						Fuzzy Reasoning Petri-Nets	
HOSSACK et al.	2003						Multi-Agente	
WANG et al.	2003		X					
SUN et al.	2004			X				
CARDOSO JR et al.	2004		X					SE & RNA
SOUZA	2004							RNA & FUZZY

Continuação da Tabela 2.1

AUTOR	ANO	SE	RNA	FUZZY	PETRI	AG	OUTROS MÉTODOS	SISTEMA HÍBRIDO
MIN	2004			X				
LIN et al.	2004		X					
REN et al.	2004				X			
LEÃO et al.	2004					X		
BATISTA	2005							RNA & Árvore de Decisão
NEGNEVITSKY et al.	2005		X					
ZHAO et al.	2005	X						
WANG et al.	2005						Multi-Agente	
CATTERSON et al.	2005						Multi-Agente	
NEIS	2005					X		
MEZA et al.	2006							RNA & FUZZY
LEÃO et al.	2006							AG & Programação Binária
LAMBERT-TORRES et al.	2006						Mineração de Dados	
MCARTHUR et al.	2006						Multi-Agente	
HOR et al.	2007						Teoria dos Conjuntos Aproximados	
ZHANG et al.	2007							RNAs & Colônia de Formigas
XIAO-LONG et al.	2007						Fuzzy Reasoning Petri-Nets	
LUO et al.	2008						Fuzzy Reasoning Petri-Nets	
FLORES et al.	2008		X					
LI et al.	2008						Mineração de Dados	
LEÃO et al.	2009						Sistema Imunológico Artificial	
FRITZEN et al.	2009							RNA & AG
KEZUNOVIC	2009						Fuzzy Reasoning Petri-Nets	
EL ELA et al.	2009					X		
RIGATOS et al.	2009							RNA & FUZZY
YAGANG et al.	2009						Teoria dos Grafos/Mineração de Dados	
TOLLER et al.	2009							RNA & AG
LIU et al.	2009						Sistema Imunológico Artificial	
LIN et al.	2010							AG & Busca Tabu

A necessidade de se desenvolver um processador de alarmes e um algoritmo de priorização tem sido reconhecida desde a década de 60, conforme EPRI (1960). Os primeiros processadores de alarmes eram baseados em técnica combinatorial. Tabelas lógicas eram usadas para definir, de forma Booleana, estados particulares que mereciam atenção do operador. A principal desvantagem deste método é a falta de flexibilidade, visto que cada estado é definido em termos de instâncias específicas de dispositivos e pontos de bancos de dados. Desenvolver e manter tal programa requer um esforço enorme (KIRSCHEN *et al.*, 1992).

Ao longo dos anos diversas técnicas computacionais modernas vêm sendo utilizadas na implementação de ferramentas avançadas de automação. A ampla maioria dos trabalhos pioneiros publicados foram propostos com base nos sistemas especialistas e redes neurais, mas com o passar dos anos técnicas como lógica *fuzzy*, redes de petri e algoritmos genéticos também passaram a ser utilizadas. Ultimamente vem se tentando resolver o problema do processamento de alarmes e diagnóstico de falhas com a utilização de métodos como *fuzzy reasoning petri-nets*, busca tabu, sistemas multi-agentes, mineração de dados, teoria dos grafos entre outros, além do aumento significativo do número de trabalhos propondo sistemas híbridos, mas sem deixar de lado os métodos mais tradicionais.

Os sistemas especialistas, as redes neurais e a lógica nebulosa são as técnicas mais sugeridas na construção de ferramentas para diagnóstico de falhas. A busca tabu, o algoritmo genético e a rede de petri também são propostos, mas poucos trabalhos foram publicados (CARDOSO JR *et al.*, 2004). Tais técnicas surgem como soluções promissoras, onde a natureza heurística e simbólica do raciocínio envolvido nas tarefas do operador pode ser modelada.

Como tentativas iniciais, os sistemas especialistas (SE) baseados em regras foram propostos. Nestas aplicações, o conhecimento e a experiência do especialista humano são explorados de modo a se formar uma base de conhecimento e, assim, formular um conjunto de regras que formarão o mecanismo de inferência a ser utilizado durante os diagnósticos. Quando um defeito ocorre, um padrão de alarmes é transmitido ao centro de controle, regras são disparadas e um diagnóstico é produzido. Contudo, os sistemas especialistas são capazes de produzir resultados satisfatórios apenas para as situações previstas durante o desenvolvimento da base de conhecimento. Devido ao enorme número de regras, inconsistências podem ser facilmente geradas (MEZA, 2001). A maior limitação destas aplicações reside na dificuldade de tratar padrões de alarmes novos ou corrompidos.

Métodos baseados em lógica *fuzzy* também foram propostos. A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi desenvolvida para modelar imprecisões, ambigüidades e incertezas nas informações. A técnica permite levar em conta as informações qualitativas capturadas junto aos operadores (MEZA, 2001). Os métodos baseados na lógica *fuzzy* (CHOW *et al.*, 1997; MEZA, 2001; CHIN, 2003; SUN *et al.*, 2004) não apresentam um bom desempenho na presença de dados corrompidos ou no caso de falhas na comunicação de dados (informação não recebida).

As Redes de Petri (RPs) são uma ferramenta matemática com visualização gráfica, capaz de modelar, analisar, controlar, validar e implementar diferentes sistemas, em especial sistemas a eventos discretos (MURATA, 1989). As RPs têm sido aplicadas na modelagem, análise e implementação de sistemas de controle, restauração, e diagnóstico de falta em Sistemas de Potência (YANG *et al.*, 1995; LO *et al.*, 1999; SAMPAIO *et al.*, 2003). Porém, a técnica apresenta algumas dificuldades como um bom mapeamento de sistemas complexos, como a representação gráfica do esquema de proteção, que aparentemente implica em grande facilidade em se visualizar a operação da proteção, perde a importância quando se trata de Sistemas de Potência reais (grande dimensão), além de apresentar possíveis erros de interpretação quando os equipamentos de proteção não estão em boas condições de operação (CARDOSO JR *et al.*, 2004).

Alguns métodos baseados na aplicação de redes neurais artificiais (RNAs) também foram propostos. As RNAs apresentam alta capacidade de generalização, facilidade de implementação e respondem bem a padrões inéditos, apresentando bons resultados diante da ocorrência de falhas nos alarmes reportados. Entretanto, a rede apresenta dificuldade de apresentar soluções qualitativas, pois os classificadores neurais são treinados para fornecer saídas binárias, o que faz com que certos resultados não permitam uma interpretação adequada (MEZA *et al.*, 2006; TOLLER *et al.*, 2009). A rede também pode apresentar uma convergência lenta no processo de treinamento (CHEN *et al.*, 2000; LEÃO *et al.*, 2009). Além da grande quantidade de sinais de entrada, a topologia do sistema elétrico é frequentemente modificada. Estas modificações não podem ser facilmente refletidas em uma rede neural com estrutura fixa e possuindo grande número de neurônios. Por isso, a configuração da RNA deve ser atualizada dinamicamente, refletindo as mudanças da topologia (EL-SAYED & ALFUHAID, 2000). Para reduzir o efeito das alterações topológicas, cada parte do sistema é tratada por uma rede paralela independente, aproveitando a característica paralela vista pelo centro de controle (EL-SAYED & ALFUHAID, 2000). Isso também contribui para a redução do tempo de treinamento das redes visto que em sistemas de grande porte este processo consome muito tempo.

Apesar de algumas dificuldades do método, a RNA é uma das técnicas mais empregadas para o processamento de alarmes devido ao bom desempenho. Dentre os tipos de arquiteturas de redes neurais a GRNN apresenta-se como uma das mais promissoras em estudos recentemente publicados. Conforme MACHADO *et al.* (2009) a GRNN apresenta

treinamento simples e rápido e consegue fornecer múltiplas respostas através da indicação de qual é a mais provável dentre outras possíveis soluções. Conforme FRITZEN et al. (2009) o treinamento que ocorre em passo único é uma característica ideal em aplicações envolvendo sistemas reais, pois facilita a inclusão de novos padrões de treinamento e a customização para outros equipamentos com lógicas de relés diferenciadas. Segundo CARDOSO JR et al. (2004) a GRNN apresenta simplicidade na obtenção de informações necessárias para sua implementação o que torna a arquitetura extremamente viável para solução do problema do diagnóstico de falhas.

Já os algoritmos genéticos (AGs), que também apresentam algumas aplicações em Sistemas de Potência, são procedimentos computacionais de busca e otimização cujo funcionamento é inspirado nos processos naturais de seleção e refinamento genético (GOLDBERG, 1989). A teoria de cobertura de conjuntos e o princípio da parcimônia constituem o fundamento teórico para a determinação da função-objetivo. O AG apresenta robustez e bons resultados em espaços de busca complexos, também é computacionalmente simples, apresentando baixo custo de implementação (GOLDBERG, 1989). Métodos de processamento de alarmes baseados em algoritmos genéticos têm a vantagem de poder encontrar múltiplas soluções globais (ou próximas das soluções ótimas) de maneira direta e eficiente, especialmente em casos de alarmes falso e/ou não reportados, onde diferentes combinações de eventos podem produzir o mesmo conjunto de alarmes (NEIS, 2005). Porém, embora resultados de simulações mostrem que este método é bastante promissor em Sistemas de Potência de grande porte, nem sempre é fácil estabelecer um modelo matemático capaz de descrever o comportamento do sistema de proteção (WEN & CHANG, 1997). Além disso, o processo de busca exige uma substancial força computacional que pode inviabilizar sua utilização em aplicações on-line (WEN & HAN, 1995).

Aplicações recentes do AG vêm demonstrando sua boa capacidade em apresentar diagnósticos corretos para solução do problema. Conforme FRITZEN et al. (2009) o AG apresenta capacidade de modelar o modo como as proteções dos diversos equipamentos de rede enxergam o defeito durante uma falta. O método também tem condições de apresentar múltiplos diagnósticos caso ocorram incidências simultâneas em diferentes componentes do sistema elétrico (TOLLER et al., 2009; FRITZEN et al., 2009). Segundo LEÃO et al. (2006) o AG é adequado e se apresenta como uma ferramenta adicional e de grande utilidade para

auxiliar os operadores das modernas subestações, possibilitando a localização de falhas em sistemas de energia elétrica em tempo real.

Algoritmos genéticos diferem dos algoritmos de busca mais tradicionais no sentido de que sua busca é conduzida usando a informação de uma população de estruturas, em vez de uma única estrutura. A motivação para essa abordagem é que, considerando várias estruturas como soluções potenciais, o risco da busca ficar estagnada em um mínimo local não ideal é bastante reduzido. A utilização de algoritmos genéticos na solução de problemas de otimização tem mostrado que esses, embora não necessariamente encontrem soluções ótimas para o problema, são capazes de encontrar boas soluções para problemas que são resistentes a outras técnicas conhecidas (WALKER, 1974; LIEPINS et al., 1990; TAM, 1992).

Os resultados obtidos com aplicações de sistemas inteligentes em Sistemas de Potência mostram que a utilização destas técnicas é adequada e bastante proveitosa, sendo capaz de solucionar problemas nos quais as técnicas convencionais de programação não apresentam bons resultados (VALE & FERNANDES, 1995). Portanto, sistemas inteligentes podem ser empregados no auxílio à tomada de decisão juntamente com o sistema de supervisão, tornando mais rápida a restauração do sistema e diminuindo os riscos causados por uma má interpretação dos alarmes sinalizados (TOLLER et al., 2009).

Nestas condições, este trabalho avalia o desempenho e a viabilidade prática da implementação dos algoritmos genéticos para o diagnóstico de falhas com a detecção de falhas sendo realizada por um conjunto de módulos neurais especializados.

## **2.4 Considerações Finais**

Atualmente, com o contínuo crescimento do número de equipamentos de proteção e monitoramento aplicados aos sistemas elétricos, principalmente em função da ampliação do consumo de energia e de exigências dos órgãos reguladores, deflagra-se cada vez mais a necessidade de uma ferramenta computacional para auxiliar os operadores durante desligamentos no sistema elétrico. Conforme o resumo de soluções apresentadas por diversos autores no decorrer dos últimos anos, verifica-se que alguns métodos vêm sendo historicamente mais explorados por apresentarem características positivas e consolidadas para aplicação na área. Diante disso, foi feito um breve resumo das características das principais

técnicas, dando maior ênfase para as duas empregadas neste trabalho (redes neurais artificiais e algoritmos genéticos).

## *Capítulo 3*

# **TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL UTILIZADAS**

### **3.1 Considerações Gerais**

Neste Capítulo são abordados de forma detalhada ambos os métodos computacionais empregados no trabalho (redes neurais artificiais e algoritmos genéticos). Inicialmente é apresentada a teoria na qual a técnica é inspirada e suas adaptações à inteligência computacional e posteriormente são apresentados os principais conceitos e características, os principais parâmetros e as formulações matemáticas para implementação das técnicas, sendo descritas também as principais vantagens e desvantagens de cada uma.

### **3.2 Redes Neurais Artificiais (RNAs)**

#### **3.2.1 Introdução**

O estudo das redes neurais artificiais tem sido motivado desde o começo pelo reconhecimento de que o cérebro humano processa informações de uma forma inteiramente diferente do computador digital convencional. O cérebro é um computador altamente complexo, não-linear e paralelo. Ele tem a capacidade de organizar seus constituintes estruturais, conhecidos por neurônios, de forma a realizar certos processamentos muito mais rapidamente que o mais rápido computador digital hoje existente (HAYKIN, 2001).

Uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que tem a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos (HAYKIN, 2001):

- (i) O conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem;

(ii) Forças de conexão entre os neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.

As principais características das RNAs são:

- Procura paralela e endereçamento pelo conteúdo. Imitando o cérebro humano que não possui endereço de memória nem procura uma informação sequencialmente;
- Aprendizado. Propicia a rede uma capacidade de aprender certo conhecimento por sucessivas apresentações de padrões (experiência), sem a necessidade de entender os fundamentos do processo a ser modelado;
- Associação. Permite que a rede possa associar padrões diferentes;
- Generalização. Habilita a rede a lidar com ruído e distorções e responder corretamente a uma entrada nunca vista, por similaridade com outros padrões já apresentados;
- Abstração. Permite a rede abstrair a essência de um conjunto de entradas, e;
- Robustez. Permite, devido ao paralelismo, que mesmo com a perda de elementos processadores não haja mau funcionamento da rede (VELLASCO, 1995).

### 3.2.2 Modelo do Neurônio

#### 3.2.2.1 Neurônio Biológico

O cérebro humano é formado por uma rede de células nervosas (neurônios), da ordem de  $10^{10}$  a  $10^{11}$  (CICHOCKI & UNBEHAUEN, 1993), sendo a comunicação realizada através de impulsos elétricos. Quando um impulso é recebido por um neurônio, o neurônio o processa e caso seja ultrapassado o seu limite de ação um segundo impulso é gerado, produzindo uma substância neurotransmissora que flui do corpo celular para o axônio. A frequência dos pulsos enviados pode ser controlada pelo neurônio transmissor, através do aumento ou diminuição da polaridade da membrana pós-sináptica.

As partes fundamentais dos neurônios são (Figura 3.1):

- Corpo celular ou *somma*: é a parte que faz a coleta e a combinação das informações provenientes dos outros neurônios;
- Axônio: é uma fibra nervosa ligada ao *somma*, servindo como o canal de saída do neurônio, transmitindo os estímulos para as outras células;
- Dendritos: são árvores de fibra altamente ramificadas, ligadas ao *somma*, e recebem os estímulos transmitidos pelos outros neurônios;

- Sinapses: são contatos especializados em um neurônio que são os pontos de terminação para os axônios de outros neurônios. Elas desempenham o papel de interfaces, conectando alguns axônios aos dendritos de outros neurônios.

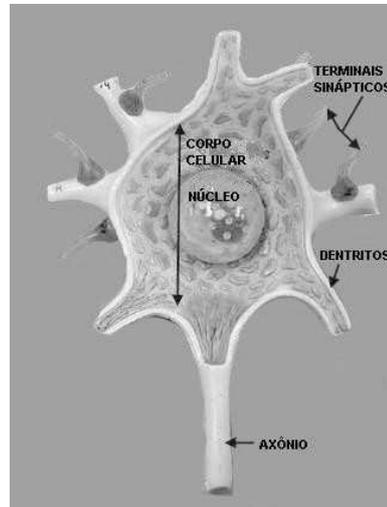


Figura 3.1 - Componentes do neurônio.

### 3.2.2.2 Neurônio Artificial

O grande desafio dos pesquisadores foi criar um modelo de neurônio artificial (Figura 3.2) com características similares ao neurônio biológico, sendo o modelo mais utilizado aquele proposto por McCULLOCH & PITTS (1943).

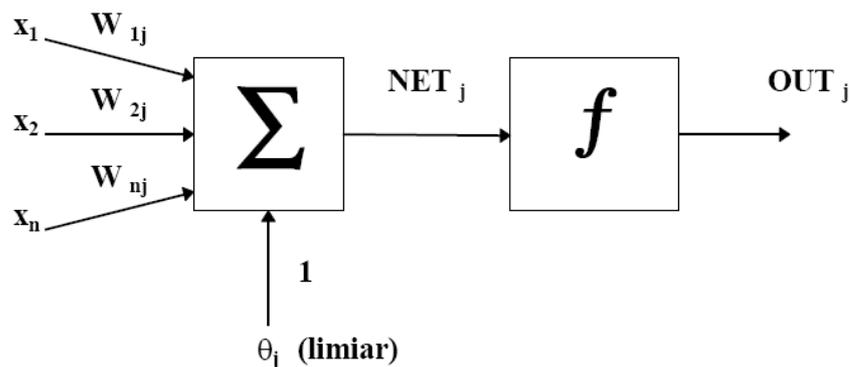


Figura 3.2 - Modelo de McCULLOCH & PITTS.

Os elementos  $x_1, x_2, \dots, x_n$  constituem as entradas do modelo, correspondendo às sinapses recebendo sinais dos axônios de outros neurônios. De maneira semelhante ao neurônio biológico, os pesos  $w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{nj}$  correspondem às reações das sinapses, podendo ser positivos ou negativos, determinando o efeito de excitação ou inibição sobre o neurônio de

destino. Estes elementos são combinados e somados, constituindo uma regra de propagação  $NET_j$ , sendo que o  $NET_j$  é definido como a soma ponderada entre a entrada e os pesos (Eq. 3.1). Esta regra é chamada de *regra sigma* (KRÖSE & SMAGT, 1995).

$$NET_j = \sum_i^n w_{ij}x_i + \theta_j \quad (3.1)$$

A saída do neurônio é constituída por (Eq. 3.2):

$$OUT_j = f(NE T_j) \quad (3.2)$$

Freqüentemente a função de ativação é uma função não-decrescente da entrada total da unidade (KRÖSE & SMAGT, 1995). Os tipos mais usados são: degrau, degrau simétrico, linear, pseudolinear, sigmóide e tangente hiperbólica, mostradas na Figura 3.3.

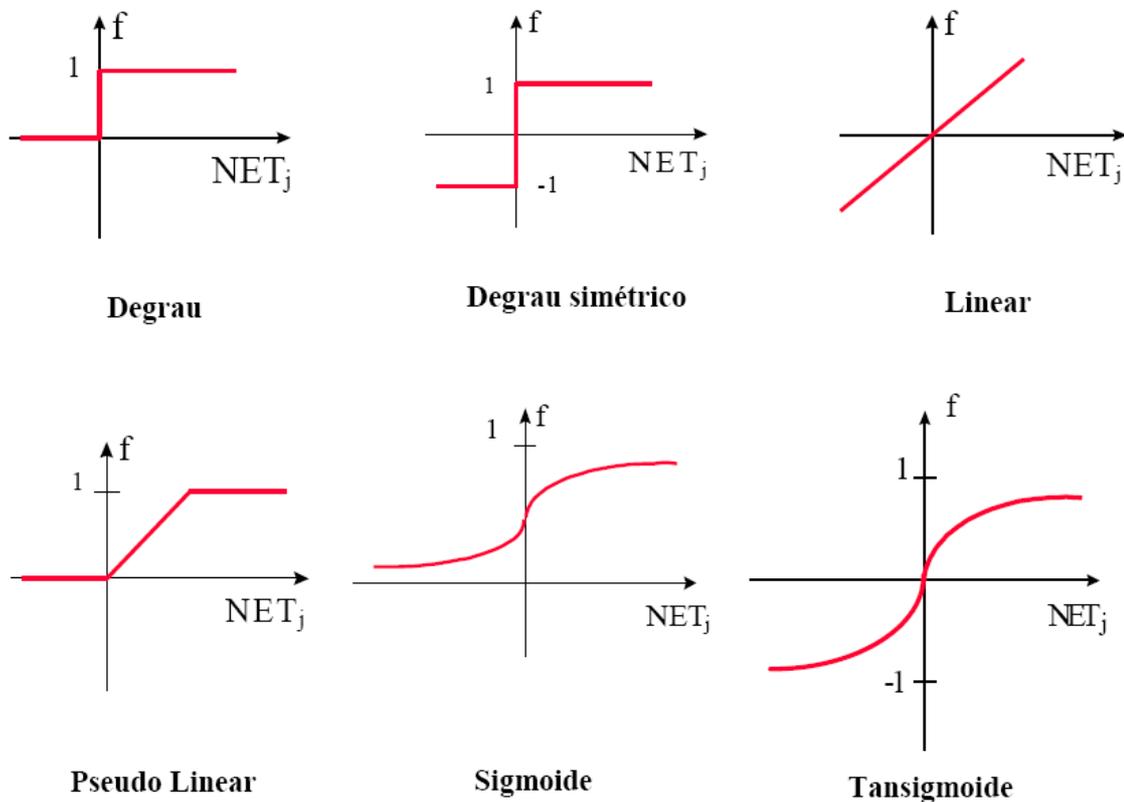


Figura 3.3 - Funções de ativação.

### 3.2.3 Arquitetura das Redes

A maneira como os neurônios são conectados uns aos outros, juntamente com o método de propagação dos dados, constituem a topologia da rede neural. Existem, basicamente, dois tipos de topologias utilizadas: as “*feedforward*”, onde não existe realimentação alguma; e as

“recorrentes”, onde existe realimentação, dando, assim, importância às propriedades dinâmicas da rede (BIONDI et al., 1996; KRÖSE et al., 1995).

Dentre estas duas topologias, a mais utilizada é a *feedforward*, podendo ser implementada em processadores comuns, não exigindo muita memória em comparação com a outra topologia (SCHAEDLER et al., 2003). Essa topologia pode possuir múltiplas camadas interconectadas, sendo conhecida como “*multi-layer network*” (LIPPMANN, 1987), conforme a Figura 3.4.

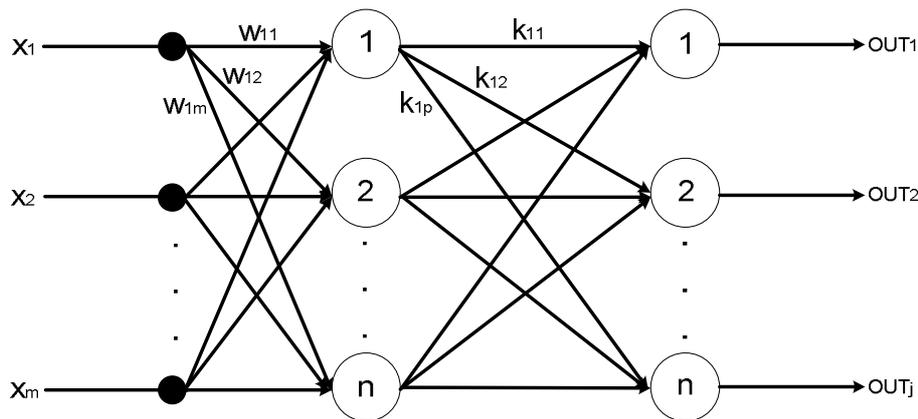


Figura 3.4 - Rede *feedforward* multicamadas.

### 3.2.4 Paradigmas de Aprendizagem

O aprendizado pode ser supervisionado ou não. O aprendizado supervisionado caracteriza-se pela existência de um “professor”, que apresenta à rede padrões de entrada-saída, treinando-a para que ela apresente a resposta desejada (TOLLER et al., 2010). De outro modo, o aprendizado não-supervisionado visa descobrir similaridades nos padrões de entrada, organizando-os em classes (*clusters*), pois não há exemplos rotulados de função a ser aprendida pela rede.

### 3.2.5 Generalized Regression Neural Network (GRNN)

A *Generalized Regression Neural Network* é uma variação da RBF (*Radial Basis Function*), apresenta grande capacidade de generalização e é muito utilizada na aproximação de funções. Seu funcionamento é semelhante ao da rede PNN (*Probabilistic Neural Network*), que determina limites de decisão entre padrões, embora a GRNN resulte em valores contínuos (SPECHT, 1988; SPECHT, 1991; CARDOSO JR, 2003). Ambas as arquiteturas GRNN e PNN possuem os pesos da camada intermediária iguais aos vetores de entrada e os pesos da camada linear iguais aos vetores de saída.

A rede possui três camadas, sendo que a camada intermediária apresenta uma função de ativação de base radial e a camada de saída é formada por neurônios lineares. Esta rede tem a característica de indicar a real semelhança entre os vetores utilizados no treinamento e os vetores que são apresentados à rede, fato que não se verifica nas demais redes e que a torna bastante atraente para a solução de problemas de classificação de padrões (MACHADO et al., 2009).

A estrutura da GRNN é vista na Figura 3.5:

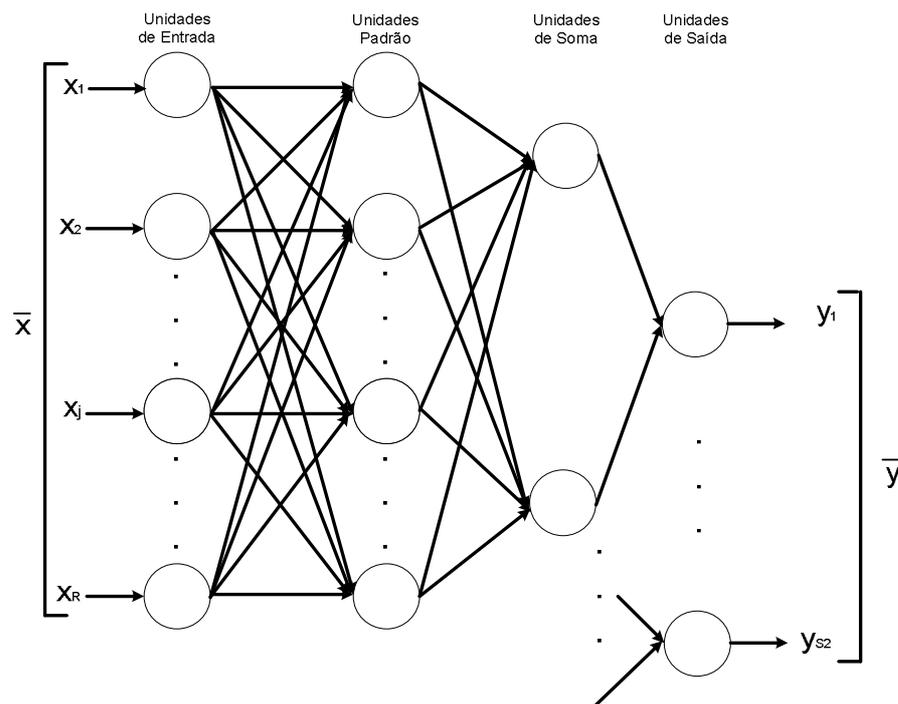


Figura 3.5 - Estrutura da rede GRNN.

Cada neurônio da unidade padrão é um centro de agrupamento, sendo que o número de neurônios dessa camada é igual ao número de exemplares utilizados para o aprendizado. Quando um novo padrão é apresentado à rede, é calculada a distância entre este novo padrão e os exemplares previamente armazenados. O valor absoluto destas diferenças é somado e multiplicado pelo *bias* e enviado a uma função não-linear (CARDOSO JR, 2003).

Uma exponencial é utilizada como função de ativação, sendo o *bias* ajustado para  $0,8326/spread$ , em que *spread* é o espalhamento, ou a abertura da exponencial utilizada (Figura 3.6).

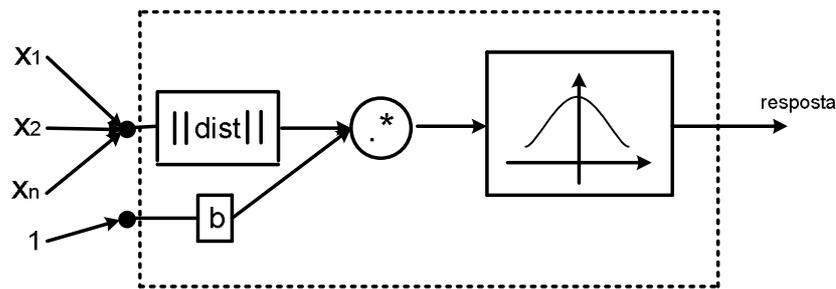


Figura 3.6 - Unidade padrão da GRNN.

O desempenho da rede é influenciado pelo ajuste do *bias* (*spread*) e pelos padrões armazenados. Portanto, para um valor de *spread* muito grande a rede passa a generalizar demasiadamente, enquanto que um valor muito pequeno torna a rede incapaz de generalizar (SPECHT, 1991).

A formulação da rede é mostrada a seguir, com base na Figura 3.7:

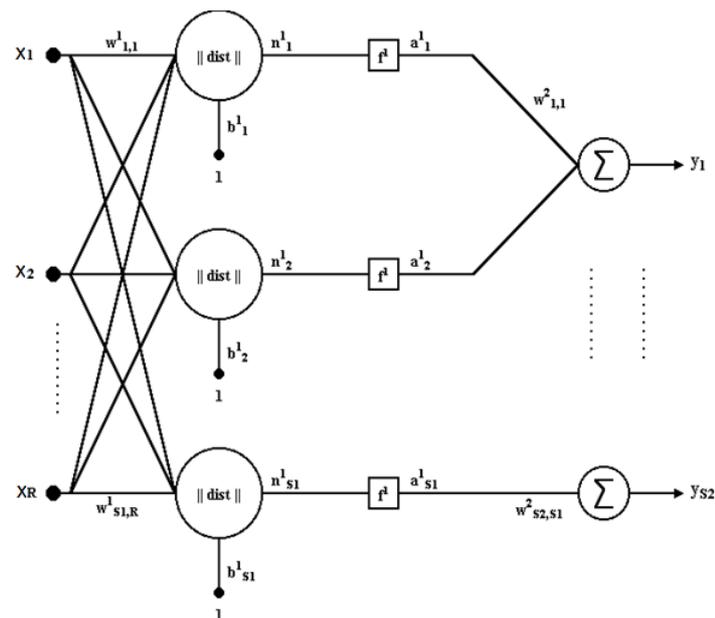


Figura 3.7 - Rede GRNN.

A saída da rede é dada por:

$$\bar{y}_x = \frac{\bar{1}^T \bar{a}_x}{\bar{1}^T \bar{a}_x} \quad (3.3)$$

com  $\bar{1}$  e  $\bar{a}_x$  definidos como segue:

$$\bar{1}^T = (1 \quad 1 \quad \dots \quad 1_{s1}) \quad (3.4)$$

$$\bar{a}_{j\bar{x}} = f\left(\left\|\bar{w}_j - \bar{x}\right\|\bar{b}_j\right) \quad (3.5)$$

Onde  $j$  é o  $j$ -ésimo elemento de  $\bar{a}$ ,  $\left\|\bar{w}_j - \bar{x}\right\|$ , a distância euclidiana entre a  $j$ -ésima linha da matriz de pesos  $\bar{w}$  e o vetor de entrada  $\bar{x}$ .  $\bar{b}_j$  é o  $j$ -ésimo bias. A função  $f$  é dada por (CARDOSO JR, 2003):

$$f(\bar{n}) = e^{-\bar{n}^2} \quad (3.6)$$

A rede GRNN pode ser utilizada para fins de previsão, modelagem, mapeamento, interpolação ou controle. As principais vantagens são (CARDOSO JR, 2003):

- O processo de aprendizado ocorre em passo único;
- Fácil implementação;
- O resultado é limitado aos valores máximos e mínimos das observações;
- Não utiliza função de erro como critério de avaliação.

Como desvantagem, destaca-se o fato das mesmas requererem bastante esforço computacional durante a avaliação de novos pontos quando o conjunto de padrões utilizados na aprendizagem for muito grande.

### 3.3 Algoritmos Genéticos (AGs)

#### 3.3.1 Introdução

Algoritmos genéticos são procedimentos computacionais de busca e otimização, cujo funcionamento é inspirado nos processos naturais de seleção e refinamento genético (GOLDBERG, 1989). Estes algoritmos foram inicialmente propostos por JOHN H. HOLLAND e sua equipe da Universidade de Michigan na década de 60, tendo seus princípios originados no século XIX, nos trabalhos de CHARLES ROBERT DARWIN. Segundo HOLLAND (1992), a observação da natureza dos organismos vivos leva a concluir que esses são “consumados solucionadores de problemas”.

Os AGs simulam o processo de evolução de uma população de estruturas sujeitas às forças competitivas prescritas no princípio de "sobrevivência do mais bem adaptado" de DARWIN. O processo de evolução é aleatório, porém guiado por um mecanismo de seleção baseado na adaptação de estruturas individuais. A cada iteração do algoritmo, denominada nesse novo contexto como geração, um novo conjunto de estruturas é criado a partir de

estruturas bem adaptadas selecionadas da geração anterior, pela troca de informação (bits ou blocos) entre estas estruturas. Novas informações são geradas aleatoriamente com uma dada probabilidade e incluídas nas estruturas descendentes. Se projetado e implementado de forma adequada, um AG irá exibir um comportamento similar ao descrito na teoria de evolução de DARWIN - estruturas com adaptação relativamente superior possuem uma chance maior de sobreviver e produzir descendentes ainda mais bem adaptados. O resultado será um aumento na adaptação global da população a cada nova geração (GOLDBERG, 1989).

### **3.3.2 Teoria da Evolução**

Até o século XIX os cientistas mais proeminentes acreditavam em uma dentre as teorias do cristianismo “Deus criou o universo da forma que ele é hoje” ou da geração espontânea “a vida surge de essências presentes no ar”. Em torno de 1850, DARWIN fez uma longa viagem no navio *HMS Beagle*. Ele visitou vários lugares e sua grande habilidade para observação permitiu que ele percebesse que animais de uma espécie eram ligeiramente diferentes de seus parentes em outros ecossistemas, sendo mais adaptadas as necessidades e oportunidades oferecidas pelo seu ecossistema específico. Estas e outras observações culminaram na teoria da evolução das espécies, que foram descritas meticulosamente em seu livro de 1859, “A Origem das Espécies”. A Teoria foi amplamente combatida, mas hoje é aceita por praticamente toda comunidade acadêmica mundial (LINDEN, 2008).

A teoria da evolução diz que na natureza todos os indivíduos dentre um ecossistema competem entre si por recursos limitados, tais como comida e água. Aqueles dentre os indivíduos (animais, vegetais, insetos, etc.) que não obtém êxito tendem a ter uma prole menor e esta descendência reduzida faz com que a probabilidade de ter seus genes propagados ao longo das sucessivas gerações seja menor, processo este que é denominado de “seleção natural” (LINDEN, 2008).

A combinação entre as características dos indivíduos que sobrevivem podem produzir um novo indivíduo mais bem adaptado as características de seu meio ambiente ao mesclar características positivas de cada um dos reprodutores. Este processo implica nos descendentes de indivíduos serem variações de seus pais. Assim, um descendente é ligeiramente diferente de seu pai, podendo essa diferença ser positiva ou negativa. Entretanto, a evolução natural não é um processo dirigido, com intuito de maximizar algumas características das espécies. Na verdade não existe nenhuma garantia de que os descendentes dos pais muito bem adaptados também o sejam (LINDEN, 2008).

Pode-se afirmar, então, que a evolução genética é um processo no qual os seres vivos são alterados por um conjunto de modificações que eles sofrem através do tempo, podendo ser explicadas por alguns fatores como mutação gênica, recombinação gênica, seleção natural e isolamentos (LINDEN, 2008).

### **3.3.3 Darwinismo Computacional**

A maioria dos organismos vivos evolui por meio de dois processos: seleção natural e reprodução sexuada. O primeiro determina quais membros de uma população sobrevivem e se reproduzem. O segundo assegura que existe troca de informação e recombinação entre os indivíduos (HOLLAND, 1992). Ocorre ainda um terceiro processo responsável por induzir características novas nos seres vivos: a mutação. A evolução das espécies pode ser vista como um mecanismo adaptativo de otimização que envolve certa aleatoriedade (TANOMARU, 1995). Este mecanismo é emulado pelos algoritmos genéticos. Os AGs empregam diversas metáforas biológicas para descrever conceitos computacionais associados.

Algumas características que diferenciam o AG de outros métodos de otimização são:

- (i) Normalmente o AG opera em um espaço de soluções codificadas e não diretamente no espaço de busca. Estas soluções são codificadas em seqüências denominadas “cromossomos” ou “strings”, sendo cada elemento do cromossomo denominado como “gene”. A codificação da solução é freqüentemente denominada “genótipo”, enquanto a solução real é denominada “fenótipo” (TANOMARU, 1995);

O objetivo da busca genética é encontrar o conjunto de pontos (estruturas) que obtenha o maior valor possível para a função objetivo do problema. Já outros métodos de otimização tradicionais trabalham diretamente com pontos isolados, trocando seus valores de acordo com uma regra de transição particular. Uma característica importante de um AG é a capacidade de explorar as similaridades de codificação das estruturas para guiar a busca no espaço de soluções, o que torna o método mais flexível em relação às limitações dos outros métodos.

- (ii) O AG utiliza um conjunto de pontos (soluções candidatas) para um dado problema e não pontos isolados. Este conjunto é denominado “população”, sendo cada ponto da população denominado “indivíduo” (TANOMARU, 1995);

Enquanto a maioria das técnicas de busca segue um mecanismo de busca por ponto, um AG mantém uma população de pontos a serem explorados. Em outros métodos de busca convencionais, o processo de busca é originado a partir de um ponto único (uma busca por

vizinhança) a cada iteração, utilizando alguma regra de transição. Essa busca ponto-a-ponto frequentemente leva à obtenção de picos falsos em espaços de busca multimodais. Pouco é aprendido durante o processo de busca mesmo que informação importante sobre o perfil da função possa ser recuperada a partir do espaço de busca já explorado. Um AG vai além de uma mera busca seqüencial de cada ponto (estrutura) na população, identificando e explorando blocos de construção comuns de boas estruturas na população e "escalando" vários picos em paralelo. Esses blocos de construção correspondem a regiões no espaço onde boas soluções são prováveis de serem encontradas. Um AG usa um conjunto de operadores genéticos para selecionar, recombinar e alterar estruturas existentes de acordo com princípios significativos para direcionar a busca em direção a estas regiões.

- (iii) O AG utiliza regras de transição probabilísticas e não determinísticas. Cada indivíduo tem certa probabilidade de ser selecionado e passar adiante seu material genético. Normalmente esta probabilidade é proporcional ao valor do *fitness* (TANOMARU, 1995);

O modo como um AG faz uso da probabilidade lhe confere uma característica que o distingue de uma mera busca aleatória. AGs utilizam escolhas aleatórias como uma ferramenta para guiar a busca em direção a regiões do espaço com prováveis melhorias. Porém, como os AGs buscam informações da população corrente para determinar o próximo estado de busca não podem ser considerados totalmente aleatórios.

- (iv) O AG requer apenas informação sobre a função-objetivo (*fitness*) a ser otimizada. Informações adicionais como derivadas e gradiente são desnecessárias. A função-objetivo na metáfora biológica representa o meio no qual o indivíduo está inserido. Através dele é determinado o quanto um indivíduo está “adaptado ao ambiente”, ou seja, quão boa é uma solução. Esta medida é chamada de *fitness* ou adequabilidade.

Os AGs não usam informações de derivadas na sua evolução nem necessitam de informação sobre o entorno para poder efetuar a busca, isso faz com que sejam muito adequados para funções com descontinuidades ou para as quais não se tem como calcular uma derivada.

### 3.3.4 Esquema Básico do AG

O esquema básico de um algoritmo genético, baseado em LINDEN (2008), pode ser visto na Figura 3.8, a seguir:

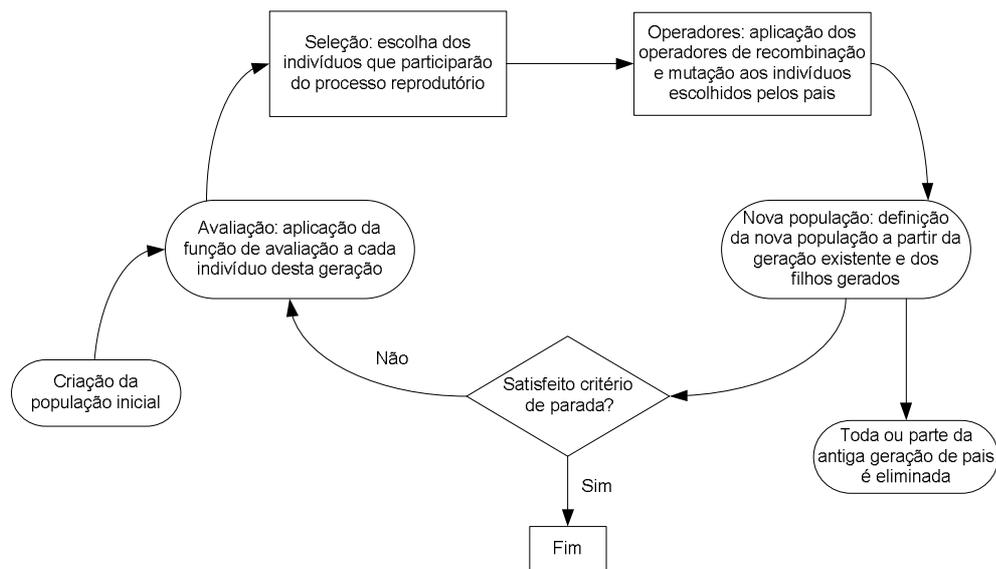


Figura 3.8 - Diagrama esquemático de um algoritmo genético.

Durante a geração  $g$  é mantida uma população  $P(g)$  de estruturas  $sg_1, \dots, sg_n$ , codificadas como strings de comprimento fixo, sendo o tamanho  $n$  da população também fixo. Após a inicialização da população de cromossomos cada indivíduo (solução)  $sg_i$  da população é avaliado pela função-objetivo  $f(sg_i)$ , uma medida de adaptação da estrutura. Após a avaliação, são selecionados os pais (estruturas) que irão gerar os novos cromossomos, com base na sua adaptação relativa. Então são aplicados os operadores de recombinação e mutação aos pais (estruturas) selecionados de forma a gerar os indivíduos da nova geração. Os operadores atuam no sentido de promover a melhoria da qualidade global das soluções a cada geração. Todos ou parte dos velhos membros da população são eliminados e todos os novos cromossomos são avaliados e inseridos na nova população  $P_{g+1}$ . Este processo se repete até que certo critério de parada seja atendido. Se o critério não foi atendido uma nova seleção de pais deve ocorrer para que esses gerem novos cromossomos.

A seguir tem-se o pseudocódigo de um algoritmo genético genérico:

```

AG ( )
{Algoritmo genético para otimização de uma função f}
início
  g = 0
  inicializar Pg
  avaliar Pg
  enquanto não (condição de término) faça
    g = g + 1
    selecione Pg de Pg-1 {operador de reprodução }
    recombine Pg {operadores de cruzamento e mutação }
    avalie Pg
  
```

*fim enquanto*  
*fim*

Estes passos são somente uma visão geral, pois não descrevem dois pontos importantes que são a obtenção de uma representação cromossomial que seja adequada ao problema e uma função de avaliação que penalize soluções implausíveis para o problema e que avalie satisfatoriamente o grau de adequação de cada indivíduo como solução do problema.

### 3.3.5 Representação Cromossomial

A representação cromossomial, basicamente, consiste em uma maneira de traduzir a informação do nosso problema em uma maneira viável de ser tratada pelo computador. Quanto mais adequada ela for ao problema maior será a qualidade dos resultados obtidos (LINDEN, 2008). Entre as mais utilizadas está a representação binária, código *Gray*, interno e real (LOBO, 2000), primeiramente adotada por HOLLAND (1975).

Para compreender a representação binária, suponha que se tenha duas variáveis,  $x_1$  e  $x_2$ , e que cada uma delas use 6 bits de representação, formando o cromossomo 000011110011. A faixa de variação de primeira sendo  $[-2,2]$  e da segunda  $[0,1]$ . Para converter um número binário dentro do cromossomo corrente para um número real correspondente dentro da faixa, tudo o que se tem que fazer é obter o número inteiro  $r_i$  correspondente ao número binário e depois fazer a seguinte operação (LINDEN, 2008):

$$real = \inf_i + \frac{\sup_i - \inf_i}{2^k - 1} * r_i \quad (3.7)$$

Podem-se compreender os valores codificados no cromossomo de acordo com a operação mostrada na aplicação abaixo:

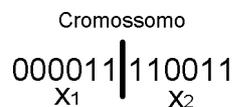


Figura 3.9 - Cromossomo do exemplo.

$$r_1 = 000011 = 3 \Rightarrow x_1 = (-2) + 3 * (2 - (-2)) / (2^6 - 1) = -1,809 \quad (3.8)$$

$$r_2 = 110011 = 51 \Rightarrow x_2 = (0) + 51 * (1 - 0) / (2^6 - 1) = 0,809 \quad (3.9)$$

Se quiser mais de um número real dentro do cromossomo binário, tudo o que tem que se fazer é colocá-los lado a lado, como uma concatenação de strings. Assim, os primeiros  $k_1$  bits representam  $x_1$ , os  $k_2$  bits representam  $x_2$ , e assim por diante.

Segundo LOBO (2000) a codificação especifica um mapeamento que transforma uma possível solução para um problema em uma estrutura contendo um conjunto de variáveis de decisão. O conjunto de todas as possíveis combinações destas variáveis de decisão constitui o “espaço de busca”, e uma combinação particular representa um ponto neste espaço. Na prática, a representação mais comum para estas estruturas é uma simples concatenação (string) das variáveis de decisão. Existe ainda uma variedade de possíveis valores assumidos pelas variáveis de decisão (tipos).

As variáveis de decisão são formadas por “genes”, onde cada pedaço indivisível da variável é chamado de gene, enquanto que um valor associado à mesma é denominado “alelo”. Uma concatenação de genes é chamada “cromossomo” e a posição de um determinado gene no cromossomo é chamada *locus gênico* (TANOMARU, 1995). A solução-candidata, representada neste formato codificado, é geralmente denominada “genótipo”. Sua representação no domínio não-codificado é denominada “fenótipo” (VIANNA, 2004).

Portanto, a representação binária é boa para aplicação na solução de problemas, pois para ela os operadores genéticos são extremamente simples e o computador lida com ela de forma extremamente natural. Mas outras representações também são possíveis e podem obter bons resultados.

### **3.3.6 Parâmetros do AG**

#### *3.3.6.1 Função de Avaliação (Função-Objetivo)*

Cada indivíduo da população deve receber uma pontuação que classifica seu desempenho em relação à função de avaliação correspondente ao problema, esta pontuação será usada para a escolha dos indivíduos que serão os pais para a formação da nova geração. Portanto, este valor é uma medida de adequabilidade da solução candidata. Uma definição largamente aceita para esta medida é a palavra de língua inglesa chamada “*fitness*”. Como a função de avaliação somente avalia as possíveis soluções, sem provocar nenhuma alteração na estrutura de dados e procedimentos adotados, deve ser formatada de acordo com o problema que está sendo estudado.

#### *3.3.6.2 Método de Seleção*

O método de seleção dos pais deve simular o mecanismo da seleção natural que atua sobre as espécies biológicas, em que os pais mais capazes geram mais filhos, ao mesmo tempo em que os pais menos aptos também podem gerar descendentes. O processo de seleção

simula o “princípio da sobrevivência do melhor”, sendo, portanto, os indivíduos mais adaptados favoritos para vencer (LOBO, 2000). Na seleção há necessidade de não deixar apenas os melhores indivíduos se reproduzirem senão a população tenderá a ser composta por indivíduos cada vez mais semelhantes, perdendo-se a diversidade necessária. Dentre os métodos de seleção, a seguir destaca-se a “seleção por torneio” utilizada neste trabalho.

#### 3.3.6.2.1 Seleção por Torneio

O método consiste em escolher um número  $x$  de indivíduos aleatoriamente de uma população e copiar o melhor indivíduo deste grupo dentro de uma população intermediária, e repetir  $N$  vezes, sendo  $N$  a quantidade de indivíduos da população. Muitas vezes a competição é realizada entre dois indivíduos, mas uma generalização é possível a um tamanho arbitrário do grupo ( $x$ ). Este critério de seleção pode ser implementado muito eficientemente, já que não é necessária nenhuma ordenação prévia da população. Conhecido também como *binary tournament selection*, o critério de seleção, do ponto de vista de ordem de complexidade, é o mais indicado dentre os recomendados por BLICKLE & THIELE (1995).

#### 3.3.6.3 Operadores Genéticos

Para produzir novas soluções o AG utiliza essencialmente dois operadores: cruzamento e mutação.

##### 3.3.6.3.1 Mutação

A mutação é responsável por alterar aleatoriamente o valor da uma variável de decisão (estrutura), possuindo como efeito o aumento da diversidade da população, reduzindo a possibilidade de uma convergência prematura. Através dela consegue-se manter certa diversidade na população, ou ainda, sob outra interpretação, realizar uma exploração global ou busca aleatória (TANOMARU, 1995). Este operador normalmente é aplicado com baixa probabilidade. A Figura 3.10 apresenta de forma ilustrativa o processo de mutação:

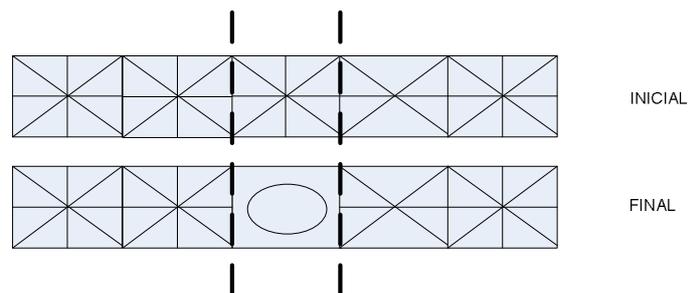


Figura 3.10 - Troca aleatória de uma variável de decisão.

### 3.3.6.3.2 Cruzamento

O operador de cruzamento troca determinados cromossomos de duas soluções candidatas, de forma a gerar novos indivíduos. Os indivíduos que compõem o par original são denominados “pais”, enquanto os novos indivíduos gerados são denominados “filhos”. Isso introduz novas estruturas através da recombinação das existentes, tendo também o efeito de seleção, eliminando os esquemas de baixa adaptação. Este operador é normalmente aplicado com alta probabilidade, sendo responsável pela maior parte da busca realizada pelo AG (LOBO, 2000).

Diversos algoritmos de cruzamento são propostos na literatura, alguns deles envolvendo mais de um ponto de corte. Foi observado, porém, que o aumento indiscriminado do número de pontos de corte degrada a performance do algoritmo, por causar a destruição de possíveis blocos construtivos (GOLDBERG, 1989). O cruzamento de dois pontos, todavia, é considerado adequado sendo utilizado neste trabalho, pois em geral produz bons resultados.

Esta técnica consiste em estabelecer dois pontos de corte aleatórios, e então realizar a troca da seqüência de genes que se encontra entre as secções, conforme ilustrado na Figura 3.11.

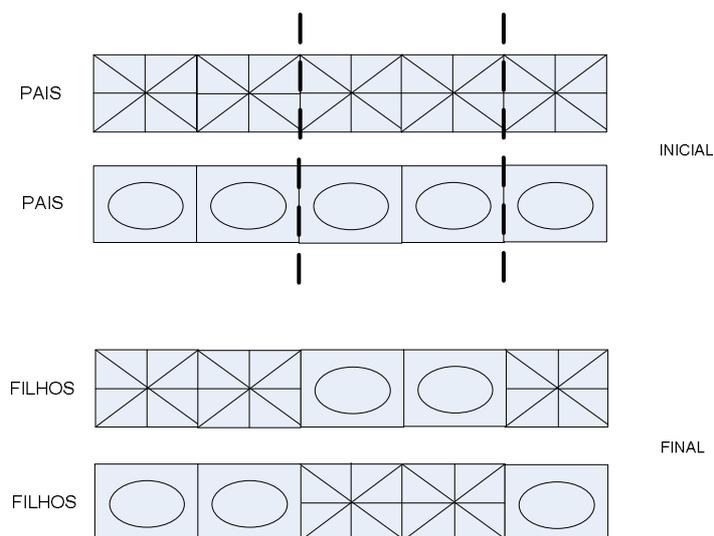


Figura 3.11 - Operador de cruzamento multi-ponto.

#### 3.3.6.4 Método de Inicialização

A população inicial é normalmente composta por indivíduos gerados aleatoriamente. Pode ser implementada como um vetor de  $n$  estruturas, onde cada estrutura contém o genótipo (cromossomo artificial representado por um *string* de bits), o fenótipo (decodificação do genótipo), e um valor de adaptação (função-objetivo), juntamente com outras informações auxiliares. Sobre esta população são aplicados iterativamente a seleção de indivíduos e os operadores genéticos, onde cada uma destas iterações é denominada “geração”. Este processo é repetido até que algum critério de parada especificado seja atingido.

O tamanho da população inicial deve ser definido levando em consideração o fato de que caso o número seja pequeno demais, não haverá espaço para uma variedade genética suficientemente grande, fazendo com que o algoritmo seja incapaz de achar boas soluções e caso o número seja demasiadamente grande o algoritmo levará muito tempo para achar a solução, podendo se aproximar perigosamente de uma busca exaustiva (LINDEN, 2008).

#### 3.3.6.5 Critério de Parada

O critério de parada pode ser: (i) um máximo número de gerações tenha sido atingido; (ii) um determinado tempo máximo de processamento tenha sido atingido; (iii) a obtenção de um valor de *fitness* pré-estabelecido, ou; (iv) a estagnação, ou seja, a convergência da população para alguma região do espaço de busca, impedindo que qualquer melhoria seja observada com o passar das gerações (TANAMARU, 1995).

#### 3.3.6.6 Algumas Vantagens e Desvantagens

As principais vantagens são:

- Os AGs são muito robustos e apresentam bons resultados em espaços de busca complexos. Foi provado teoricamente (GOLDBERG, 1989) e empiricamente (GREFENSTETTE et al., 1985; TAM, 1992) que os AGs constituem métodos competitivos para esta busca;
- É computacionalmente simples e apresenta baixo custo de implementação (GOLDBERG, 1989);
- É possível executá-lo utilizando técnicas de processamento paralelo, que tendem a melhorar tanto a eficiência quanto a qualidade das soluções obtidas (CANTÚ-PAZ, 1997);

- O método é viável para construção de sistemas híbridos, podendo se associado a outros métodos para o aprimoramento de resultados (TANOMARU, 1995);
- Não é necessário um conhecimento matemático profundo do problema. Basta saber como classificar as soluções candidatas em relação à função-objetivo (LOBO, 2000).

Como desvantagens destacam-se:

- Por se tratar de um método probabilístico, o AG busca soluções ótimas, porém não há garantias que esta solução seja encontrada. Isso também implica em um critério de parada pouco objetivo;
- O AG demanda mais recursos computacionais que outros métodos de otimização com relação ao tempo de processamento, por operar com uma população ao invés de uma solução individual (MCNELIS & DUFFY, 1998);
- O ajuste de parâmetros (tamanho da população, taxa de aplicação de operadores, critério de convergência, etc.) é feito de maneira empírica, dependendo da experiência do usuário e domínio do problema (LOBO, 2000).

### **3.4 Considerações Finais**

Neste Capítulo foram apresentados de forma detalhada os métodos computacionais empregados no trabalho, dando-se maior ênfase nas principais características e principalmente nos principais parâmetros de cada um, no intuito de facilitar a compreensão da aplicação dos mesmos no sistema teste a ser apresentado nos próximos capítulos.

Conforme se verifica, a rede neural apresenta menos complexidade de implementação devido à menor quantidade de parâmetros influenciáveis e devido ao fato de não necessitar de função de avaliação, se comparado ao algoritmo genético. Já o AG é bastante adequado à problemas mais complexos e de natureza combinatorial. Ambos os métodos apresentam como características a generalização e o processamento paralelo, o que os habilita a serem empregados em sistemas híbridos.

## *Capítulo 4*

# **METODOLOGIA DE SOLUÇÃO PROPOSTA**

### **4.1 Considerações Gerais**

Após a identificação das principais vantagens e desvantagens das técnicas computacionais propostas na literatura, buscou-se desenvolver uma metodologia de solução para o problema abordado. Este Capítulo descreve o modo como as RNAs e os AGs são utilizados em conjunto e de forma complementar para formar o sistema híbrido, com descrição das suas respectivas funções na tentativa de solucionar o problema abordado. Por fim, é descrito passo a passo o modo como a técnica funciona, considerando um pequeno exemplo demonstrativo. Por meio desse consegue-se facilitar a compreensão das relações entre o problema que se está tentando resolver e as características biológicas e genéticas dos métodos computacionais “bioinspirados”, além de se aplicar as formulações matemáticas empregadas.

### **4.2 Metodologia Proposta**

A grande diferença de filosofia entre as RNAs e os AGs motivou a sua utilização em conjunto, aproveitando-se de forma complementar das características de cada uma dessas técnicas na busca pela melhor solução para o problema.

As RNAs apresentam como principais vantagens: generalização; aprendizagem por exemplos; boa resposta a padrões inéditos; tolerância a falhas; robustez, e; facilidade de implementação.

Os AGs possuem como principais vantagens: o processo de busca dificilmente ficará estagnado num mínimo local, quando comparado a outras técnicas de otimização; possibilidade de encontrar múltiplas soluções; facilidade de inserção de novos padrões, e; robustez. Como desvantagens destacam-se: dificuldade em formular uma função de avaliação

plausível para o problema; dificuldade em ajustar os parâmetros, e; elevado esforço computacional para sistemas de grande porte.

Como o AG e a RNA podem complementarem-se?

A característica de rede neural é muito vantajosa para o problema do processamento de alarmes que trata, basicamente, de um processo de reconhecimento de padrões de dados recebidos com probabilidade de ocorrência de informações incompletas. Como no processamento de alarmes são relevantes somente os dois status do alarme (ativado ou inibido) a representação binária feita pela rede é ideal para o tratamento deste tipo de base de dados. Além disso, como foi adotada para o AG a representação cromossomial também binária, em função de se precisar saber somente os dois status do evento (ocorrido ou não-ocorrido), a resposta fornecida pela rede é reconhecida pelo AG. Isto torna o sistema híbrido altamente dinâmico, pois não há necessidade de adequação de base de dados para os métodos trocarem informações. Para minimizar o esforço computacional realizado pela rede e agilizar as eventuais atualizações da base de dados, optou-se por utilizar o modelo GRNN que realiza treinamento em passo único, o que agiliza e facilita a inclusão de novos padrões quando da alteração da topologia da rede elétrica. Para tanto, também foram criados módulos neurais independentes para cada componente do sistema teste, fazendo com que modificações na configuração da rede elétrica de determinado componente provoquem alterações somente na sua base de dados. Estes módulos independentes também diminuem consideravelmente o tempo de processamento da rede.

O AG devido a sua capacidade de apresentar múltiplas soluções consegue identificá-las e apresentá-las paralelamente, utilizando-se do filtro de informações previamente feito pela rede. Esta informação resumida que chega ao algoritmo facilita a apresentação de uma solução qualitativa, além de possibilitar uma conferência dos resultados apresentados pela rede, já que os eventos apresentados ao algoritmo devem representar um diagnóstico existente na base de dados do AG. Havendo alguma distorção em algum evento processado pela rede o AG faz o correto enquadramento do grupo de eventos recebidos, tendo condições, portanto, de generalizar uma possível resposta equivocada fornecida pela rede. A apresentação de múltiplos resultados é uma dificuldade da rede neural, já que ela classifica todas as possíveis soluções de forma proporcional, induzindo-se a considerar a resposta com maior proporção como a única verdadeira, não discriminando soluções independentes para defeitos independentes no sistema.

Uma das grandes dificuldades do AG é a obtenção de uma função-objetivo que avalie corretamente o problema, se comparada, por exemplo, a facilidade de implementação de uma rede neural. Porém, se há o domínio do problema que se está tratando e se há uma representação cromossomial de fácil implementação, como é o caso da representação binária adotada neste trabalho, a obtenção da função-objetivo adequada ao problema se torna extremamente factível. Os ajustes dos parâmetros são feitos unicamente por testes e experiências. Não existe uma formulação matemática exata ou ‘fórmula mágica’ para um bom algoritmo, portanto, é necessário conhecer o problema, conhecer os operadores do método e testá-los com exatidão até a obtenção de uma boa solução.

O elevado esforço computacional do algoritmo genético é devido, basicamente, a busca ocorrer numa população de soluções, e em se conseguindo minimizar esta população consegue-se um ganho muito grande no tempo de processamento. A minimização da população de soluções inicialmente criada pelo algoritmo pode ser feita através da utilização de um filtro, onde o indivíduo da população que não apresentar nenhum evento coincidente com os eventos reportados pelo AG é eliminado do conjunto de possíveis soluções, já que não possuem contribuições genéticas favoráveis para as próximas gerações, dessa forma, agilizando consideravelmente a busca efetuada pelo algoritmo.

Outra vantagem da utilização da rede GRNN por módulo é que ela apresenta a solução principal sem descartar as outras soluções do problema, apresentando-as com suas respectivas proporcionalidades de solução. Essa característica é bastante vantajosa para módulos neurais independentes onde se espera apenas uma resposta (evento) como verdadeira. Em ambos os métodos há facilidade de aceitação de novos padrões bastando que esses sejam inseridos na base de dados de ambos, pois a rede GRNN apresenta treinamento simples em passo único e o AG assume imediatamente o novo padrão como uma possível solução para o problema, sem precisar de prévio treinamento. A inserção ou remoção de alguns alarmes, eventos e/ou diagnósticos não são suficientes para provocar alteração de parâmetros e ajustes dos métodos, devido a suas baixas sensibilidades a ajustes finos. Portanto, se não houver modificações significativas no sistema elétrico as bases de dados podem ser modificadas sem necessidade de ajustes no programa de diagnósticos.

### **4.3 Sistema Híbrido**

O sistema híbrido é composto por redes neurais artificiais e algoritmo genético, sendo as redes responsáveis pelo processamento dos alarmes e o algoritmo genético pelo diagnóstico da falta. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma do sistema híbrido com dimensionamento real de alarmes, eventos e diagnósticos, baseado no sistema teste e a ser apresentado no próximo Capítulo.

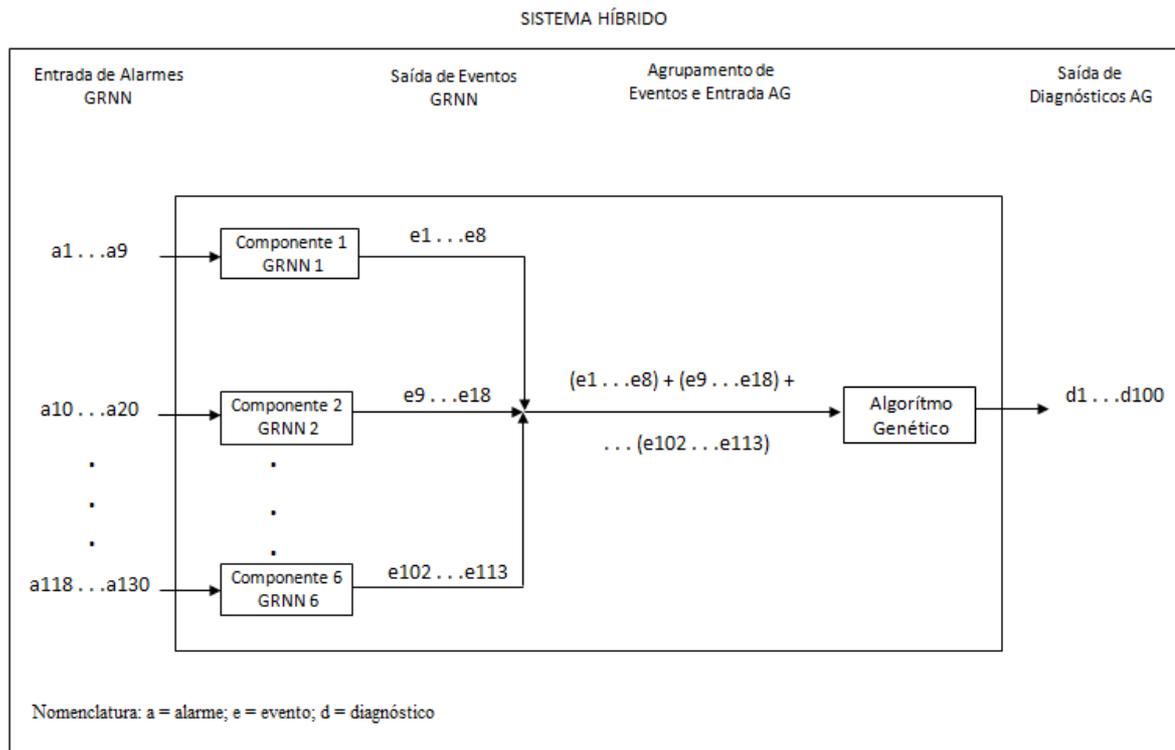


Figura 4.1 - Fluxograma do sistema híbrido.

Inicialmente foi definido que cada componente do sistema elétrico (linha de transmissão, barramento, transformador e alimentador) com esquema diferenciado de proteção tem um módulo neural específico responsável pelo processamento de seus alarmes. Diante disso, foram criados módulos neurais (redes neurais) independentes por componente elétrico, treinadas de acordo com as relações entre os alarmes e eventos de cada módulo. Como exemplo, o módulo GRNN 1 (Componente elétrico 1) possui 9 neurônios na camada de entrada e 8 neurônios na camada de saída, isso quer dizer que a rede foi treinada com esta base de dados e toda vez que um ou mais dos 9 alarmes forem acionados por um defeito elétrico, a rede, já treinada, efetuará o processamento e fornecerá como resposta apenas um dos 8 eventos como saída. Cabe ressaltar que a resposta apresentada pelo módulo é uma sequência binária que sempre contém todos os bits de saída do respectivo módulo, sendo

apenas ativado (um) o evento identificado no processamento, o restante dos eventos aparecem na seqüência de bits na forma de zeros.

Supondo que um defeito elétrico tenha afetado somente os alarmes de um único módulo neural (componente elétrico), este módulo processará os dados e fornecerá uma resposta contendo todos os bits (eventos) de saída zerados com exceção de um evento, que é a solução do processamento. Já todos os outros módulos neurais fornecerão suas saídas zeradas, pois, nenhum de seus alarmes foram acionados durante o defeito. Então todas as saídas dos módulos neurais, que individualmente formavam uma seqüência binária do tamanho da saída de cada rede, são agrupadas formando uma seqüência com 113 bits (eventos), sendo ativado somente um evento do componente afetado no defeito elétrico, os outros 112 são zerados.

Supondo agora que um defeito elétrico tenha afetado três componentes do sistema elétrico de um total de seis possíveis. Nesse caso, cada um dos três componentes afetados efetuará seu processamento de dados de maneira independente e fornecerá de forma ativada (um) o evento que representa os alarmes ocorridos, os outros eventos que não fazem parte da solução do módulo aparecem zerados na seqüência de bits de saída dele. Já os três componentes que não foram afetados não executam o processamento de dados, mas apenas remetem seu conjunto de eventos todos zerados para formar o agrupamento de 113 eventos que servirão de entrada para o AG. Nesse caso serão 3 eventos ativados e 110 zerados.

Cabe ressaltar que a inserção de erro nos alarmes reportados pode fazer com que um único módulo neural forneça mais de um evento ativado, pois a rede trabalha com proporcionalidades e pode achar duas ou mais soluções equivalentes. Nesse caso o erro da rede será propagado ao AG.

Independentemente de quantos componentes sejam atingidos pelo defeito no sistema elétrico o algoritmo genético sempre receberá como entrada uma relação de 113 eventos vindos de todos os seis módulos neurais, alguns ativados, mas na sua imensa maioria desativados (zerados).

Após o recebimento dos dados de entrada vindos das redes o algoritmo genético cria aleatoriamente a população inicial, de acordo com o tamanho pré-definido, para inicialização do processo de busca. Cada indivíduo da população inicial apresenta um tamanho binário igual ao número de conjuntos de eventos padrão (diagnósticos) da base de dados do algoritmo. No caso da Figura 4.1 cada indivíduo da população possui tamanho igual a 100 bits, sendo alguns bits iguais a 1 e outros iguais a 0, de forma aleatória.

Para o indivíduo em avaliação, seleciona-se todos os conjuntos de eventos padrão (da base de dados do AG) em que a posição do bit no indivíduo é igual a 1. Depois de selecionados os diagnósticos padrão, se faz a sobreposição dos seus eventos padrão, perfazendo esse novo elemento uma seqüência binária de 113 bits. Através da função de avaliação se faz a análise do desempenho do conjunto dos eventos padrão sobrepostos com os eventos recebidos das redes neurais. Esse processo se repete para todos os indivíduos inicialmente criados e, a partir da avaliação, os mais aptos são multiplicados para as próximas gerações. Isso ocorre até se atingir um critério de parada e então o indivíduo melhor adaptado apresenta como resposta de saída o(s) bit(s) ativado (s) na sua seqüência binária de 100 bits. A posição deste bit (ou bits) ativado é o nome do diagnóstico identificado pelo sistema híbrido.

O sistema híbrido fornece importantes informações na resposta de saída, tais como:

- (i) Alarmes acionados no defeito;
- (ii) Principais equipamentos de proteção envolvidos na incidência;
- (iii) Motivos prováveis da incidência, e;
- (iv) Sugestão de ações corretivas a serem tomadas pelo operador do sistema elétrico.

Pode-se resumir o sistema híbrido pela seguinte relação:

RNAs → FUNÇÃO: PROCESS. DE ALARMES → RELAÇÃO: ALARMES x EVENTOS → RESULTADO: EVENTO(S)  
AG → FUNÇÃO: DIAG. DE FALTAS → RELAÇÃO: EVENTOS x DIAGNÓSTICOS → RESULTADO: DIAGNÓSTICO(S)

Com a utilização de módulos neurais por componente consegue-se diminuir o número de variáveis na camada de entrada, ou seja, para o sistema teste, um evento ocorrido no componente 1 poderá acionar (ativar) no máximo 9 alarmes na camada de entrada da GRNN 1. Para o mesmo defeito se existisse somente uma rede para modelar todo sistema, a camada de entrada seria composta por 130 neurônios, sendo que no mínimo 121 deles não seriam relevantes para função de ativação devido aos pesos se tornarem muito pequenos (zerados) durante o treinamento da rede. Isso tornaria o processamento muito mais lento.

### **4.3.1 Exemplo de Aplicação**

De modo a compreender melhor o processamento de alarmes feito pela GRNN e o diagnóstico de falta feito pelo algoritmo genético, é descrito passo a passo um exemplo que utiliza as notações do programa MATLAB®.

## 4.3.1.1 Módulo Neural

Suponha um componente qualquer de um sistema elétrico composto por 5 tipos de alarmes, representados binariamente pelo status 0 (inibido) e 1 (acionado), perfazendo esses um total de 10 eventos. Isso significa que a rede deste componente é formada por 5 neurônios na camada de entrada e 10 neurônios na camada de saída. O conjunto de alarmes padrão (conjunto de treinamento), verificado no suposto esquema elétrico, é descrito a seguir:

$$Alarmes\_padr\tilde{a}o = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Os 10 eventos característicos (resposta de cada padrão) são nomeados da seguinte forma:

$$Eventos = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10]$$

Supondo que o evento número 7 tenha ocorrido, os alarmes reportados que iriam alimentar o sistema (camada de entrada) seriam:

$$Alarmes\_reportados = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

Adotando espalhamento (*spread*) com valor igual a 0.1, se obtém o valor do *bias* da seguinte forma:

$$Bias = \frac{\sqrt{\ln(0.5)}}{spread} = \frac{\sqrt{\ln(0.5)}}{0.1} = 8.3255 \quad (4.1)$$

Pode-se calcular a distância euclidiana entre a matriz de pesos, que é a transposta do conjunto padrão de alarmes, e o vetor de alarmes reportados. Em notação do MATLAB® fica da seguinte forma:

$$Dist\_euclidiana = dist(Pesos, Alarmes\_reportados) = \begin{bmatrix} 1.0000 \\ 1.7321 \\ 1.4142 \\ 1.7321 \\ 1.4142 \\ 1.0000 \\ 0.0000 \\ 2.0000 \\ 1.7321 \\ 1.7321 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Calcula-se, então, o produto do vetor coluna da distância euclidiana e do *bias*:

$$Produto = Bias * Dist\_euclidiana = 8.3255 * \begin{bmatrix} 1.0000 \\ 1.7321 \\ 1.4142 \\ 1.7321 \\ 1.4142 \\ 1.0000 \\ 0.0000 \\ 2.0000 \\ 1.7321 \\ 1.7321 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.3255 \\ 14.4203 \\ 11.7741 \\ 14.4203 \\ 11.7741 \\ 8.3255 \\ 0.0000 \\ 16.6511 \\ 14.4203 \\ 14.4203 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

O vetor radial do vetor *Produto* (camada intermediária da rede) é dado por:

$$Vetor\_radial = e^{-Produto^2} = \begin{bmatrix} 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 1.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Por fim, encontra-se o(s) evento(s) de saída (camada de saída da rede), fornada por neurônios lineares:

$$Evento\_resposta = Eventos * Vetor\_radial / \sum Vetor\_radial \quad (4.5)$$

$$Evento\_resposta = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10] * \frac{\begin{bmatrix} 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 1.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix}}{1} = 7$$

A rede apresentou como resposta o 7º evento que, conforme era esperado, é a resposta desejada.

#### 4.3.1.2 Módulo Genético

No sistema híbrido há somente um único algoritmo genético, que é alimentado com todas as respostas fornecidas pelos módulos neurais. Este algoritmo faz a busca e apresenta como resultado o diagnóstico.

Dando seqüência a solução do exemplo proposto, supondo que no mesmo defeito ocorrido anteriormente no sistema elétrico, além do 7º evento ocorrido num componente do sistema (total de 10 eventos possíveis, numerados de 1 a 10), ocorreu também o 12º evento em outro componente do mesmo sistema elétrico (total de 5 eventos possíveis, numerados de 11 a 15), considerando, portanto, que ambos os eventos representam um único defeito neste sistema. Para cada componente foi criado um módulo neural específico e cada módulo forneceu como resposta seu evento característico, sendo apresentado ao módulo do AG a seguinte seqüência de eventos para diagnosticar (total de 15 eventos possíveis):

$$GRNN1 + GRNN2 = Eventos\_reportados = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Considerando que a relação entre os eventos e diagnósticos para os dois componentes do sistema elétrico seja de 15 diferentes eventos perfazendo um total de 20 possíveis diagnósticos, verificado no suposto esquema elétrico, obtém-se a seguinte relação:

$$\text{Diagnósticos\_padrão} = \begin{bmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}$$

Sendo a função de avaliação definida por:

$$f(n) = \sum \text{Eventos\_não\_coincidentes}(n) \quad (4.6)$$

Onde a função representa a contagem dos eventos não coincidentes entre os eventos reportados e os eventos retirados da população de indivíduos, sendo a variável  $n$  o  $n$ -ésimo indivíduo da população.

O processo de otimização busca adaptar os indivíduos da população para que a diferença entre o número de eventos coincidentes entre os eventos reportados e os eventos retirados da população de indivíduos seja cada vez menor. Quando se atinge o valor ideal, ou seja, quando se cria um indivíduo da população com características genéticas que represente os eventos reportados se atinge o melhor valor para a função chegando-se, assim, ao diagnóstico (um dos 20 conjuntos de eventos) que mais se parece a este indivíduo “ideal”.

Foi criada uma população inicial com tamanho igual a 200, sendo, portanto com tamanho igual a 10 vezes o tamanho do número total de diagnósticos padrão. A população inicial não foi apresentada por questões de espaço. A obtenção dos eventos retirados da

população de indivíduos que serão comparados aos eventos reportados ocorre da seguinte forma:

$$\text{Primeiro\_indiv\_populacao} = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$$

Através do indivíduo da população se obtém os diagnósticos padrão que deverão ser sobrepostos (1, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20). Fazendo a sobreposição obtêm-se os eventos do primeiro indivíduo da população:

$$\text{sobreposicao} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{eventos\_prim\_ind} = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$$

Aplicando a função de avaliação ao primeiro indivíduo da população verifica-se o seguinte valor:

$$\text{Eventos\_reportados} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\text{Eventos\_prim\_ind} = [1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$$

$$f(1) = \sum \text{Eventos\_n\~ao\_coincidentes}(1) = 10$$

Fazendo a primeira avaliação de toda a população inicial (de todos os indivíduos) na função de avaliação, se obtém os valores para a primeira geração:

$$\text{Primeira\_geração} = \begin{bmatrix} 10 & 12 & 11 & 8 & 10 & 12 & 9 & 11 & 8 & 9 & 8 & 10 & 8 & 7 & 6 & 10 & 9 & 9 & 11 & 10 & 8 & 5 & 8 & 10 & 10 \\ 6 & 12 & 8 & 10 & 10 & 11 & 12 & 8 & 10 & 10 & 8 & 6 & 9 & 9 & 7 & 9 & 10 & 6 & 10 & 9 & 11 & 9 & 6 & 7 & 8 \\ 11 & 10 & 11 & 8 & 8 & 8 & 9 & 9 & 7 & 9 & 10 & 7 & 11 & 11 & 9 & 9 & 8 & 9 & 8 & 10 & 9 & 6 & 9 & 7 & 7 \\ 8 & 10 & 8 & 9 & 9 & 14 & 11 & 7 & 10 & 8 & 10 & 8 & 11 & 6 & 8 & 8 & 10 & 9 & 8 & 8 & 11 & 9 & 11 & 11 & 9 \\ 10 & 7 & 11 & 10 & 8 & 8 & 10 & 8 & 11 & 5 & 12 & 8 & 11 & 10 & 11 & 5 & 9 & 12 & 6 & 11 & 8 & 9 & 13 & 9 & 8 \\ 11 & 8 & 9 & 8 & 5 & 12 & 7 & 5 & 10 & 8 & 12 & 4 & 8 & 9 & 10 & 9 & 9 & 11 & 7 & 6 & 11 & 8 & 9 & 5 & 8 \\ 8 & 9 & 11 & 8 & 11 & 10 & 11 & 9 & 6 & 5 & 11 & 8 & 8 & 9 & 8 & 10 & 12 & 9 & 8 & 10 & 9 & 7 & 10 & 10 & 6 \\ 10 & 5 & 7 & 9 & 7 & 9 & 10 & 11 & 12 & 7 & 9 & 10 & 10 & 8 & 9 & 12 & 7 & 9 & 9 & 11 & 11 & 10 & 8 & 10 & 9 \end{bmatrix}$$

Salienta-se que quanto menor o valor encontrado na função de avaliação melhor é o resultado, pois quanto menor for a contagem de eventos diferentes menor será a diferença entre o conjunto recebido e o conjunto retirado da população. O algoritmo desenvolvido considera que os dois melhores indivíduos (elite) são conservados para a próxima geração, sendo esses: o indivíduo da posição 137 (melhor indivíduo, com valor de avaliação igual a 4) e o indivíduo da posição 22 (primeiro segundo melhor indivíduo, com valor de avaliação igual a 5). Portanto, ambos os indivíduos participarão da seleção e aplicação dos operadores para repassar suas características genéticas, mas serão conservados para a próxima geração.

Foi utilizado um fator de cruzamento de 0.9 (90%) para assim definir a quantidade de filhos que serão gerados pelos pais selecionados. A quantidade de filhos que são gerados pelo processo de cruzamento é obtida da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{número\_filhos} &= (\text{tamanho\_população} - \text{elite}) * \text{fator\_cruzamento} & (4.7) \\ \text{número\_filhos} &= (200 - 2) * 0.9 = 178 \end{aligned}$$

Portanto, dos 200 indivíduos da nova geração 180 já estão definidos de onde são obtidos. Isso indica que 20 ( $200 - (178 + 2)$ ) dos pais selecionados para criar a nova geração irão participar do processo de probabilidade de mutação. O número de pais selecionados será de:

$$\begin{aligned} \text{pais\_selecionados} &= (2 * \text{número\_filhos}) + \text{tamanho\_mutação} & (4.8) \\ \text{pais\_selecionados} &= (2 * 178) + 20 = 376 \end{aligned}$$

Após alguns conceitos serem definidos, inicia-se o processo de seleção e as operações genéticas para a primeira geração de indivíduos. Para a seleção foi escolhido o método baseado em competição entre 4 indivíduos definidos aleatoriamente, obtendo, assim, a relação de jogadores nomeados por sua posição na população e os respectivos pais selecionados pela

melhor avaliação, também indicados pela sua posição na população. A seguir tem-se uma prévia para melhor compreensão:

$$\begin{array}{l}
 \text{Jogadores}(4 \times 376) = \begin{bmatrix} 166 & 58 & 125 & 59 \\ 53 & 54 & 174 & 38 \\ 95 & 170 & 162 & 16 \\ 119 & 6 & 24 & 48 \\ 139 & 59 & 51 & 42 \\ 140 & 108 & 170 & 80 \\ 60 & 9 & 169 & 108 \\ 192 & 143 & 151 & 59 \\ 15 & 16 & 199 & 187 \\ 170 & 177 & 43 & 93 \\ 169 & 98 & 99 & 19 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \Rightarrow \text{pais\_selecionados}(1 \times 376) = \begin{bmatrix} 59 \\ 54 \\ 95 \\ 48 \\ 59 \\ 108 \\ 9 \\ 59 \\ 15 \\ 177 \\ 169 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Da matriz de pais selecionados ocorreu a remoção aleatória de 20 indivíduos que irão exclusivamente para o processo de mutação, restando, portanto, 356 pais selecionados. É feita nova ordenação aleatória dos 356 pais e estes irão gerar 178 filhos. A seguir é apresentada sucintamente a nova ordenação pela posição na população:

$$\text{Nova\_ordenação\_pais\_selecionados}(1 \times 356) = \begin{bmatrix} 56 \\ 160 \\ 180 \\ 112 \\ 59 \\ 13 \\ 14 \\ 66 \\ 85 \\ 15 \\ 177 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}$$

O processo de cruzamento ocorre, por definição, de dois em dois pais selecionados ordenados de acordo com a matriz acima, ou seja, o cruzamento ocorre entre o 1º e 2º, entre o 3º e 4º, e assim sucessivamente.

A seguir está demonstrado como ocorre a cruzamento a partir dos dois primeiros pais selecionados, gerando esses somente um filho. Os indivíduos foram retirados da população e os pontos de corte obtidos de forma aleatória (cruzamento de dois pontos):

$$\begin{array}{l}
 \text{Indivíduo } 56 = [0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \\
 \text{Indivíduo } 160 = [0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0] \\
 \text{Pontos de corte} = (13,19) \\
 \text{Filho}_{\text{gerado}} = [0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0]
 \end{array}$$

O processo acima se repetiu 178 vezes, formando os 178 filhos para a nova geração. Os 20 pais, removidos anteriormente dos pais previamente selecionados, formam o conjunto de indivíduos que passarão pela probabilidade de mutação. Conforme representado a seguir pela sua posição na população:

$$\text{pais}_{\text{selecionados}_{\text{mutação}}} = \begin{array}{l} 185 \\ 147 \\ 83 \\ 144 \\ 181 \\ 175 \\ 49 \\ 23 \\ 9 \\ 48 \\ 11 \\ 198 \\ 160 \\ 48 \\ 55 \\ 149 \\ 177 \\ 138 \\ 119 \\ 10 \end{array}$$

Pode-se verificar também como ocorre à mutação, ressaltando-se que, pela probabilidade, somente o 20º indivíduo (posição 10 na população) teve um gene alterado pela mutação, os restantes ficaram inalterados.

$$\begin{aligned} \text{Indivíduo } 10 &= [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \\ &\qquad\qquad\qquad \text{Gene selecionado aleatoriamente} = (1) \\ \text{Indivíduo } 10 &= [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \end{aligned}$$

Agora, todos os 200 indivíduos que formarão a 2ª geração já estão compostos: 2 indivíduos da elite; 178 indivíduos do cruzamento de pais, e; 20 indivíduos passados pelo processo de probabilidade de mutação. Sendo o valor da função de avaliação para cada indivíduo apresentada a seguir:

$$\text{Segunda\_geração} = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 4 & 8 & 7 & 8 & 7 & 9 & 9 & 6 & 4 & 7 & 6 & 8 & 9 & 5 & 6 & 11 & 9 & 5 & 7 & 5 & 4 & 7 & 6 \\ 6 & 9 & 7 & 7 & 9 & 6 & 5 & 5 & 7 & 7 & 4 & 9 & 7 & 7 & 7 & 10 & 8 & 8 & 5 & 8 & 6 & 10 & 6 & 6 & 4 \\ 8 & 6 & 7 & 9 & 9 & 6 & 4 & 12 & 7 & 9 & 5 & 9 & 8 & 8 & 7 & 8 & 8 & 8 & 6 & 6 & 8 & 10 & 6 & 9 & 7 \\ 4 & 7 & 7 & 5 & 9 & 8 & 5 & 8 & 8 & 9 & 7 & 7 & 8 & 6 & 5 & 7 & 8 & 9 & 8 & 7 & 9 & 6 & 7 & 9 & 4 \\ 8 & 5 & 7 & 8 & 5 & 5 & 6 & 5 & 9 & 10 & 2 & 7 & 7 & 8 & 5 & 7 & 7 & 8 & 5 & 9 & 8 & 6 & 8 & 6 & 10 \\ 8 & 9 & 4 & 6 & 7 & 4 & 7 & 8 & 5 & 8 & 7 & 9 & 6 & 8 & 10 & 7 & 9 & 6 & 4 & 8 & 8 & 5 & 5 & 7 & 8 \\ 6 & 6 & 7 & 8 & 8 & 3 & 6 & 8 & 6 & 8 & 7 & 10 & 7 & 7 & 4 & 8 & 6 & 7 & 9 & 5 & 5 & 9 & 4 & 8 & 7 \\ 7 & 8 & 9 & 6 & 8 & 7 & 8 & 7 & 7 & 9 & 6 & 7 & 8 & 8 & 6 & 8 & 8 & 5 & 6 & 8 & 5 & 5 & 8 & 6 & 10 \end{bmatrix}$$

Este processo todo foi repetido oito vezes até que se obteve na 8ª geração os seguintes valores na função de avaliação:

$$\text{Oitava\_geração} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Isso significa que na 8ª geração todos os indivíduos da população apresentaram uma relação de eventos iguais aos eventos reportados, coincidindo nos 15 eventos. Todos os 200 indivíduos são representados pelo melhor indivíduo abaixo:

*melhor\_indivíduo* = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0]

O diagnóstico acionado foi o 19º conforme já era previsto, pois, obviamente, seus alarmes e eventos característicos foram apresentados sem alteração à rede neural e ao algoritmo genético, respectivamente.

Este exemplo serviu para demonstrar passo a passo o princípio de funcionamento do sistema híbrido desenvolvido, sendo a metodologia adotada semelhante à empregada no sistema teste do Capítulo 5, apenas com variação dos ajustes empregados nos parâmetros.

#### **4.4 Considerações Finais**

A metodologia proposta demonstra que os dois métodos são perfeitamente aplicáveis de forma conjunta para formação de uma solução para o diagnóstico de faltas. A alta capacidade de generalização da rede neural consegue minimizar as falhas de comunicação ou erros de operação de equipamentos elétricos, associando o conjunto de alarmes reportados a um conjunto padrão existente. Os algoritmos genéticos têm capacidade de apresentar múltiplas soluções para diferentes defeitos no sistema elétrico, o que é de grande valia, já que a rede neural apresenta deficiência nesta tarefa. Os AGs conseguem ainda fazer generalizações sobre os resultados das redes, fazendo uma espécie de “revisão” das informações passadas pela rede, tendo condições de corrigi-las na tarefa do diagnóstico quando comparadas a sua base de dados padrão. Conforme se verifica no exemplo apresentado, a rede apresenta maior simplicidade de aplicação. O AG também não apresenta grandes dificuldades para implementação, necessitando, porém, um tempo maior durante a sua configuração (ajuste dos parâmetros).

# *Capítulo 5*

## **RESULTADOS OBTIDOS**

### **5.1 Considerações Gerais**

Neste Capítulo primeiramente é apresentado o sistema teste utilizado para validar a metodologia proposta e posteriormente são apresentadas todas as relações entre alarmes, eventos e diagnósticos que serviram como base de dados para as simulações realizadas. Por fim, são definidos os parâmetros e ajustes e são realizados os testes de desempenho das redes neurais e do algoritmo genético, tanto com relação à assertividade quanto ao tempo de processamento, sendo apresentados alguns exemplos de simulação do programa.

### **5.2 Sistema Teste**

O estudo utilizou a subestação JAG 179 da AES Sul - Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. localizada no Município de Jaguari/RS, região central do estado do Rio Grande do Sul. A SE tem duas fontes de energia: a fonte principal é advinda da linha de transmissão SVI conectada a subestação abaixadora SVI 230/69 kV de propriedade da CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica; a fonte secundária de energia é advinda da linha de transmissão UFSE conectada a Usina Hidroelétrica de Furnas do Segredo. A LT principal tem condições de suprir energia suficiente para manter o sistema elétrico da região em condições normais de operação, já a LT secundária, com inferior capacidade de fornecimento, está conectada para suprimento parcial durante eventual blackout da LT principal e para comercialização de energia.

As outras três linhas de transmissão (SAN, SFR e SPE), também conectadas ao barramento de 69 kV da subestação de JAG 179, são cargas que abastecem outras três subestações da região central do Estado.

No barramento de 69 kV também está conectado um transformador abaixador de 69/23 kV de onde partem três alimentadores que atendem aos municípios de Jaguari e Nova Esperança do Sul. Todo sistema descrito pode ser visto na Figura 5.1.

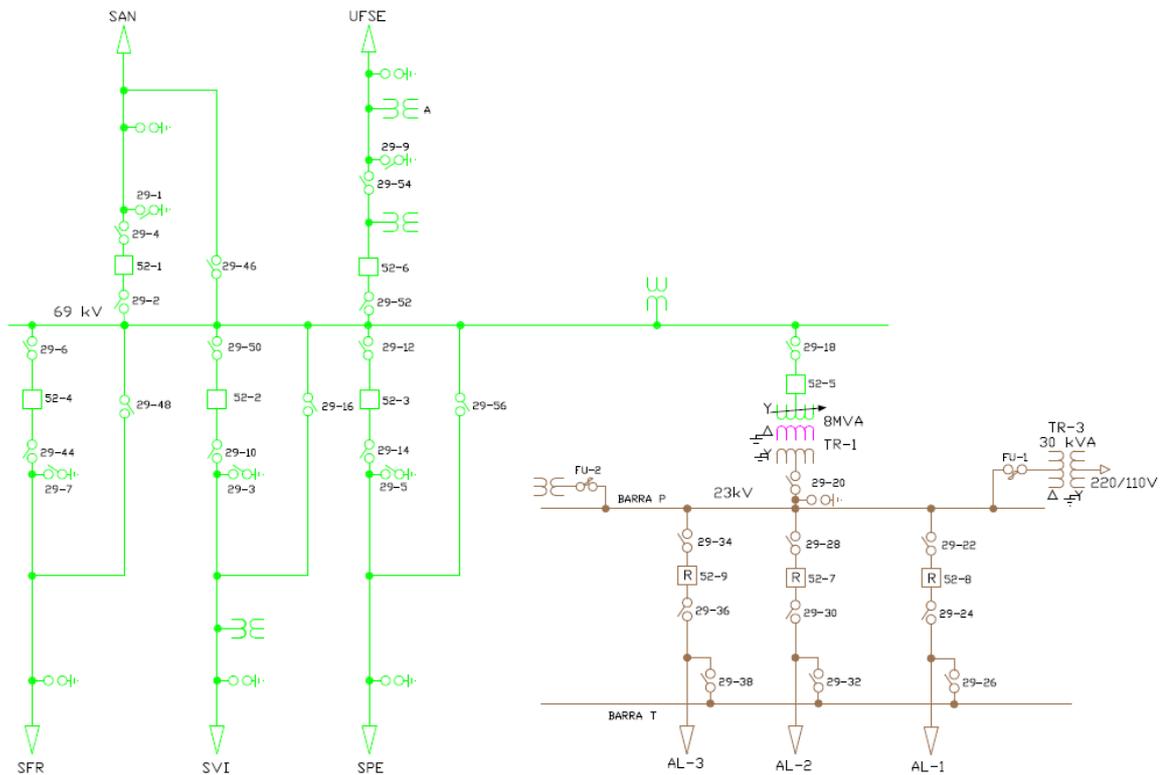


Figura 5.1 - Diagrama unifilar de operação da subestação JAG 179.

O sistema possui ao total 11 componentes, sendo que alguns ou tem o mesmo sistema de proteção, como as três linhas carga e os três alimentadores, ou inexistente proteção específica, como é o caso do barramento de 23 kV. Diante disso, foram criados 6 módulos neurais para o processamento de alarmes.

### 5.3 Módulos Neurais

#### 5.3.1 Módulo 1 - Modelagem da Linha de Transmissão SVI

Neste tópico está descrita a modelagem da linha de transmissão SVI para adequação do sistema elétrico ao sistema híbrido. A Figura 5.2 apresenta o diagrama de proteção simplificado da linha.

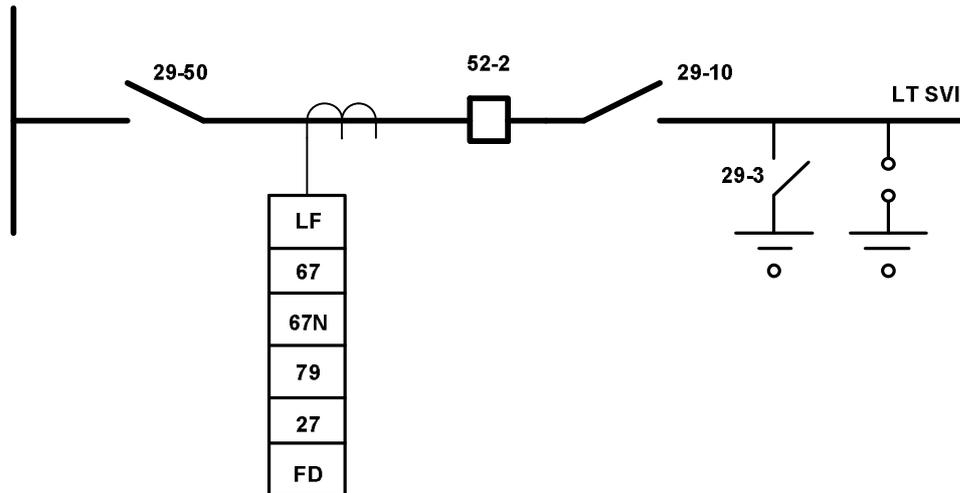


Figura 5.2 - Diagrama de proteção simplificado da LT SVI.

A Tabela 5.1 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes da linha e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.1 – Nomenclatura dos alarmes da LT SVI.

Alarme	Descrição dos Alarmes da LT SVI
a <sub>1</sub>	Relé Anomalia Proteção
a <sub>2</sub>	Religamento Automático
a <sub>3</sub>	Exclusão Religamento Automático
a <sub>4</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>5</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>6</sub>	Relé Subtensão
a <sub>7</sub>	Relé Localizador de Falta
a <sub>8</sub>	Relé Direcional Sobrecorrente de Fase
a <sub>9</sub>	Relé Direcional Sobrecorrente de Neutro

Com a leitura dos históricos de defeitos no sistema, com o estudo dos diagramas c.c. de proteção e entrevistas feitas com o pessoal da operação, obteve-se a relação entre os alarmes e eventos conforme descrito na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Relação entre eventos e alarmes da LT SVI.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> a <sub>4</sub> a <sub>7</sub> a <sub>8</sub>
e <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> a <sub>4</sub> a <sub>7</sub> a <sub>9</sub>
e <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>5</sub> a <sub>7</sub> a <sub>8</sub>
e <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>5</sub> a <sub>7</sub> a <sub>9</sub>
e <sub>5</sub>	a <sub>1</sub> a <sub>3</sub>
e <sub>6</sub>	a <sub>3</sub> a <sub>4</sub> a <sub>6</sub>
e <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> a <sub>4</sub> a <sub>6</sub>
e <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> a <sub>4</sub>

Para a linha foram identificados 9 tipos distintos de alarmes, perfazendo esses um total de 8 diferentes eventos no equipamento. Admitindo-se que, por exemplo, cada um dos 9 alarmes relativos a linha possa assumir dois estados distintos (ativado ou inibido) é possível, matematicamente,  $2^9$  combinações. Como neste estudo foram consideradas somente 8 falhas no equipamento, as restantes ou são falhas múltiplas na própria linha ou, na sua grande maioria, representam situações que configuram funcionamento normal do equipamento ou sinalização indevida. Para os outros 10 componentes do sistema a metodologia adotada foi a mesma, somente alterando os tipos de eventos e os respectivos alarmes característicos.

### 5.3.2 Módulo 2 - Modelagem da Linha de Transmissão UFSE

A Figura 5.3 apresenta o diagrama de proteção simplificado da linha.

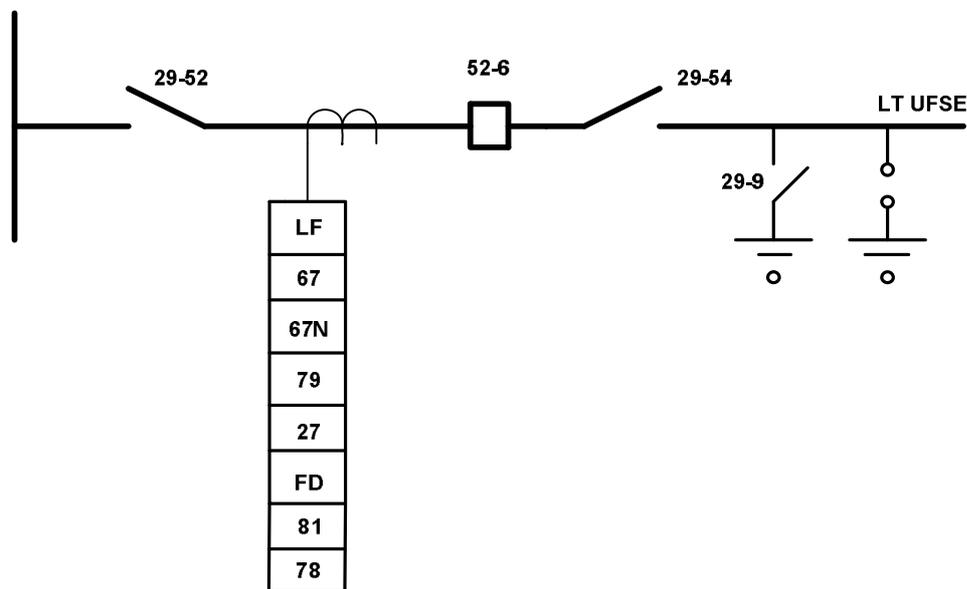


Figura 5.3 - Diagrama de proteção simplificado da LT UFSE.

A Tabela 5.3 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes da linha e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.3 – Nomenclatura dos alarmes da LT UFSE.

Alarme	Descrição dos Alarmes da LT UFSE
a <sub>10</sub>	Relé Anomalia Proteção
a <sub>11</sub>	Religamento Automático
a <sub>12</sub>	Exclusão Religamento Automático
a <sub>13</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>14</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>15</sub>	Relé Subtensão
a <sub>16</sub>	Relé Localizador de Falta
a <sub>17</sub>	Relé Direcional Sobrecorrente de Fase

a <sub>18</sub>	Relé Direcional Sobrecorrente de Neutro
a <sub>19</sub>	Relé Medição ângulo de Fase
a <sub>20</sub>	Relé de Frequência

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos da linha.

Tabela 5.4 – Relação entre eventos e alarmes da LT UFSE.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>9</sub>	a <sub>12</sub> a <sub>13</sub> a <sub>15</sub>
e <sub>10</sub>	a <sub>10</sub> a <sub>12</sub>
e <sub>11</sub>	a <sub>11</sub> a <sub>13</sub> a <sub>16</sub> a <sub>17</sub>
e <sub>12</sub>	a <sub>11</sub> a <sub>13</sub> a <sub>16</sub> a <sub>18</sub>
e <sub>13</sub>	a <sub>19</sub>
e <sub>14</sub>	a <sub>11</sub> a <sub>13</sub> a <sub>15</sub>
e <sub>15</sub>	a <sub>11</sub> a <sub>13</sub>
e <sub>16</sub>	a <sub>10</sub> a <sub>14</sub> a <sub>16</sub> a <sub>17</sub>
e <sub>17</sub>	a <sub>10</sub> a <sub>14</sub> a <sub>16</sub> a <sub>18</sub>
e <sub>18</sub>	a <sub>12</sub> a <sub>13</sub> a <sub>20</sub>

### 5.3.3 Módulo 3 - Modelagem do Barramento 69 kV

A Figura 5.4 apresenta o diagrama de proteção simplificado da barra.

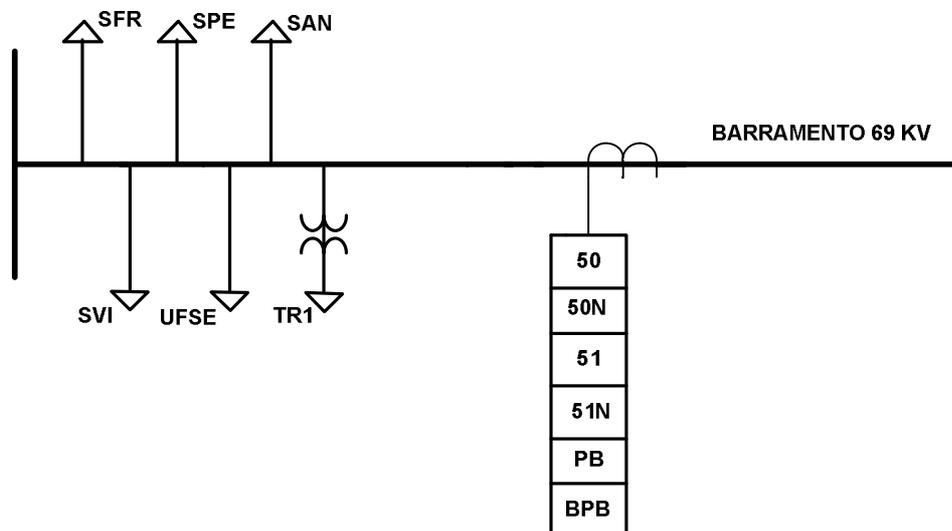


Figura 5.4 - Diagrama de proteção simplificado da barra 69 KV.

A Tabela 5.5 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes do barramento e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.5 – Nomenclatura dos alarmes da barra 69 kV.

Alarme	Descrição dos Alarmes da BARRA 69KV
a <sub>21</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase

a <sub>22</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>23</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>24</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase - Trip
a <sub>25</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>26</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro - Trip
a <sub>27</sub>	Proteção de Barra
a <sub>28</sub>	Barra Morta
a <sub>29</sub>	Bloqueio Proteção de Barra
a <sub>30</sub>	Disjuntor Disparado LT/TR
a <sub>31</sub>	Barra Viva

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos da barra.

Tabela 5.6 – Relação entre eventos e alarmes da barra 69 kV.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>19</sub>	a <sub>28</sub> a <sub>30</sub>
e <sub>20</sub>	a <sub>30</sub>
e <sub>21</sub>	a <sub>21</sub> a <sub>24</sub> a <sub>27</sub> a <sub>28</sub> a <sub>30</sub> a <sub>31</sub>
e <sub>22</sub>	a <sub>22</sub> a <sub>26</sub> a <sub>27</sub> a <sub>28</sub> a <sub>30</sub> a <sub>31</sub>
e <sub>23</sub>	a <sub>23</sub> a <sub>24</sub> a <sub>27</sub> a <sub>28</sub> a <sub>30</sub> a <sub>31</sub>
e <sub>24</sub>	a <sub>25</sub> a <sub>26</sub> a <sub>27</sub> a <sub>28</sub> a <sub>30</sub> a <sub>31</sub>
e <sub>25</sub>	a <sub>24</sub> a <sub>29</sub> a <sub>30</sub>
e <sub>26</sub>	a <sub>26</sub> a <sub>29</sub> a <sub>30</sub>
e <sub>27</sub>	a <sub>28</sub> a <sub>30</sub> a <sub>31</sub>

### 5.3.4 Módulo 4 - Modelagem das Linhas de Transmissão Carga

#### 5.3.4.1 Linha de Transmissão SFR

A Figura 5.5 apresenta o diagrama de proteção simplificado da LT SFR, sendo que para as outras linhas carga a configuração é a mesma alterando apenas a nomenclatura dos equipamentos de manobra.

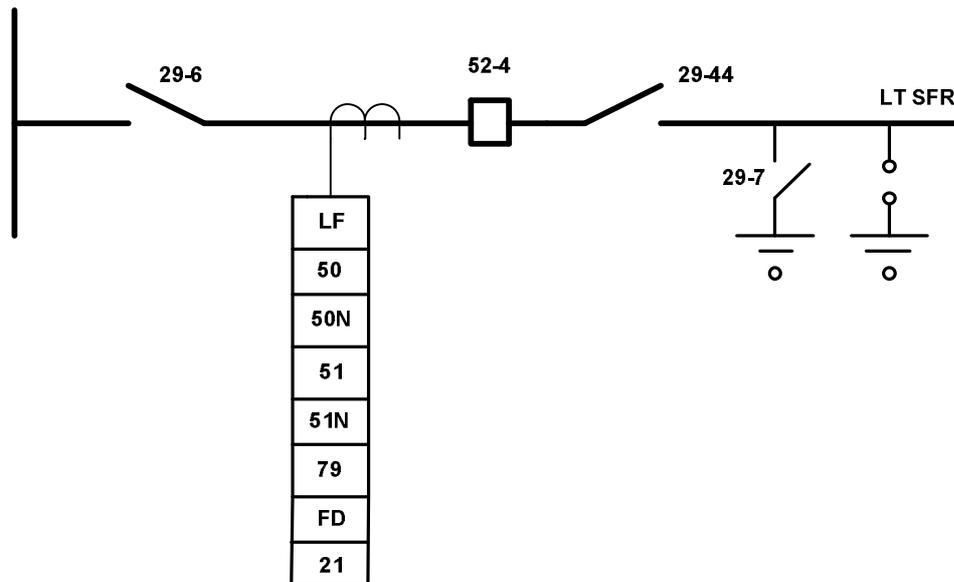


Figura 5.5 - Diagrama de proteção simplificado da LT SFR.

A Tabela 5.7 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes da linha e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.7 – Nomenclatura dos alarmes da LT SFR.

Alarme	Descrição dos Alarmes da LT SFR
a <sub>32</sub>	Relé Anomalia Proteção
a <sub>33</sub>	Religamento Automático
a <sub>34</sub>	Exclusão Religamento Automático
a <sub>35</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>36</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>37</sub>	Relé Localizador de Falta
a <sub>38</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase
a <sub>39</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>40</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>41</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase - Trip
a <sub>42</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>43</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro - Trip
a <sub>44</sub>	Relé de Distância

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos da linha.

Tabela 5.8 – Relação entre eventos e alarmes da LT SFR.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>28</sub>	a <sub>32</sub> a <sub>36</sub> a <sub>37</sub> a <sub>38</sub> a <sub>40</sub> a <sub>41</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>29</sub>	a <sub>32</sub> a <sub>36</sub> a <sub>37</sub> a <sub>40</sub> a <sub>41</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>30</sub>	a <sub>32</sub> a <sub>36</sub> a <sub>37</sub> a <sub>39</sub> a <sub>42</sub> a <sub>43</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>31</sub>	a <sub>32</sub> a <sub>36</sub> a <sub>37</sub> a <sub>42</sub> a <sub>43</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>32</sub>	a <sub>32</sub> a <sub>34</sub>
e <sub>33</sub>	a <sub>33</sub> a <sub>35</sub> a <sub>37</sub> a <sub>38</sub> a <sub>41</sub> a <sub>44</sub>

e <sub>34</sub>	a <sub>33</sub> a <sub>35</sub> a <sub>37</sub> a <sub>39</sub> a <sub>43</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>35</sub>	a <sub>33</sub> a <sub>35</sub> a <sub>37</sub> a <sub>40</sub> a <sub>41</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>36</sub>	a <sub>33</sub> a <sub>35</sub> a <sub>37</sub> a <sub>42</sub> a <sub>43</sub> a <sub>44</sub>
e <sub>37</sub>	a <sub>33</sub> a <sub>35</sub> a <sub>40</sub> a <sub>41</sub>
e <sub>38</sub>	a <sub>33</sub> a <sub>35</sub> a <sub>42</sub> a <sub>43</sub>

#### 5.3.4.2 Linha de Transmissão SPE

A Tabela 5.9 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes da linha e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.9 – Nomenclatura dos alarmes da LT SPE.

Alarme	Descrição dos Alarmes da LT SPE
a <sub>45</sub>	Relé Anomalia Proteção
a <sub>46</sub>	Religamento Automático
a <sub>47</sub>	Exclusão Religamento Automático
a <sub>48</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>49</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>50</sub>	Relé Localizador de Falta
a <sub>51</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase
a <sub>52</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>53</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>54</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase – Trip
a <sub>55</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>56</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro – Trip
a <sub>57</sub>	Relé de Distância

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos da linha.

Tabela 5.10 – Relação entre eventos e alarmes da LT SPE.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>39</sub>	a <sub>45</sub> a <sub>49</sub> a <sub>50</sub> a <sub>51</sub> a <sub>53</sub> a <sub>54</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>40</sub>	a <sub>45</sub> a <sub>49</sub> a <sub>50</sub> a <sub>53</sub> a <sub>54</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>41</sub>	a <sub>45</sub> a <sub>49</sub> a <sub>50</sub> a <sub>52</sub> a <sub>55</sub> a <sub>56</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>42</sub>	a <sub>45</sub> a <sub>49</sub> a <sub>50</sub> a <sub>55</sub> a <sub>56</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>43</sub>	a <sub>45</sub> a <sub>47</sub>
e <sub>44</sub>	a <sub>46</sub> a <sub>48</sub> a <sub>50</sub> a <sub>51</sub> a <sub>54</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>45</sub>	a <sub>46</sub> a <sub>48</sub> a <sub>50</sub> a <sub>52</sub> a <sub>56</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>46</sub>	a <sub>46</sub> a <sub>48</sub> a <sub>50</sub> a <sub>53</sub> a <sub>54</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>47</sub>	a <sub>46</sub> a <sub>48</sub> a <sub>50</sub> a <sub>55</sub> a <sub>56</sub> a <sub>57</sub>
e <sub>48</sub>	a <sub>46</sub> a <sub>48</sub> a <sub>53</sub> a <sub>54</sub>
e <sub>49</sub>	a <sub>46</sub> a <sub>48</sub> a <sub>55</sub> a <sub>56</sub>

## 5.3.4.3 Linha de Transmissão SAN

A Tabela 5.11 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes da linha e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.11 – Nomenclatura dos alarmes da LT SAN.

Alarme	Descrição dos Alarmes da LT SAN
a <sub>58</sub>	Relé Anomalia Proteção
a <sub>59</sub>	Religamento Automático
a <sub>60</sub>	Exclusão Religamento Automático
a <sub>61</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>62</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>63</sub>	Relé Localizador de Falta
a <sub>64</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase
a <sub>65</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>66</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>67</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase - Trip
a <sub>68</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>69</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro - Trip
a <sub>70</sub>	Relé de Distância

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos da linha.

Tabela 5.12 – Relação entre eventos e alarmes da LT SAN.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>50</sub>	a <sub>58</sub> a <sub>62</sub> a <sub>63</sub> a <sub>64</sub> a <sub>66</sub> a <sub>67</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>51</sub>	a <sub>58</sub> a <sub>62</sub> a <sub>63</sub> a <sub>66</sub> a <sub>67</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>52</sub>	a <sub>58</sub> a <sub>62</sub> a <sub>63</sub> a <sub>65</sub> a <sub>68</sub> a <sub>69</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>53</sub>	a <sub>58</sub> a <sub>62</sub> a <sub>63</sub> a <sub>68</sub> a <sub>69</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>54</sub>	a <sub>58</sub> a <sub>60</sub>
e <sub>55</sub>	a <sub>59</sub> a <sub>61</sub> a <sub>63</sub> a <sub>64</sub> a <sub>67</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>56</sub>	a <sub>59</sub> a <sub>61</sub> a <sub>63</sub> a <sub>65</sub> a <sub>69</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>57</sub>	a <sub>59</sub> a <sub>61</sub> a <sub>63</sub> a <sub>66</sub> a <sub>67</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>58</sub>	a <sub>59</sub> a <sub>61</sub> a <sub>63</sub> a <sub>68</sub> a <sub>69</sub> a <sub>70</sub>
e <sub>59</sub>	a <sub>59</sub> a <sub>61</sub> a <sub>66</sub> a <sub>67</sub>
e <sub>60</sub>	a <sub>59</sub> a <sub>61</sub> a <sub>68</sub> a <sub>69</sub>

## 5.3.5 Módulo 5 - Modelagem do Transformador TR-1

A Figura 5.6 apresenta o diagrama de proteção simplificado do transformador.

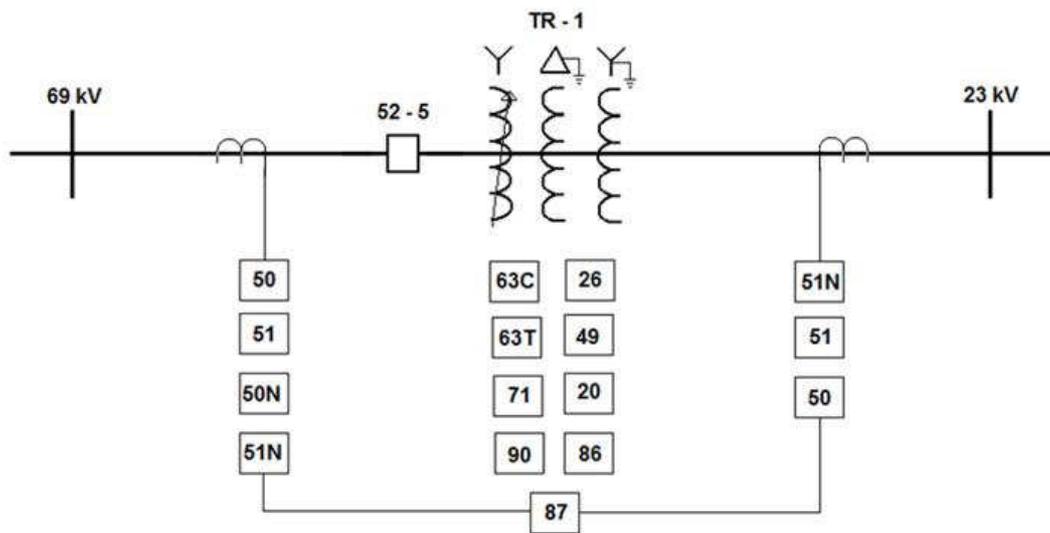


Figura 5.6 - Diagrama simplificado de proteção do transformador TR-1.

A Tabela 5.13 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes do transformador e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.13 – Nomenclatura dos alarmes do transformador TR-1.

Alarme	Descrição dos Alarmes do TR-1
a <sub>71</sub>	Relé Anomalia Proteção
a <sub>72</sub>	Válvula Alívio de Pressão
a <sub>73</sub>	Termômetro Capilar Sobretemperatura do Óleo – Sinalização
a <sub>74</sub>	Termômetro Capilar Sobretemperatura do Óleo – Desligamento
a <sub>75</sub>	Relé Imagem Térmica do Enrolamento – Sinalização
a <sub>76</sub>	Relé Imagem Térmica do Enrolamento – Desligamento
a <sub>77</sub>	Relé Pressão de Gás TR-1 - Sinalização
a <sub>78</sub>	Relé Pressão de Gás TR-1 - Desligamento
a <sub>79</sub>	Relé Pressão de Gás Comutador
a <sub>80</sub>	Relé Auxiliar de Bloqueio
a <sub>81</sub>	Relé Proteção Diferencial
a <sub>82</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>83</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase AT
a <sub>84</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro AT
a <sub>85</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase AT
a <sub>86</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro AT
a <sub>87</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase BT
a <sub>88</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro BT
a <sub>89</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>90</sub>	Dispositivo de Detecção Nível de Óleo TR-1
a <sub>91</sub>	Dispositivo de Detecção Nível de Óleo Comutador

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos do transformador.

Tabela 5.14 – Relação de eventos e alarmes do transformador TR-1.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>61</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>77</sub> a <sub>78</sub> a <sub>80</sub> a <sub>81</sub> a <sub>89</sub>
e <sub>62</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>80</sub> a <sub>83</sub> a <sub>89</sub>
e <sub>63</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>80</sub> a <sub>84</sub> a <sub>89</sub>
e <sub>64</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>80</sub> a <sub>89</sub> a <sub>90</sub>
e <sub>65</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>80</sub> a <sub>85</sub> a <sub>89</sub>
e <sub>66</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>80</sub> a <sub>86</sub> a <sub>89</sub>
e <sub>67</sub>	a <sub>71</sub> a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>77</sub> a <sub>78</sub> a <sub>81</sub> a <sub>82</sub> a <sub>83</sub>
e <sub>68</sub>	a <sub>71</sub> a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>82</sub> a <sub>83</sub> a <sub>85</sub>
e <sub>69</sub>	a <sub>71</sub> a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>74</sub> a <sub>75</sub> a <sub>76</sub> a <sub>82</sub> a <sub>84</sub> a <sub>86</sub>
e <sub>70</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub>
e <sub>71</sub>	a <sub>72</sub> a <sub>73</sub> a <sub>90</sub>
e <sub>72</sub>	a <sub>91</sub>
e <sub>73</sub>	a <sub>79</sub> a <sub>80</sub> a <sub>89</sub> a <sub>91</sub>
e <sub>74</sub>	a <sub>71</sub> a <sub>79</sub> a <sub>82</sub> a <sub>91</sub>
e <sub>75</sub>	a <sub>71</sub> a <sub>80</sub>
e <sub>76</sub>	a <sub>80</sub> a <sub>87</sub> a <sub>89</sub>
e <sub>77</sub>	a <sub>80</sub> a <sub>88</sub> a <sub>89</sub>

### 5.3.6 Módulo 6 - Modelagem dos Alimentadores

#### 5.3.6.1 Alimentador AL-1

A Figura 5.7 apresenta o diagrama de proteção simplificado do alimentador AL-1. Para os outros alimentadores o diagrama é o mesmo, alterando apenas a nomenclatura dos equipamentos de manobra.

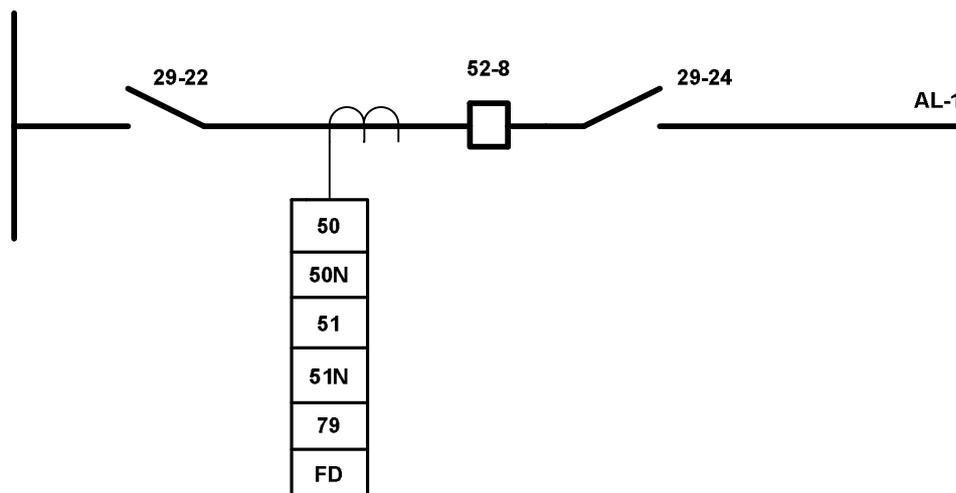


Figura 5.7 - Diagrama de proteção simplificado do alimentador AL-1.

A Tabela 5.15 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes do alimentador e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.15 – Nomenclatura dos alarmes do AL-1.

Alarme	Descrição dos Alarmes do AL-1
a <sub>92</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase
a <sub>93</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>94</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>95</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase - Trip
a <sub>96</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>97</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro - Trip
a <sub>98</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>99</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>100</sub>	Religamento Automático
a <sub>101</sub>	Falha Religamento Automático
a <sub>102</sub>	Nível de Óleo Disjuntor – Sinalização
a <sub>103</sub>	Nível de Óleo Disjuntor – Desligamento
a <sub>104</sub>	Supervisão Mola Descarregada

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos do alimentador.

Tabela 5.16 – Relação entre eventos e alarmes do AL-1.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>78</sub>	a <sub>92</sub> a <sub>95</sub> a <sub>98</sub> a <sub>100</sub>
e <sub>79</sub>	a <sub>92</sub> a <sub>95</sub> a <sub>98</sub> a <sub>101</sub> a <sub>104</sub>
e <sub>80</sub>	a <sub>92</sub> a <sub>94</sub> a <sub>95</sub> a <sub>99</sub>
e <sub>81</sub>	a <sub>103</sub>
e <sub>82</sub>	a <sub>102</sub>
e <sub>83</sub>	a <sub>93</sub> a <sub>97</sub> a <sub>98</sub> a <sub>100</sub>
e <sub>84</sub>	a <sub>93</sub> a <sub>97</sub> a <sub>98</sub> a <sub>101</sub>
e <sub>85</sub>	a <sub>93</sub> a <sub>96</sub> a <sub>97</sub> a <sub>99</sub>
e <sub>86</sub>	a <sub>94</sub> a <sub>95</sub> a <sub>98</sub> a <sub>100</sub>
e <sub>87</sub>	a <sub>96</sub> a <sub>97</sub> a <sub>98</sub> a <sub>100</sub>
e <sub>88</sub>	a <sub>94</sub> a <sub>95</sub> a <sub>99</sub>
e <sub>89</sub>	a <sub>93</sub> a <sub>97</sub> a <sub>99</sub>

### 5.3.6.2 Alimentador AL-2

A Tabela 5.17 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes do alimentador e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.17 – Nomenclatura dos alarmes do alimentador AL-2.

Alarme	Descrição dos Alarmes do AL-2
a <sub>105</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase
a <sub>106</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>107</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>108</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase - Trip
a <sub>109</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>110</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro - Trip

a <sub>111</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>112</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>113</sub>	Religamento Automático
a <sub>114</sub>	Falha Religamento Automático
a <sub>115</sub>	Nível de Óleo Disjuntor – Sinalização
a <sub>116</sub>	Nível de Óleo Disjuntor – Desligamento
a <sub>117</sub>	Supervisão Mola Descarregada

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos do alimentador.

Tabela 5.18 – Relação entre eventos e alarmes do alimentador AL-2.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>90</sub>	a <sub>105</sub> a <sub>108</sub> a <sub>111</sub> a <sub>113</sub>
e <sub>91</sub>	a <sub>105</sub> a <sub>108</sub> a <sub>111</sub> a <sub>114</sub> a <sub>117</sub>
e <sub>92</sub>	a <sub>105</sub> a <sub>107</sub> a <sub>108</sub> a <sub>112</sub>
e <sub>93</sub>	a <sub>116</sub>
e <sub>94</sub>	a <sub>115</sub>
e <sub>95</sub>	a <sub>106</sub> a <sub>110</sub> a <sub>111</sub> a <sub>113</sub>
e <sub>96</sub>	a <sub>106</sub> a <sub>110</sub> a <sub>111</sub> a <sub>114</sub>
e <sub>97</sub>	a <sub>106</sub> a <sub>109</sub> a <sub>110</sub> a <sub>112</sub>
e <sub>98</sub>	a <sub>107</sub> a <sub>108</sub> a <sub>111</sub> a <sub>113</sub>
e <sub>99</sub>	a <sub>109</sub> a <sub>110</sub> a <sub>111</sub> a <sub>113</sub>
e <sub>100</sub>	a <sub>107</sub> a <sub>108</sub> a <sub>112</sub>
e <sub>101</sub>	a <sub>106</sub> a <sub>110</sub> a <sub>112</sub>

### 5.3.6.3 Alimentador AL-3

A Tabela 5.19 apresenta a nomenclatura utilizada para os alarmes do alimentador e suas respectivas funcionalidades.

Tabela 5.19 – Nomenclatura dos alarmes do alimentador AL-3.

Alarme	Descrição dos Alarmes do AL-3
a <sub>118</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Fase
a <sub>119</sub>	Relé Sobrecorrente Instantâneo de Neutro
a <sub>120</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase
a <sub>121</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Fase - Trip
a <sub>122</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro
a <sub>123</sub>	Relé Sobrecorrente Temporizado de Neutro - Trip
a <sub>124</sub>	Disjuntor Desligado
a <sub>125</sub>	Falha Disjuntor
a <sub>126</sub>	Religamento Automático
a <sub>127</sub>	Falha Religamento Automático
a <sub>128</sub>	Nível de Óleo Disjuntor – Sinalização
a <sub>129</sub>	Nível de Óleo Disjuntor – Desligamento
a <sub>130</sub>	Supervisão Mola Descarregada

A seguir tem-se a relação entre os alarmes e eventos do alimentador.

Tabela 5.20 – Relação entre eventos e alarmes do alimentador AL-3.

Evento	Alarmes Característicos
e <sub>102</sub>	a <sub>118</sub> a <sub>121</sub> a <sub>124</sub> a <sub>126</sub>
e <sub>103</sub>	a <sub>118</sub> a <sub>121</sub> a <sub>124</sub> a <sub>127</sub> a <sub>130</sub>
e <sub>104</sub>	a <sub>118</sub> a <sub>120</sub> a <sub>121</sub> a <sub>125</sub>
e <sub>105</sub>	a <sub>129</sub>
e <sub>106</sub>	a <sub>128</sub>
e <sub>107</sub>	a <sub>119</sub> a <sub>123</sub> a <sub>124</sub> a <sub>126</sub>
e <sub>108</sub>	a <sub>119</sub> a <sub>123</sub> a <sub>124</sub> a <sub>127</sub>
e <sub>109</sub>	a <sub>119</sub> a <sub>122</sub> a <sub>123</sub> a <sub>125</sub>
e <sub>110</sub>	a <sub>120</sub> a <sub>121</sub> a <sub>124</sub> a <sub>126</sub>
e <sub>111</sub>	a <sub>122</sub> a <sub>123</sub> a <sub>124</sub> a <sub>126</sub>
e <sub>112</sub>	a <sub>120</sub> a <sub>121</sub> a <sub>125</sub>
e <sub>113</sub>	a <sub>119</sub> a <sub>123</sub> a <sub>125</sub>

## 5.4 Módulo Genético

No sistema teste foram diagnosticados 100 diferentes conjuntos de eventos, representando defeitos em todos os 10 componentes do sistema elétrico com proteção específica. A relação entre os diagnósticos e eventos está descrito na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Relação entre os diagnósticos e eventos do sistema teste.

Diagnóstico	Evento(s)	Diagnóstico	Evento(s)
d <sub>1</sub>	e <sub>1</sub> e <sub>15</sub> e <sub>77</sub>	d <sub>51</sub>	e <sub>6</sub> e <sub>9</sub> e <sub>73</sub> e <sub>67</sub>
d <sub>2</sub>	e <sub>2</sub> e <sub>15</sub> e <sub>27</sub>	d <sub>52</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>73</sub>
d <sub>3</sub>	e <sub>3</sub> e <sub>9</sub> e <sub>19</sub>	d <sub>53</sub>	e <sub>6</sub> e <sub>9</sub> e <sub>23</sub> e <sub>74</sub>
d <sub>4</sub>	e <sub>4</sub> e <sub>9</sub> e <sub>19</sub>	d <sub>54</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>62</sub>
d <sub>5</sub>	e <sub>5</sub>	d <sub>55</sub>	e <sub>6</sub> e <sub>9</sub> e <sub>23</sub> e <sub>68</sub>
d <sub>6</sub>	e <sub>11</sub> e <sub>20</sub>	d <sub>56</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>63</sub>
d <sub>7</sub>	e <sub>12</sub> e <sub>20</sub>	d <sub>57</sub>	e <sub>6</sub> e <sub>9</sub> e <sub>24</sub> e <sub>69</sub>
d <sub>8</sub>	e <sub>6</sub> e <sub>16</sub> e <sub>19</sub>	d <sub>58</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>65</sub>
d <sub>9</sub>	e <sub>6</sub> e <sub>17</sub> e <sub>19</sub>	d <sub>59</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>66</sub>
d <sub>10</sub>	e <sub>10</sub>	d <sub>60</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>64</sub>
d <sub>11</sub>	e <sub>13</sub>	d <sub>61</sub>	e <sub>70</sub>
d <sub>12</sub>	e <sub>18</sub> e <sub>20</sub>	d <sub>62</sub>	e <sub>71</sub>
d <sub>13</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>21</sub>	d <sub>63</sub>	e <sub>72</sub>
d <sub>14</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>22</sub>	d <sub>64</sub>	e <sub>75</sub>
d <sub>15</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>23</sub>	d <sub>65</sub>	e <sub>78</sub>
d <sub>16</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>24</sub>	d <sub>66</sub>	e <sub>83</sub>
d <sub>17</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>33</sub>	d <sub>67</sub>	e <sub>86</sub>
d <sub>18</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>34</sub>	d <sub>68</sub>	e <sub>87</sub>
d <sub>19</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>35</sub>	d <sub>69</sub>	e <sub>76</sub> e <sub>80</sub>
d <sub>20</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>36</sub>	d <sub>70</sub>	e <sub>77</sub> e <sub>85</sub>
d <sub>21</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>23</sub> e <sub>28</sub>	d <sub>71</sub>	e <sub>76</sub> e <sub>88</sub>
d <sub>22</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>24</sub> e <sub>30</sub>	d <sub>72</sub>	e <sub>77</sub> e <sub>89</sub>
d <sub>23</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>23</sub> e <sub>29</sub>	d <sub>73</sub>	e <sub>79</sub>
d <sub>24</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>24</sub> e <sub>31</sub>	d <sub>74</sub>	e <sub>84</sub>
d <sub>25</sub>	e <sub>20</sub> e <sub>37</sub>	d <sub>75</sub>	e <sub>82</sub>
d <sub>26</sub>	e <sub>20</sub> e <sub>38</sub>	d <sub>76</sub>	e <sub>81</sub>
d <sub>27</sub>	e <sub>32</sub>	d <sub>77</sub>	e <sub>90</sub>
d <sub>28</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>44</sub>	d <sub>78</sub>	e <sub>95</sub>
d <sub>29</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>45</sub>	d <sub>79</sub>	e <sub>98</sub>
d <sub>30</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>46</sub>	d <sub>80</sub>	e <sub>99</sub>
d <sub>31</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>47</sub>	d <sub>81</sub>	e <sub>76</sub> e <sub>92</sub>
d <sub>32</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>23</sub> e <sub>39</sub>	d <sub>82</sub>	e <sub>77</sub> e <sub>97</sub>
d <sub>33</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>24</sub> e <sub>41</sub>	d <sub>83</sub>	e <sub>76</sub> e <sub>100</sub>
d <sub>34</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>23</sub> e <sub>40</sub>	d <sub>84</sub>	e <sub>77</sub> e <sub>101</sub>
d <sub>35</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>24</sub> e <sub>42</sub>	d <sub>85</sub>	e <sub>91</sub>
d <sub>36</sub>	e <sub>20</sub> e <sub>48</sub>	d <sub>86</sub>	e <sub>96</sub>
d <sub>37</sub>	e <sub>20</sub> e <sub>49</sub>	d <sub>87</sub>	e <sub>94</sub>
d <sub>38</sub>	e <sub>43</sub>	d <sub>88</sub>	e <sub>93</sub>
d <sub>39</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>55</sub>	d <sub>89</sub>	e <sub>102</sub>
d <sub>40</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>56</sub>	d <sub>90</sub>	e <sub>107</sub>
d <sub>41</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>57</sub>	d <sub>91</sub>	e <sub>110</sub>
d <sub>42</sub>	e <sub>26</sub> e <sub>58</sub>	d <sub>92</sub>	e <sub>111</sub>
d <sub>43</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>23</sub> e <sub>50</sub>	d <sub>93</sub>	e <sub>76</sub> e <sub>104</sub>
d <sub>44</sub>	e <sub>7</sub> e <sub>14</sub> e <sub>24</sub> e <sub>52</sub>	d <sub>94</sub>	e <sub>77</sub> e <sub>109</sub>
d <sub>45</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>23</sub> e <sub>51</sub>	d <sub>95</sub>	e <sub>76</sub> e <sub>112</sub>
d <sub>46</sub>	e <sub>8</sub> e <sub>15</sub> e <sub>24</sub> e <sub>53</sub>	d <sub>96</sub>	e <sub>77</sub> e <sub>113</sub>
d <sub>47</sub>	e <sub>20</sub> e <sub>59</sub>	d <sub>97</sub>	e <sub>103</sub>
d <sub>48</sub>	e <sub>20</sub> e <sub>60</sub>	d <sub>98</sub>	e <sub>108</sub>
d <sub>49</sub>	e <sub>54</sub>	d <sub>99</sub>	e <sub>106</sub>
d <sub>50</sub>	e <sub>25</sub> e <sub>61</sub>	d <sub>100</sub>	e <sub>105</sub>

### 5.4.1 Resumo Dimensionamento do Sistema Teste

Após levantamentos e estudos da lógica de operação da proteção da SE JAG 179 obteve-se o dimensionamento do sistema conforme descrito resumidamente na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Dimensionamento do sistema teste.

Sistema Teste		GRNN	AG	
Módulo	Componente	Alarmes	Eventos	Diagnósticos
Módulo 1	Linha SVI	9	8	5
Módulo 2	Linha UFSE	11	10	7
Módulo 3	Barra 69kV	11	9	4
Módulo 4	Linha SPE	13	11	11
	Linha SAN	13	11	11
	Linha SFR	13	11	11
Módulo 5	Transformador	21	17	15
Módulo 6	Alimentador 1	13	12	12
	Alimentador 2	13	12	12
	Alimentador 3	13	12	12
Total Geral		130	113	100

## 5.5 Parâmetros Utilizados

O programa simulador de diagnósticos de distúrbios no sistema elétrico utilizou-se de nomenclatura binária para representar computacionalmente o sistema real. Para sinalizar a ocorrência ou não de um determinado alarme foi utilizada a seguinte nomenclatura na relação com os eventos: alarme reportado = 1; alarme não reportado = 0; onde cada alarme do conjunto reportado representa um bit para o evento. A relação entre eventos e diagnósticos utilizou-se da mesma nomenclatura, ou seja: evento ocorrido = 1; evento não ocorrido = 0. Com essa forma de representação, matrizes de zeros (inibido) e uns (ativado) formaram a base de dados tanto para a rede neural quanto para o algoritmo genético.

### 5.5.1 Parâmetros Utilizados na GRNN

Para todos os 6 módulos neurais a quantidade de neurônios da camada de entrada é igual a quantidade de alarmes do módulo e a quantidade de neurônios da camada de saída é

igual a quantidade de eventos do respectivo módulo, como exemplo, o módulo 1 (SVI) tem 9 neurônios na camada de entrada e 8 neurônios na saída.

Cada módulo neural utilizou como padrão de treinamento o seu próprio conjunto de alarmes e eventos, como exemplo, o módulo 1 (SVI) foi treinado com os padrões apresentados na Tabela 5.2.

Para validar a rede foi elaborado um conjunto de testes distintos utilizando-se uma seqüência de alarmes criados a partir do conjunto de treinamento, mas com incidência de ruído. A inserção de ruído deu-se através de um gerador aleatório de erros que inseriu erros de 0, 1, 2 e 3 bits no conjunto de alarmes de entrada, através da alteração do status de alguns alarmes. Isso com o intuito de verificar a capacidade de generalização das redes quanto a possíveis casos de falha de comunicação, aquisição de dados corrompidos ou até mesmo falhas na proteção. Na validação foram elaboradas 100 amostras aleatórias de erro para cada um dos 113 eventos do sistema, totalizando 11.300 (100 amostrais x 113 eventos) eventos para teste para cada um dos quatro diferentes erros testados, perfazendo, portanto, um total de 45.200 testes de validação da rede neural. O percentual de acerto para cada tipo de erro em cada módulo foi obtido a partir da média de acertos de todos os eventos com relação aos amostrais, isso no intuito de consolidar a resposta e verificar o tempo de processamento. Estes amostrais serviram para validação da rede, mas não foram testados no algoritmo genético já que para um defeito o AG considera a ocorrência de eventos de diferentes módulos simultaneamente.

Por fim, para verificar o desempenho do sistema híbrido novamente a rede neural foi testada, porém agora considerando a ocorrência de defeito no sistema elétrico onde é possível a ocorrência de alarmes de diferentes módulos ao mesmo tempo, ou seja, diferentes eventos de diferentes módulos representam o mesmo defeito no sistema elétrico. Também foram testados erros aleatórios de 0, 1, 2 e 3 bits para cada módulo neural pertencente ao defeito. Neste teste foi simulado um amostral igual a 100 por defeito no sistema, perfazendo, portanto, um total de 40.000 testes (100 amostras x 100 diagnósticos x 4 erros aleatórios).

A variável *spread* foi testada para diversos valores de espalhamento e após muitos testes chegou-se a um valor satisfatório igual a 0,40 para todos os seis módulos neurais.

### 5.5.2 Parâmetros Utilizados no AG

A busca por uma função objetivo que melhor avalie as soluções candidatas foi feita através de muitas simulações, testes e com inspiração na função proposta no trabalho de WEN & HAN (1995), que se utiliza dos algoritmos genéticos para realizar o processamento de alarmes. Porém, neste trabalho a função realiza o diagnóstico com a utilização de dados pré-processados pela rede neural.

Como a resposta visa minimizar o número de diagnósticos que justifiquem os eventos recebidos, foi utilizada a seguinte função *fitness*:

$$f(Dc) = -k + 6(Nev) + 4(Ndg) \quad (5.1)$$

Onde  $Dc$  (diagnóstico candidato) é o diagnóstico formado a partir da combinação de outros diagnósticos padrão selecionados do indivíduo da população que está sendo testado;  $Nev$  contabiliza a diferença entre os eventos recebidos pelo AG (pré-processados pela GRNN) e os eventos do candidato a ser avaliado ( $Dc$ );  $Ndg$  contabiliza o número de diagnósticos padrão combinados para formar o diagnóstico candidato;  $k$  é uma constante utilizada para garantir que a função seja negativa ( $k = 10^{-3}$ ).

No intuito de obter a solução ótima para o problema foram adotados os seguintes parâmetros e ajustes para o AG:

- O método de seleção foi a “seleção por torneio”;
- Para o cruzamento foi adotado o operador “multi-ponto”, com probabilidade de cruzamento de 0,9;
- Para mutação foi adotado o operador “uniforme”, com probabilidade de mutação de 0,001;
- O tamanho da população inicial foi definida como sendo 1000 indivíduos, e;
- O número de interações igual a 25. Também adotado como critério de parada para a otimização.

A representação cromossomial binária foi utilizada neste trabalho. Os cromossomos foram codificados sob forma de uma cadeia de bits (genes), onde a presença de “1” ou “0”, numa determinada posição, significa a ocorrência ou não de um determinado diagnóstico. O esquema de codificação adotado permite selecionar um domínio finito e limitado para a busca, utilizando apenas o alfabeto binário  $\{0,1\}$ .

Por fim, dados de entrada do AG são os eventos processados pelos módulos neurais durante a simulação da ocorrência de defeitos no sistema elétrico.

## 5.6 Resultados

### 5.6.1 Desempenho da GRNN

A rede foi validada utilizando-se como entrada os dados de treinamento da rede com inserção de erros aleatórios. A Tabela 5.23 apresenta o desempenho da rede GRNN para erros de 0 bit (zero alarme), 1 bit (um alarme), 2 bits (dois alarmes) e 3 bits (três alarmes) em cada módulo neural, conforme amostral descrito no item 5.5.1 deste Capítulo.

Tabela 5.23 – Validação da rede GRNN.

Módulo	Erro em 0 bit		Erro em 1 bit		Erro em 2 bits		Erro em 3 bits	
	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto
Módulo 1 8 Eventos	0,00%	100,00%	11,11%	89,77%	22,22%	60,46%	33,33%	29,70%
Módulo 2 10 Eventos	0,00%	100,00%	9,09%	90,07%	18,18%	66,53%	27,27%	36,85%
Módulo 3 9 Eventos	0,00%	100,00%	9,09%	87,83%	18,18%	66,03%	27,27%	39,98%
Módulo 4 33 Eventos	0,00%	100,00%	7,69%	94,82%	15,38%	80,44%	23,08%	58,78%
	0,00%	100,00%	7,69%	94,82%	15,38%	80,44%	23,08%	58,78%
	0,00%	100,00%	7,69%	94,82%	15,38%	80,44%	23,08%	58,78%
Módulo 5 17 Eventos	0,00%	100,00%	4,76%	95,36%	9,52%	87,76%	14,29%	77,61%
Módulo 6 36 Eventos	0,00%	100,00%	7,69%	94,83%	15,38%	77,39%	23,08%	52,59%
	0,00%	100,00%	7,69%	94,83%	15,38%	77,39%	23,08%	52,59%
	0,00%	100,00%	7,69%	94,83%	15,38%	77,39%	23,08%	52,59%
<b>% Médio 113</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>7,73%</b>	<b>93,57%</b>	<b>15,46%</b>	<b>76,78%</b>	<b>23,19%</b>	<b>54,14%</b>

Verifica-se que para alarmes reportados sem ruído o acerto de todos os módulos neurais foi de 100%, ou seja, sem falha na aquisição de dados o processador identifica corretamente em todos os casos testados o evento que representa a seqüência de alarmes reportados. Para inserção de erro de 1 bit (percentual médio de erro de 7,73) o acerto médio foi de 93,57%. O resultado é devido à alguns eventos apresentarem seqüências de alarmes muito parecidas entre si e que quando sofrem alteração na forma de ruído se aproximam ainda mais em semelhança. Para erros de 2 bits (percentual médio de erro de 15,46) o acerto foi de 76,78%, já para erros de 3 bits (percentual médio de erro de 23,19) o acerto foi de 54,14%.

Com elevados erros inseridos o desempenho da rede caiu significativamente, o que já era de se esperar devido a descaracterização dos eventos.

A seguir tem-se uma visualização gráfica da performance da rede:

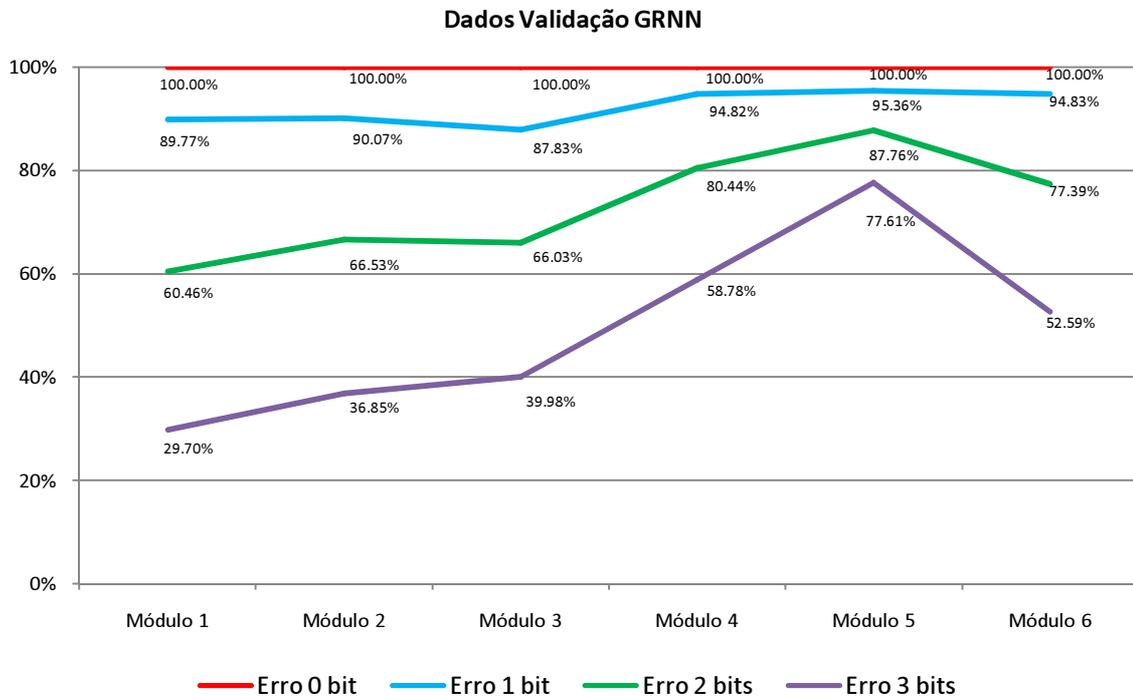


Figura 5.8 – Validação da rede GRNN.

Consegue-se verificar que o módulo de melhor performance é o Módulo 5 (TR-1), isso porque ele apresenta a maior quantidade de alarmes e eventos, então a inserção de erro tem menor representatividade do que em outros módulos. O pior desempenho é visto no Módulo 1 (LT SVI), pois esse apresenta a menor quantidade de alarmes e eventos, o faz com que o erro inserido tenha maior relevância. À medida que o erro inserido vai aumentando a faixa de resultados percentuais para todos os módulos vai aumentando, ficando evidenciado que os módulos que apresentam maior variação de resultado de um erro para outro são os que sofrem maior descaracterização pela semelhança de eventos. Essa avaliação colabora para a identificação de possíveis melhorias na relação dos alarmes acionados durante defeitos no sistema elétrico, podendo-se identificar os módulos mais críticos quanto à assertividade, cabendo a esses uma revisão das proteções (relação de alarmes) de forma a melhorar o desempenho do sistema híbrido.

Como muitos eventos possuem seqüência de alarmes parecidas, em alguns casos, na inserção de erro aleatório nos dados de entrada ocorreu de um evento ser transformado em outro, o que obviamente levou a rede a identificar como resposta o novo evento gerado após a inserção do erro. Nesses casos, para validação, foi considerado como acerto da rede apesar de se estar esperando inicialmente como resposta um evento e se ter obtido outro. Esta regra está computada nos resultados obtidos na Tabela 5.23.

Porém, este novo evento criado durante a inserção de erro é inevitavelmente transmitido ao AG, então para fins de análise de sistema híbrido nesses casos em específico considera-se como erro de processamento da rede neural. Os resultados da rede neural para fins de sistema híbrido e considerando as simulações dos defeitos no sistema elétrico, conforme prevê o item 5.5.1 deste Capítulo, estão descritos na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 – Desempenho da rede GRNN no sistema híbrido.

Módulo	Erro em 0 bit		Erro em 1 bit		Erro em 2 bits		Erro em 3 bits	
	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto
Módulo 1 5 Diag.	0,00%	100,00%	11,11%	84,58%	22,22%	56,25%	33,33%	29,86%
Módulo 2 7 Diag.	0,00%	100,00%	9,09%	85,29%	18,18%	64,36%	27,27%	38,25%
Módulo 3 4 Diag.	0,00%	100,00%	9,09%	76,61%	18,18%	50,06%	27,27%	30,14%
Módulo 4 33 Diag.	0,00%	100,00%	7,69%	83,43%	15,38%	64,31%	23,08%	42,25%
	0,00%	100,00%	7,69%	83,43%	15,38%	64,31%	23,08%	42,25%
	0,00%	100,00%	7,69%	83,43%	15,38%	64,31%	23,08%	42,25%
Módulo 5 15 Diag.	0,00%	100,00%	4,76%	86,35%	9,52%	73,43%	14,29%	58,74%
Módulo 6 36 Diag.	0,00%	100,00%	7,69%	93,01%	15,38%	80,02%	23,08%	52,61%
	0,00%	100,00%	7,69%	93,01%	15,38%	80,02%	23,08%	52,61%
	0,00%	100,00%	7,69%	93,01%	15,38%	80,02%	23,08%	52,61%
<b>% Médio 100 Diag.</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>7,73%</b>	<b>87,23%</b>	<b>15,46%</b>	<b>70,36%</b>	<b>23,19%</b>	<b>47,93%</b>

Na Tabela acima a quantidade de diagnósticos por módulo significa que o defeito ocorreu eletricamente naquele equipamento, mas não necessariamente somente alarmes deste equipamento foram acionados. O erro por defeito foi obtido através da média de erros inserida em cada módulo pertencente ao defeito, fazendo, portanto, a média da média de erros dos diagnósticos do módulo para obtenção do erro equivalente percentual.

Como se verifica, o desempenho da rede cai significativamente devido a semelhança de muitos conjuntos de alarmes, onde a inserção de erro transforma um evento em outro, apesar de não se poder comparar os resultados diretamente com a Tabela 5.23 que utiliza

diferentes entradas de dados. Estes percentuais de acertos apesar de não representarem corretamente a capacidade de processamento de alarmes da rede neural são os dados transmitidos ao algoritmo genético.

### 5.6.2 Desempenho do AG

Para o diagnóstico foram testados os eventos identificados pelos módulos neurais com e sem ruído da Tabela 5.24, sendo os resultados do sistema híbrido descritos na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Desempenho do sistema híbrido.

Módulo	Erro em 0 bit		Erro em 1 bit		Erro em 2 bits		Erro em 3 bits	
	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto	Erro Equiv.	Acerto
Módulo 1 5 Diag.	0,00%	100,00%	11,11%	90,81%	22,22%	64,20%	33,33%	33,20%
Módulo 2 7 Diag.	0,00%	100,00%	9,09%	94,52%	18,18%	74,70%	27,27%	38,41%
Módulo 3 4 Diag.	0,00%	100,00%	9,09%	90,61%	18,18%	62,23%	27,27%	29,51%
Módulo 4 33 Diag.	0,00%	100,00%	7,69%	93,26%	15,38%	69,08%	23,08%	43,87%
	0,00%	100,00%	7,69%	93,26%	15,38%	69,08%	23,08%	43,87%
	0,00%	100,00%	7,69%	93,26%	15,38%	69,08%	23,08%	43,87%
Módulo 5 15 Diag.	0,00%	100,00%	4,76%	91,94%	9,52%	82,84%	14,29%	56,86%
Módulo 6 36 Diag.	0,00%	100,00%	7,69%	95,14%	15,38%	78,09%	23,08%	54,27%
	0,00%	100,00%	7,69%	95,14%	15,38%	78,09%	23,08%	54,27%
	0,00%	100,00%	7,69%	95,14%	15,38%	78,09%	23,08%	54,27%
<b>% Médio 100 Diag.</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>7,73%</b>	<b>93,60%</b>	<b>15,46%</b>	<b>74,26%</b>	<b>23,19%</b>	<b>48,07%</b>

No conjunto de eventos sem inserção de erro, onde todos foram identificados corretamente pelos módulos neurais, o AG acertou 100% dos diagnósticos. Para um erro de 1 bit (percentual médio de erro de 7,73) no conjunto de alarmes reportados pelos módulos neurais o índice de acerto médio de diagnósticos foi de 93,60%.

Para o erro de 2 bits (percentual médio de erro de 15,46) inserido nos alarmes reportados, o acerto é de 74,26%. Para erros de 3 bits (percentual médio de erro de 23,19) o acerto foi de 48,07%. A queda significativa é devido à característica do sistema elétrico, em que poucos eventos são suficientes para caracterizar um diagnóstico, dessa forma alterações em muitos eventos distorcem completamente o diagnóstico.

Verifica-se que o algoritmo genético melhora os resultados apresentados pela rede neural. O AG tem capacidade de receber um conjunto não característico (não padrão) de eventos da rede e associá-lo corretamente ao diagnóstico (conjunto padrão de eventos) que melhor representa este conjunto recebido, podendo-se dizer, portanto, que o sistema híbrido

apresenta boa capacidade de generalização para casos de alarmes não reportados ou reportados indevidamente.

O simulador, implementado no programa MATLAB®, quando testado solicita algumas informações iniciais e a partir delas faz o processamento de alarmes e posteriormente o diagnóstico de faltas, informando ao operador do programa as informações previamente desejadas. Das Figuras 5.9 a 5.12 está descrito, de forma demonstrativa, um defeito ocorrido na LT SVI com inserção de erro de 1 bit em cada módulo neural pertencente ao defeito.

Na Figura 5.9 tem a cópia de tela do Programa GRNN que recebe os alarmes acionados no defeito ocorrido na LT SVI. Inicialmente o simulador solicita a informação de qual defeito ocorreu no sistema elétrico (opções de 1 a 100), sendo apresentados os alarmes do respectivo defeito. Posteriormente o simulador solicita qual erro deseja-se inserir nestes alarmes reportados (opções de 0 a 3), cabendo ressaltar que o erro é inserido em cada módulo neural pertencente ao defeito. Por fim, o simulador identifica quais alarmes pertencem a quais módulos neurais, solicita a informação de quantos amostrais serão testados para este defeito (opções de 1 a  $\infty$ ) e realiza o processamento dos alarmes. No teste da Figura 5.9, optou-se por avaliar o diagnóstico 1, com erro de 1 bit por módulo, sendo portanto acionados alarmes dos Módulos 1 (SVI), 2 (UFSE) e 3 (BARRA). Optou-se também por avaliar uma única amostra e o processador apresentou como resultados os eventos  $e_1$ ,  $e_{15}$ ,  $e_{27}$ .

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
D:\Documents\MESTRADO\Atual\GRNN + GA\K
Shortcuts How to Add What's New

PROGRAMA GRNN - Processamento dos alarmes de entrada
Apresenta como resposta os eventos característicos
que servirão de entrada para os algoritmos genéticos

Digite o defeito ocorrido no sistema: 1
Digite o erro de bit(s) : 1

alarmes_de_entrada =

    2     4     7     8    11    13    28    30    31

modulos =

    111
    222
    333

Digite o tamanho da amostra: 1

Resposta_GRNN_final_geral_amostral =

Columns 1 through 12
    1    15    27     0     0     0     0     0     0     0     0     0

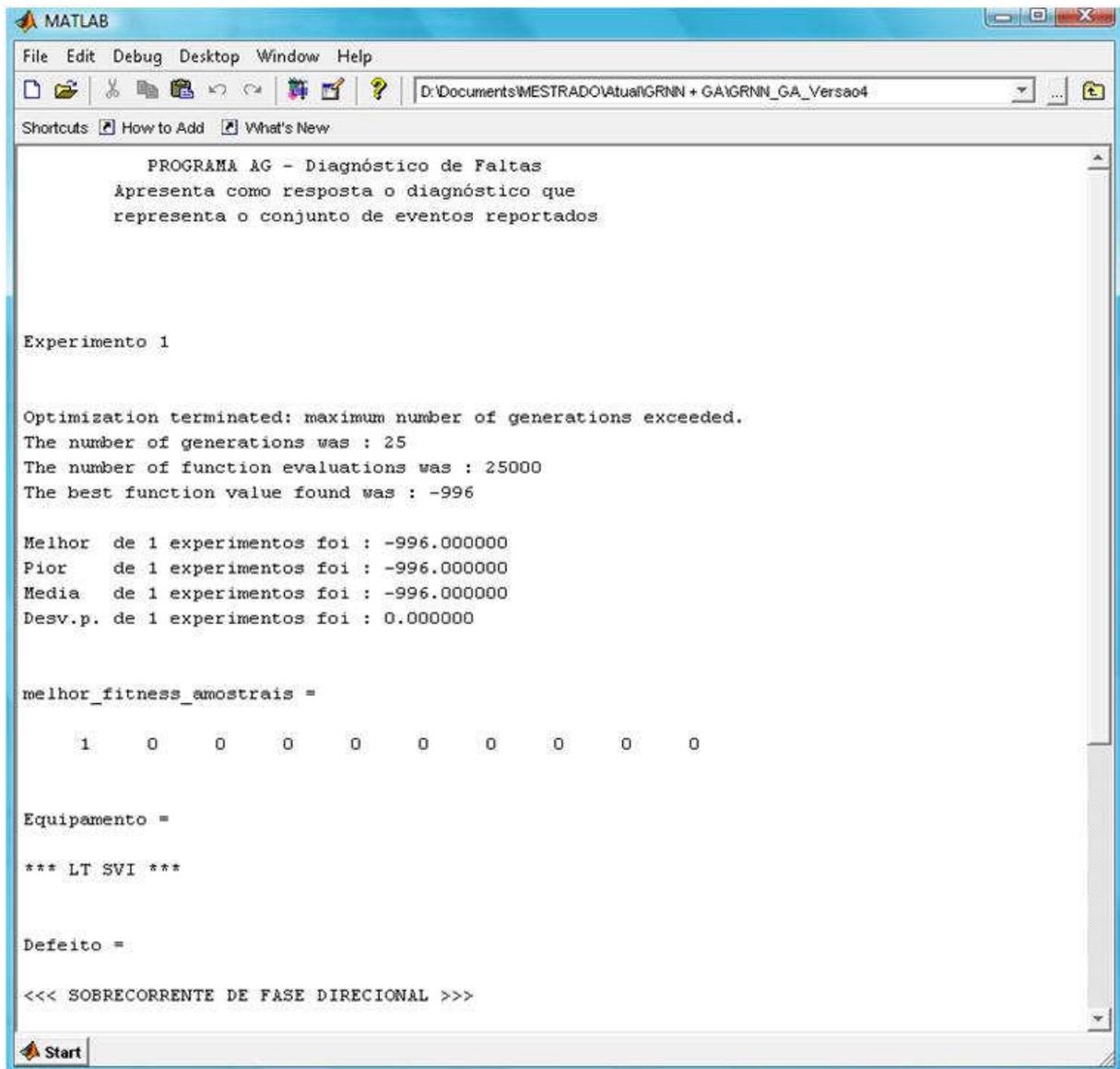
Columns 13 through 15
    0     0     0

```

Figura 5.9 – Cópia de tela do Programa GRNN simulando a ocorrência do diagnóstico 1.

Os dados da saída da rede ( $e_1$ ,  $e_{15}$ , e  $e_{27}$ ) são apresentados ao Programa AG para diagnóstico, conforme se verifica na Figura 5.10. O AG apresenta como resposta (*melhor\_fitness\_amostrais*) o diagnóstico 1, corretamente, como era de se esperar, já que a

rede neural conseguiu generalizar o erro inserido nos alarmes de entrada e apresentou ao AG um conjunto padrão de eventos.



```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
D:\Documents\MESTRADO\Atual\GRNN + GA\GRNN_GA_Versao4
Shortcuts: How to Add What's New

PROGRAMA AG - Diagnóstico de Falhas
Apresenta como resposta o diagnóstico que
representa o conjunto de eventos reportados

Experimento 1

Optimization terminated: maximum number of generations exceeded.
The number of generations was : 25
The number of function evaluations was : 25000
The best function value found was : -996

Melhor de 1 experimentos foi : -996.000000
Pior de 1 experimentos foi : -996.000000
Media de 1 experimentos foi : -996.000000
Desv.p. de 1 experimentos foi : 0.000000

melhor_fitness_amostrais =
    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0

Equipamento =
*** LT SVI ***

Defeito =
<<< SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL >>>

```

Figura 5.10 – Cópia de tela do Programa AG simulando a ocorrência do diagnóstico 1.

Nas Figuras 5.10 e 5.11 o sistema apresentou como diagnóstico: o principal equipamento envolvido no defeito, ou seja, em qual equipamento ocorreu o defeito (LT SVI); o “nome do defeito ocorrido” (SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL); o principal equipamento de proteção envolvido no defeito (RELÉ DE SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL-67); o motivo provável do defeito (QUEDA DE OBJETO, SURTOS ATMOSFÉRICOS OU CURTO CIRCUITO FASE NA LINHA), e; ação corretiva para posterior restauração do sistema elétrico (VERIFICAR CONDIÇÕES DA LINHA, VERIFICAR PROTEÇÃO DE RETAGUARDA OU MANUTENÇÃO NA LINHA).

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
D:\Documents\MESTRADO\Atual\GRNN + GA\GRNN_GA_Versao4
Shortcuts How to Add What's New
Pior de 1 experimentos foi : -996.000000
Media de 1 experimentos foi : -996.000000
Desv.p. de 1 experimentos foi : 0.000000

melhor_fitness_amostrais =

    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0

Equipamento =

*** LT SVI ***

Defeito =

<<< SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL >>>

Principais_equipamentos_envolvidos =

<<< RELÉ DE SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL-67 >>>

Motivo_provavel_do_defeito =

<<< QUEDA DE OBJETO, SURTOS ATMOSFÉRICOS OU CURTO CIRCUITO FASE NA LINHA >>>

Acao_corretiva =

<<< VERIFICAR CONDIÇÕES DA LINHA, VERIFICAR PROTEÇÃO DE RETAGUARDA OU MANUTENÇÃO DA LINHA >>>

>> |

```

Figura 5.11 – Cópia de tela do Programa AG simulando a ocorrência do diagnóstico 1.

A definição de alguns parâmetros utilizados no AG partiu de simulações de desempenho. A Figura 5.12 mostra a avaliação realizada no mesmo exemplo anterior. A função de avaliação, que pode ser vista como a nota dada ao indivíduo na resolução do problema, teve como melhor valor -996, sendo obtido na 21<sup>o</sup> geração (gráfico superior-esquerdo). Verifica-se também que a menor distância média entre os indivíduos foi obtida na 22<sup>o</sup> geração (gráfico inferior-esquerdo), e se manteve até o critério de parada ser atingido na 25<sup>o</sup> geração (gráfico superior-direito).

A simulação de desempenho permite verificar em tempo real (durante a simulação) os pais que estão contribuindo para cada geração e em não havendo um espalhamento suficiente

(apenas alguns pais sendo usados) se pode alterar alguns parâmetros para obter maior diversidade (gráfico inferior-direito).

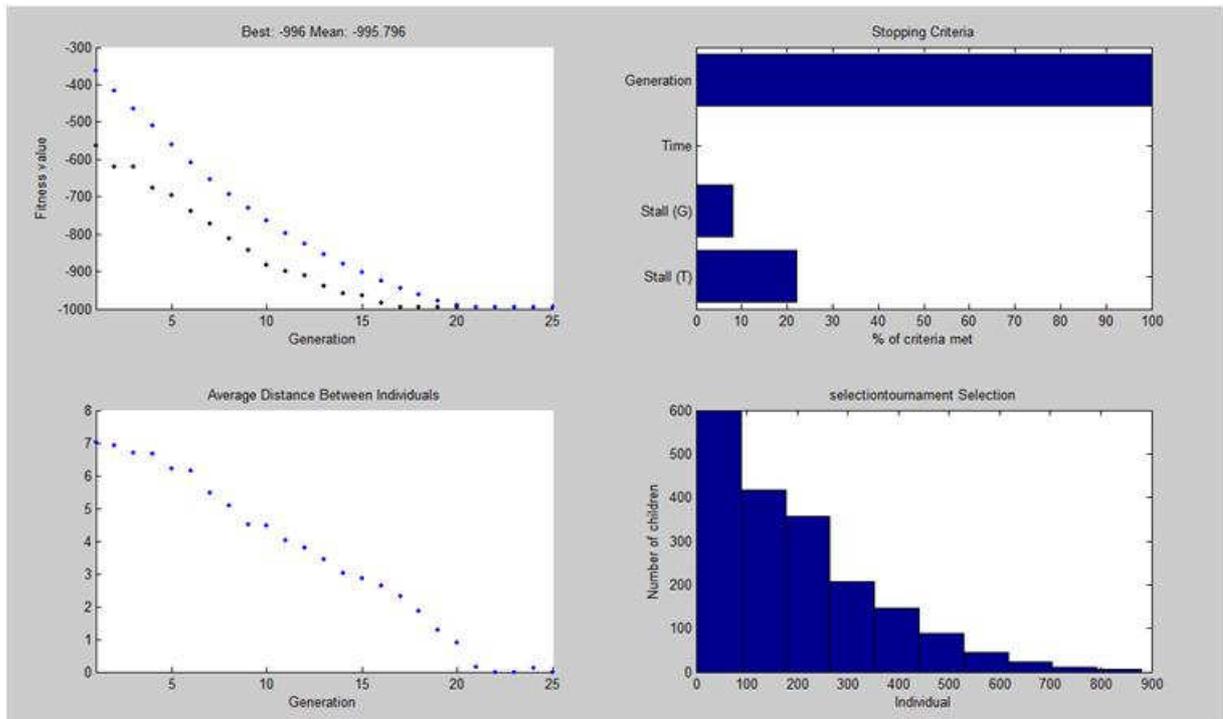


Figura 5.12 - Simulação de desempenho do sistema híbrido para o diagnóstico 1.

O simulador também pode diagnosticar a ocorrência de mais de um defeito simultaneamente no sistema elétrico, podendo apresentar diagnósticos distintos para cada defeito. Nas Figuras 5.13 a 5.15 está representada a simulação da ocorrência do defeito 1 na LT SVI e do defeito 65 no AL-1, simultaneamente. O Programa GRNN recebeu os alarmes de entrada simultaneamente, identificou os módulos neurais envolvidos nos dois defeitos e apresentou os eventos processados ( $e_1$ ,  $e_{15}$ ,  $e_{27}$ ,  $e_{78}$ ). Os eventos então foram direcionados ao Programa AG que efetuou o diagnóstico e apresentou como resultado os diagnósticos 1 e 65.

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
D:\Documents\MESTRADO\Atual\G
Shortcuts How to Add What's New
PROGRAMA GRNN - PROCESSAMENTO DOS ALARMES DE ENTRADA
  Apresenta como resposta os eventos característicos
  que servirão de entrada para os algoritmos genéticos

Digite o erro de bit(s) : 1

alarmes_de_entrada =

  Columns 1 through 10
       2       4       7       8      11      13      28      30      31      92

  Columns 11 through 13
      95      98     100

modulos =

    111
    222
    333
    666

Digite o tamanho da amostra: 1

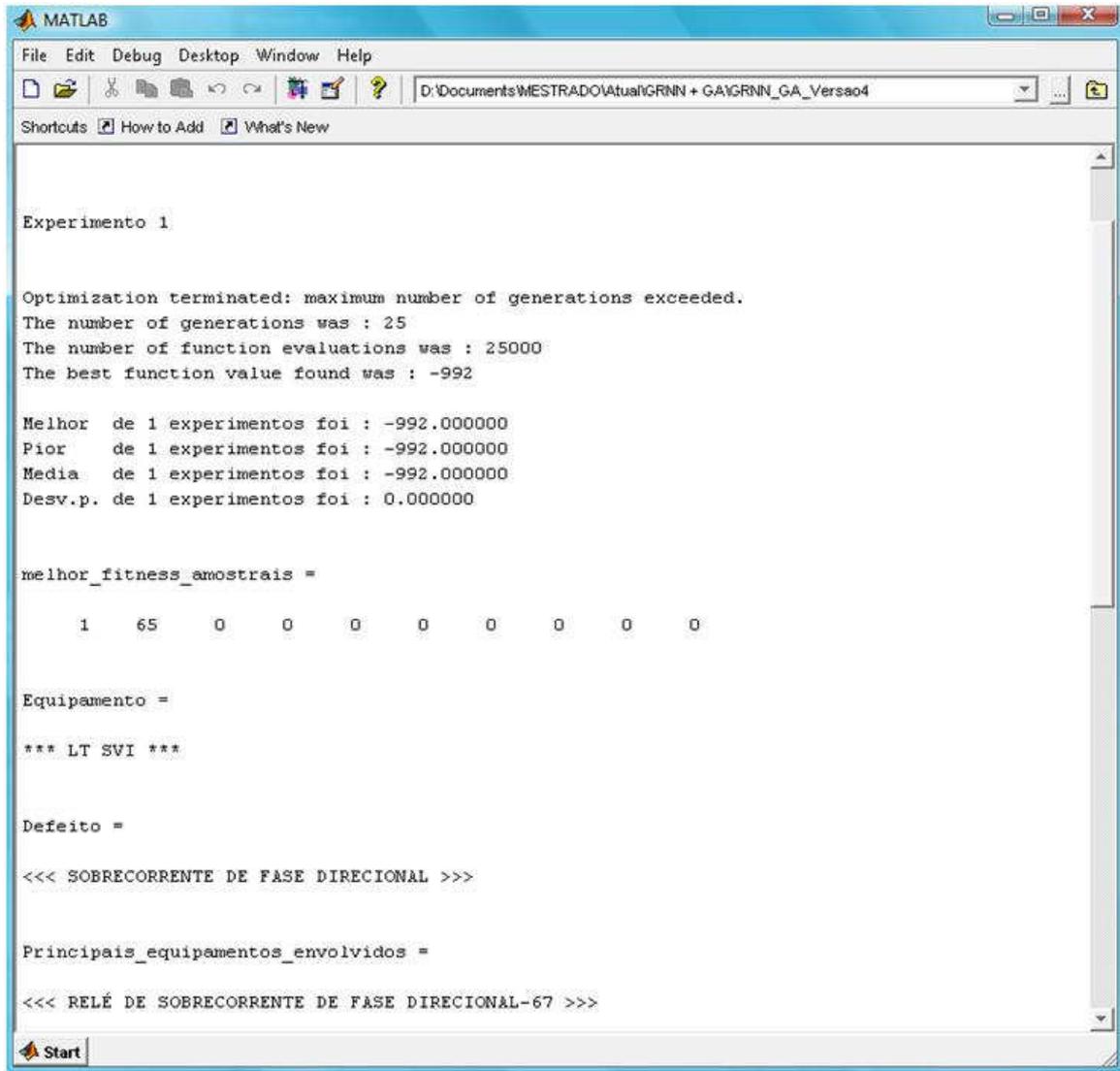
Resposta_GRNN_final_geral_amostral =

  Columns 1 through 10
       1      15      27      78       0       0       0       0       0       0

  Columns 11 through 15
       0       0       0       0       0

```

Figura 5.13 - Simulação de desempenho do sistema híbrido para os Diagnósticos 1 e 65 simultaneamente.



```
MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
D:\Documents\MESTRADO\Atual\GRNN + GA\GRNN_GA_Versao4
Shortcuts How to Add What's New

Experimento 1

Optimization terminated: maximum number of generations exceeded.
The number of generations was : 25
The number of function evaluations was : 25000
The best function value found was : -992

Melhor de 1 experimentos foi : -992.000000
Pior de 1 experimentos foi : -992.000000
Media de 1 experimentos foi : -992.000000
Desv.p. de 1 experimentos foi : 0.000000

melhor_fitness_amostrais =

    1    65     0     0     0     0     0     0     0     0

Equipamento =

*** LT SVI ***

Defeito =

<<< SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL >>>

Principais Equipamentos Envolvidos =

<<< RELÉ DE SOBRECORRENTE DE FASE DIRECIONAL-67 >>>
```

Figura 5.14 - Simulação de desempenho do sistema híbrido para os diagnósticos 1 e 65 simultaneamente.

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
D:\Documents\MESTRADO\Atual\GRNN + GA\GRNN_GA_Versao4
Shortcuts How to Add What's New

Motivo_provavel_do_defeito =
<<< QUEDA DE OBJETO, SURTOS ATMOSFÉRICOS OU CURTO CIRCUITO FASE NA LINHA >>>

Acao_corretiva =
<<< VERIFICAR CONDIÇÕES DA LINHA, VERIFICAR PROTEÇÃO DE RETAGUARDA OU MANUTENÇÃO DA LINHA >>>

Equipamento =
*** AL-1 ***

Defeito =
<<< SOBRECORRENTE DE FASE INSTANTÂNEO >>>

Principais_equipamentos_envolvidos =
<<< RELÉ DE SOBRECORRENTE DE FASE-50 >>>

Motivo_provavel_do_defeito =
<<< CURTO CIRCUITO FASE NO ALIMENTADOR >>>

Acao_corretiva =
<<< VERIFICAR CAUSAS DA ATUAÇÃO DA PROTEÇÃO OU MANUTENÇÃO DO ALIMENTADOR >>>

>>
Start

```

Figura 5.15 - Simulação de desempenho do sistema híbrido para os diagnósticos 1 e 65 simultaneamente.

Cabe ressaltar que fica a cargo do operador do sistema elétrico adotar ou não as recomendações do sistema híbrido, podendo o sistema híbrido também apresentar os alarmes que segundo ele tiverem problemas de aquisição pela unidade terminal remota ou deficiência de operação, isso no intuito de para auxiliar o operador no descarte ou não das informações.

### 5.6.3 Tempo de Processamento

A GRNN se mostrou muito rápida, com tempo de resposta praticamente instantâneo, ou seja, instantes depois da ocorrência do defeito a rede já processou os eventos que representam o conjunto de alarmes reportados. O AG necessita em torno de 40 a 60 segundos

para diagnosticar uma incidência no sistema elétrico, tendo sido utilizado um microcomputador Intel Core2 Duo 1,5 GHz. Esse tempo foi conseguido reduzindo-se o tempo de busca do AG através de um filtro que buscou eliminar do grupo de soluções candidatas os indivíduos da população inicial que não apresentaram pelo menos um evento igual ao conjunto de eventos oriundos da rede neural.

O tempo de resposta obtido é aceitável já que conforme descreve o critério PRODIST da Resolução ANEEL 495, desligamentos com tempos inferiores a 3 minutos não são considerados para computação de indicadores de fornecimento DEC-FEC-DIC-FIC, tendo o operador do sistema em torno de 2 minutos após o diagnóstico do sistema híbrido para operar algum equipamento telecomandável via Centro de Operação antes que a interrupção passe a afetar os indicadores da Concessionária. Cabe frisar, evidentemente, que na grande maioria dos casos o sistema elétrico, via procedimento de segurança, não é restabelecido antes de inspeção em loco se o sistema não aceita os religamentos automáticos, nesse caso não sendo o tempo de resposta do sistema híbrido tão relevante em se tratando de alguns poucos minutos.

## **5.7 Considerações Finais**

Neste Capítulo foi apresentado o sistema teste e a partir do estudo dos diagramas de proteção, dos equipamentos de proteção e de informações passadas por especialistas e operadores do sistema foram apresentadas todas as relações entre alarmes, eventos e diagnósticos que serviram de base para aplicação do sistema híbrido. A partir da obtenção da base de dados foi possível definir todos os parâmetros e ajustes para aplicação dos métodos computacionais. Conforme se verificou nos resultados, a semelhança existente entre os conjuntos de alarmes que formam os eventos ocasiona dificuldades de interpretação por parte de rede quando ocorrem falhas nos alarmes reportados. Para reduzir este impacto utilizou-se do algoritmo genético que foi direcionado para também apresentar capacidade de generalização. A generalização foi obtida através da minimização do número de repostas possíveis para o diagnóstico, pois a tendência do AG é apresentar quantas repostas forem necessárias para contemplar todos os eventos recebidos da rede, mas com a restrição do número de repostas, obtida através dos ajustes dos parâmetros como tamanho da população e número de gerações, o AG buscou associar ao conjunto padrão mais semelhante. O tempo de processamento se mostrou viável para aplicações em tempo real.

## *Capítulo 6*

# CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1 Conclusões

O presente trabalho abordou assuntos relacionados à proteção e operação de Sistemas Elétricos de Potência, mais especificamente, o tratamento de alarmes e diagnóstico de faltas em linhas de transmissão, subestações e alimentadores. Os principais problemas relacionados à interpretação de alarmes oriundos de defeitos no sistema elétrico também foram discutidos, ou seja: acionamento simultâneo de grande quantidade de alarmes, falha de comunicação e atuação indevida de equipamentos de proteção. Estes aspectos interferem diretamente no tempo de restabelecimento do sistema elétrico e na segurança de pessoas e instalações, já que dificultam a identificação da causa do defeito.

Nos últimos anos, a literatura vem apresentando diversos métodos computacionais como solução ao problema, porém até o momento nenhum está consolidado para a aplicação em sistemas reais. Diante disso, este trabalho avaliou o desempenho de um sistema híbrido formado pelas redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos. As principais características identificadas durante o estudo das duas técnicas foi a capacidade de generalização e facilidade de implementação das redes, juntamente com a capacidade do AG em lidar com problemas de natureza combinatorial. Foi possível criar diversos módulos neurais especializados em tratar os alarmes a nível de componente elétrico. O AG foi modelado de forma a permitir que as informações repassadas por cada módulo fossem interpretadas no sentido de apresentar uma explicação em nível de sistema elétrico para a ocorrência.

Os resultados mostram que diagnósticos corretos foram obtidos mesmo em situações onde existem falhas nos sistemas de proteção e comunicação (ausência ou excesso de certas informações). Diagnósticos incorretos foram observados apenas quando a elevada quantidade de ruído descaracterizou o conjunto de alarmes a ser processado pela rede, apesar do AG melhorar os resultados obtidos por ela. O método mostrou ter aplicabilidade para sistemas de maior porte do que o apresentado no trabalho, já que podem ser criados diversos módulos neurais de modo a englobar outros componentes do sistema elétrico, tornando, dessa forma, o tempo de processamento plenamente aceitável. O grande custo em termos de tempo de

processamento está relacionado ao AG e, portanto, é necessário minimizar ao máximo o tamanho da população inicial e dos indivíduos do AG, pois esses interferem diretamente no tempo de processamento do método como um todo. Com relação ao desempenho, pode-se afirmar que quanto maior for o nível de proteção empregado, melhor será o resultado obtido. Esta afirmação vem ao encontro de que quanto mais alarmes estiverem associados aos componentes, maior será a diferença entre os eventos, tornando a tarefa da rede, e por consequência do AG, menos complicada.

Por fim, a inclusão e exclusão de alarmes, eventos e diagnósticos padrão, tanto na rede quanto no AG é simples. A facilidade com que a base de dados pode ser atualizada é importante para que o programa não se torne obsoleto com a empregabilidade de novas tecnologias de proteção e redimensionamentos do sistema elétrico. Além disso, os parâmetros e ajustes de ambos os métodos se apresentaram pouco sensíveis a pequenas alterações na base de dados, não havendo, portanto, necessidade de reavaliá-los em caso de pequenas reconfigurações do sistema.

## **6.2 Sugestões para Futuros Trabalhos**

- Passar o programa para uma linguagem de programação compilada para aplicação prática em um sistema real.
- Juntamente com os especialistas da operação do sistema, fazer uma revisão dos alarmes sinalizados em virtude de uma falta, de modo a verificar a possibilidade de habilitar alguns disponíveis, mas que ainda não são utilizados e desabilitar alguns alarmes menos relevantes para o restabelecimento da energia, isso no intuito de se conseguir uma maior diferenciação entre os conjuntos de alarmes reportados, aumentando a assertividade do diagnóstico.
- Verificar a possibilidade de se desenvolver um algoritmo genético por subestação ou área, de modo a garantir um bom tempo de resposta quando aplicado em sistemas de maior porte.

## BIBLIOGRAFIA

BATISTA, L. B. **Abordagem inteligente para tratamento de alarmes e diagnóstico de falhas em sistemas elétricos**. SIMPASE - Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, São Paulo, Brasil, 2005.

BERNARD, J. P.; DUROCHER, D. **Expert system for fault diagnosis integrated in existing SCADA systems**. IEEE - Power Industry Computer Applications Conference, pp. 313-319, Scottsdale, AZ, USA, 1993.

BI, T. S. **A novel ANN fault diagnosis system for power systems using dual GA loops in ANN training**. IEEE - Power Engineering Soc. Summer Meeting, v. 1, pp. 425-430, July 2000.

BI, T.; NI, Y.; WU, F. **Distributed adaptive fault section estimation system for large-scale power networks**. Proc. Power Eng. Soc. Winter Meeting, v. 2, pp. 1350-1353, 2002.

BIONDI, L. N.; PACHECO, M. A. C.; VELLASCO, M. M. B. R.; PASSOS, E. P. L.; CHIGANER, L. **Sistema híbrido de apoio à decisão para detecção e diagnóstico de falhas em redes elétricas**. III Simpósio Brasileiro de Redes Neurais, pp. 197-204, Brasil, 1996.

BLICKLE, T.; THIELE, L. **A comparison of selection schemes used in genetic algorithms**. Computer Engineering and Communication Networks Lab (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland, 1995.

BRITTES, J. L. P. **Função de apoio ao operador no diagnóstico de atuação do sistema de controle e proteção da subestação**. VI STPC - Seminário Técnico de Proteção e Controle, pp. 1-7, Setembro 1998.

BURRELL, P.; INMAN, D. **An expert system for the analysis of faults in electricity supply networks: problems and achievements**. Computer in Industry, n. 37, pp. 113-123, 1998.

CAMPOCCIA, A. **GA-based feature selection for faults identification in electrical distribution systems**. Int. Conf Electric Power Engineering, pp. 186, August/September 1999.

CANTÚ-PAZ, E. **A survey of parallel genetic algorithms**. pp. 28, 1997.

CARDOSO JR, G.; ROLIM, J. G.; ZUM, H. H. **Application of neural-network modules to electric power system fault section estimation**. IEEE - Trans. Power Delivery, v. 19, pp. 1034- 1041, July 2004.

CARDOSO JR, G.; ROLIM, J. G.; ZUM, H. H. **Diagnóstico de faltas em Sistemas de Potência: definição do problema e abordagens via inteligência artificial**. Revista Controle & Automação, v. 15, n. 2, Abril 2004.

CARDOSO JR, G.; ROLIM, J. G.; ZURN, H. H. **Estimação da seção em falta em Sistemas Elétricos de Potência via redes neurais e sistema especialista difuso em nível de centro do controle**. IX SEPOPE - Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica. Rio de Janeiro, Brasil, Maio 2004.

CARDOSO JR, G. **Estimação da seção em falta em Sistemas Elétricos de Potência via redes neurais e sistemas especialistas realizada em nível de centro de controle**. UFSC, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Florianópolis, Fevereiro 2003.

CATTERSON, V. M.; DAVIDSON, E. M.; MCARTHUR, S. D. J. **Issues in integrating existing multi-agent systems for power engineering applications**. IEEE - 13th International Conference on Intelligent Systems Application to Power Systems, pp. 396-401, November 2005.

CHAN, E. **Using neural network to interpret multiples alarms**. IEEE - Computer Applications in Power, pp. 812-819, Abril 1990.

CHEN, S. M.; KE, J. S.; CHANG, J. F. **Knowledge representation using fuzzy petri nets**. IEEE - Trans. Knowledge and Data Engineering, v. 2, n. 3, pp. 311–319, September 1990.

CHEN, W. H.; LIU, C. W.; TSAI, M. S. **On-line fault diagnosis of distribution substations using hybrid cause-effect network and fuzzy rule-based method.** IEEE - Transactions on Power Delivery, v. 15, n. 2, pp. 710-717, April 2000.

CHEON, S. W.; CHANG, S. H.; CHUNG, H. Y. **Development strategies of an expert system for multiple alarm processing and diagnosis in nuclear power plants.** IEEE - Transactions on Nuclear Science, v. 40, n. 1, pp. 21-30, February 1993.

CHEON, S. W.; CHANG, S. H.; CHUNG, H. Y.; ZEUNG, N. B. **Application of neural networks to multiple alarm processing and diagnosis in nuclear power plants.** IEEE - Transactions on Nuclear Science, v. 40, n. 1, pp. 11-20, February 1993.

CHIN, H.C. **Fault section diagnosis of power system using fuzzy logic.** IEEE - Transactions on Power Systems, v. 18, n. 1, pp. 245-250, February 2003.

CHO, H. J.; PARK, J. K. **An expert system for fault section diagnosis of power systems using fuzzy relations.** IEEE - Trans. Power Systems, v. 12, n. 1, pp. 342-348, February 1997.

CHOW, H.; PARK, J. K. **An expert system for fault section diagnosis of power systems using fuzzy relations.** IEEE - Transactions on Power Systems, v. 12, n. 1, February 1997.

CICHOCKI, A.; UNBEHAUEN, R. **Neural Networks for optimization and signal processing.** John Wiley & Sons Ltd. & B. G. Teubner, Stuttgart, 1993.

CIGRE TF 38-06-02. Convener - DILLON, T. **Survey on expert systems in alarm handling.** Electra, n. 139, pp. 133-147, December 1991.

CIGRE TF 38-06-06. Converter - Niebur, D. **On artificial neural networks applications for power systems.** Neural Network Applications in Power Systems, Int. Journal of Engineering Intelligent Systems, v. 1, n. 3, pp. 133-158, December 1993.

COUTO FILHO, M. B. **Localização de defeitos em sistemas de energia elétrica utilizando sistemas inteligentes.** SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 1999.

DUROCHER, D. **Language: an expert system for alarm processing.** 11th biennial IEEE - Workshop on Power Systems Control Centers, pp. 19-21, 1990.

EL ELA, A. A.; SPEA, S. R. **Optimal corrective actions for power systems using multi-objective genetic algorithms**. *Electrical Power Systems Research*, v. 79, pp. 722-733, 2009.

EL-SAYED, M. A. H.; ALFUHAID, A. S. **ANN-based approach for fast fault diagnosis and alarm handling of power systems**. *APSCOM-00 International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, v. 1, pp. 45-58, 2000.

EPRI - Electric Power Research Institute. **Human Factors Review of Electric Power Dispatch Control Centers**, v. 1-6, EL-1960, Palo Alto, CA, 1960.

FERGANY, A. A. E.; YOUSEF, M. T.; ALAILY, A. A. E. **Fault diagnosis of power systems using binary information of breakers and relays through DPNs**. *PowerCon - Proc. International Conference on Power System Technology*, v. 2, pp. 1122–1126, Kunming, China, October 2002.

FLORES, A.; QUILES, E.; GARCIA, E.; MORANT, F. **New formulation through artificial neural networks in the diagnosis of faults in power systems: a modular approach**. *CERMA'08 – Electronics, Robotics and Automotives Mechanics Conference*, pp. 411-416, October 2008.

FRITZEN, P. C.; ZAUK, J. M.; CARDOSO JR, G.; MORAIS, A. P.; BEZERRA, U. H.; BECK, J. A. P. M. **Processamento de alarmes e diagnóstico de faltas em Sistemas de Potência utilizando a rede GRNN e os algoritmos genéticos**. *IX CBRN - Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, Ouro Preto, MG, Brasil, 2009.

FU, S. **An expert system for on-line diagnosis of system faults and emergency control to prevent a blackout**. *SIPOWER'95 - IFAC Control of Power Plants and Power Systems*, pp. 303-308, Cancun, Mexico, 1995.

GAO, M. M.; ZHOU, M. C.; HUANG, X. G.; WU, Z. M. **Fuzzy reasoning petri nets**. *IEEE - Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A*, v. 33, n. 3, pp. 314– 324, May 2003.

GERS, J. M.; HOLMES, E. J. **Protection of electricity distribution networks**. IEE - 2nd Ed. The Institution of Electrical Engineers, United Kingdom, London, 2004.

GIRGIS, A. A.; JOHNS, M. B. **A hybrid expert system for faulted section identification, fault type classification and selection of fault location algorithms.** IEEE - Trans. Power Delivery, v. 4, n. 2, pp. 978-985, April 1989.

GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization and machine learning.** ISBN 0201157675, 1st. ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Professional, 1989.

GOMI, E. S. **Aplicações de supervisão em sistemas.** Eletricidade Moderna, pp. 31-37, Brasil, Agosto 1990.

GREFENSTETTE, J. J.; GOPAL, R.; ROSMAITA, B. J.; GUCHT, D. V. **Genetic algorithms for the traveling salesman problem.** Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications, pp. 160-168, 1985.

HANDSCHIN, E.; HOFFMANN, W. **Integration of an expert system for security assessment into a energy management system.** Electrical Power & Energy Systems, v. 14, n. 2/3, April/June 1992.

HANDSCHIN, E.; KUHLMANN, D.; HOFFMANN, W. **Fault diagnosis in electrical energy systems using device specific artificial neural networks.** Engineering Intelligent Systems, v. 2, pp. 255-262, December 1994.

HAYKIN, S. - Tradução ENGEL, P. M. **Redes neurais: princípios e práticas.** Segunda edição, Ed. Bookman, Porto Alegre, 2001.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial system.** The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.

HOLLAND, J. H. **Genetic algorithms: computer programs that evolve in ways that resemble natural selection can solve complex problems even their creators do not fully understand.** Scientific American, n. 267, pp. 66-72, July 1992.

HOR, C-L.; CROSSLEY, P. A.; WATSON, S. J. **Building knowledge for substation-based decision support using rough sets.** IEEE – Power Delivery, v. 22, pp. 1372-1379, July 2007.

HOSSACK, J. A.; MENAL, J.; MCARTHUR, S. D. J.; MCDONALD, J. R. **A multiagent architecture for protection engineering diagnostic assistance.** IEEE - Transactions on Power Systems, v. 18, n. 2, May 2003.

HUANG, Y. C. **Fault section estimation in power systems using a novel decision support system.** IEEE - Trans. Power Systems, v. 17, n. 2, pp. 439-444, May 2002.

KANDIL, N.; SOOD, V.; KHORASANI, K.; PATEL, R. **Fault identification in AC-DC transmission system using neural networks.** Transactions of Power Systems, v. 7, n. 2, pp. 812-818, May 1992.

KEZUNOVIC M.; RIKALO I. **Detect and classify faults using neural nets.** IEEE - Computer Application in Power, October 1996.

KEZUNOVIC, M. **Implementation framework of an expert system for fault analysis.** Third Symposium on Expert System Applications to Power Systems, Tokyo, 1991.

KEZUNOVIC, M. Y. G. **Intelligent alarm processing: from data intensive to information rich.** HICSS '09 - 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-8, January 2009.

KIM, K. H.; PARK, J. K. **Application of hierarchical neural networks to faults diagnosis of power systems.** Electrical Power & Energy Systems, v. 15, n. 2, pp. 65-70, Abril 1993.

KIRSCHEN, D. S.; WOLLENBERG, B. F. **Intelligent alarm processing in power systems.** Proceedings of IEEE, v. 80, n. 5, pp. 663-672, May 1992.

KRÖSE, B. J. A.; SMAGT, P. P. V. D. **An introduction to neural networks.** University of Amsterdam. Amsterdam, 7th edition, December 1995.

LAMBERT-TORRES, G.; FONSECA, E. F.; COUTINHO, M. P.; ROSSI, R. **Intelligent alarm processing.** IEEE - International Conference on Power system Technology, 2006.

LAMBERT-TORRES, G.; VALIQUETTE, B.; MUKHLDKAR, D. **An expert system based diagnosis and advisor tool for teaching power systems operation emergency control strategies.** IEEE - Transactions on Power Systems, v. 6, n. 3, pp. 1315-1322, August 1991.

LEÃO, F. B.; DA SILVA, L. G. W.; MANTOVANI, J. R. S. **Localização de faltas em sistemas de energia elétrica através de um modelo de programação binária e algoritmo genético.** XVI CBA, 2006.

LEÃO, F. B.; PEREIRA, R. A. F.; MANTOVANI, J. R. S. **Fault section estimation in electric power systems using an artificial immune system algorithm.** International Journal of Innovations in Energy Systems and Power, v. 14, n. 1, April 2009.

LEÃO, F.; SILVA, L.; MANTOVANI, J. **Defects location in power systems components through a dedicated genetic algorithm.** Proceedings of the IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Latin America, ISBN 0-7803-8775-9, pp. 57-62, November 2004.

LEE, H. J.; PARK, D. Y.; AHN, B. S.; PARK, Y. M.; PARK, J. K.; VENKATA, S. S. **A fuzzy expert system for the integrated fault diagnosis.** IEEE - Transactions on Power Delivery, v. 15, n. 2, pp. 833-838, April 2000.

LEE, H.; AHN, B.; PARK, Y. **A fault diagnosis expert system for distribution substations.** IEEE - Transactions on Power Delivery, v. 15, n. 1, pp. 92- 97, January 2000.

LEFEVRE, M. A. P. **Sistemas inteligentes e sua aplicação na operação de ITAIPU Binacional.** XIII SNPTEE, pp. 01-06, Florianópolis, Brasil, 1995.

LI, J-Q.; WANG, S-L.; NIU, C-L.; LIU, J-Z. **Research and application of data mining technique in power plant.** ISCID'08 – Computational Intelligence and Design, v.2, pp. 250-253, October 2008.

LIEPINS, F. E.; HILLIARD, M. R.; RICHARDSON, J.; PALMER, M. **Genetic algorithms applications to set covering and traveling salesman problems.** Operations Research and Artificial Intelligence: The Integration of Problem Solving Strategies. D.E. Brown & C.C. White Ed. 29-57, 1990.

LIN, W. M.; LIN, C. H.; SUN, Z. C. **Alarm processing for loop system with probabilistic network.** IEEE - Transactions on power delivery, v. 19, n. 1, pp. 64-69, January 2004.

LIN, X.; KE, S.; LI, Z.; WENG, H.; HAN, X. **A fault diagnosis method of power systems based on improved objective function and genetic algorithm – tabu search.** IEEE – Power Delivery, v. PP, n. 99, April 2010.

LINDEN, R. **Algoritmos genéticos: uma importante ferramenta da inteligência computacional**, 2º Edição, Ed Brasport, 2008.

LIPPMANN, R. P. **An introduction to computing with neural nets.** IEEE, ASSP Magazine, pp. 4-22, April 1987.

LIU, C. C.; TOMSOVIC, K. L. **An expert system as a dispatchers aid for the isolation of line section faults.** IEEE - Transactions on Power Delivery, v. PWRD-2, n. 3, July 1987.

LIU, S.; MENG, X. **The application of self immune genetic arithmetic in fault diagnose of electric system.** AICI'09 – Artificial Intelligence and Computational Intelligence, v.4, pp. 565-569, November 2009.

LO, K. L.; NG, H. S.; GRANT, D. M.; TRECANT, J. **Extended petri-net models for fault diagnosis for substation automation.** IEE - Proc. Generation, Transmission and Distribution, v. 146, n. 3, pp. 229– 234, May 1999.

LOBO, F. M. P. G. **The parameter-less Genetic algorithm: rational and automated parameter selection for simplified genetic algorithm operation.** Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, Portugal, 2000.

LUO, X.; KEZUNOVIC, M. **Implementing fuzzy reasoning petri nets for fault section estimation.** IEEE - Trans. Power Delivery, v. 23, n. 2, pp.676-685, April 2008.

MACHADO, T. M.; MORAIS, A. P.; CARDOSO JR, G.; ZAUK, J. M.; FRITZEN, P. C.; BOLZAN, E. R. **Análise comparativa do desempenho de várias arquiteturas de redes neurais artificiais aplicadas ao processamento de alarmes.** IX Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Ouro Preto, MG, Outubro 2009.

MANOJ, T. V.; LEENA, J.; SONEY, R. B. **Knowledge representation using fuzzy petri nets revisited.** IEEE - Trans. Knowledge and Data Eng., v. 4, n. 10, pp. 666–667, July 1998.

MAZON, A. J.; ZAMORA, I. J. G.; BILBAO, J. J. R. S. **Falneur: artificial neural network based software to fault location in electrical transmission lines.** IASTED - International Conference on Applied Informatics (AI2001), Innsbruck, Austria, February 2001.

MCARTHUR, S. D. J; DAVIDSON, E. M.; CATTERSON, V. M. **Building multi-agent systems for power engineering applications.** IEEE - Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-7, June 2006.

McCULLOCH, W; PITTS, L. **A logical calculus of ideas immanent in nervous activity.** Bulletin of Mathematical Biophysics v. 5, pp. 115-133, 1943.

MCNELIS, P.; DUFFY, J. **Approximating and simulating the stochastic growth model: parameterized expectations.** Neural Networks, and the Genetic Algorithm, April 1998.

MENEZES, R. S.; CURTARELLI, S. R.; ADORNI, C. Y. K. O.; DE SOUZA, J. M. **Sistema de processamento de alarmes para uso no centro de operação do sistema da CPFL.** XX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, v. 1, Recife, PE, 2009.

MEZA, E. B. M.; SOUZA, J. C. S.; SCHILLING, M. TH.; FILHO, M. B. D. C. **Utilização de um modelo neuro-fuzzy para a localização de defeitos em Sistemas de Potência.** Revista Controle & Automação, v.17, n. 1, Janeiro 2006.

MEZA, E. M. **Exploring fuzzy relations for alarm processing and fault location in electrical Power systems.** IEEE - Proc. Porto Power Tech, v. 3, Porto, Portugal, 2001.

MIN, S. **Adaptative fault section estimation using matrix representation with fuzzy relations.** IEEE - Trans. Power Delivery, v. 19, pp. 842–848, 2004.

MITRA, S.; HAYASHI, Y. **Neuro-fuzzy rule generation: survey in soft computing framework.** IEEE - Trans. Neural Networks, v. 11, pp. 748-768, May 2000.

MURATA, T. **Petri Nets: properties, analysis and applications.** Proceedings of the IEEE, Invited paper, v. 77, n. 4, pp. 541-580, April 1989.

NAVARRO DA SILVA, V. A. L.; ZEBULUM, R. S. **An integration of neural networks and fuzzy logic for power systems diagnosis.** ISAP96 - Intelligent Application to Power Systems, pp. 237-241, Orlando, EUA, January 1996.

NEGNEVITSKY, M.; PAVLOVSKY, V. **Neural networks approach to online identification of multiple failures of protection systems.** IEEE - Trans. Power Delivery, v. 20, pp. 588–594, 2005.

NEIS, P. **Processamento de alarmes em Sistemas Elétricos de Potência utilizando algoritmos genéticos.** In: VI SIMPASE. Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos. São Paulo, SP, Brasil, 2005.

PARK, D. Y.; AHN, B. S.; KIM, S. H. **Dealing uncertainties in the fault diagnosis system.** ISAP'99 - Intelligent System Application Power Systems, pp. 273-277, Rio de Janeiro, Brazil, April 1999.

PARK, M. Y.; LEFLEY, M.; RAMSAY, B.; MOYES, I. **An abductive fuzzy knowledge based system for fault diagnosis in a power system.** IEEE, pp. 345-350, 2000.

PAUL, S.; KUMAR, S. **Subsethood-product fuzzy neural inference system (SuPFuNIS).** IEEE - Trans. On Neural Networks, v. 13, n. 3, pp. 578-599, 2002

PFAU-WAGENBAUER, M.; BRUGGER, H. **Model and rule based intelligent alarm processing.** Proceedings of the Third Symposium on Expert Systems Application to Power Systems, pp. 27-32, Tokyo-Kobe, Japan, April 1991.

REN, H.; MI, Z. Q.; ZHAO, H. S.; YANG, Q. X. **Fault diagnosis for substation automation based on petri nets and coding theory.** IEEE - Power Engineering Society General Meeting, v. 1, pp. 1038–1042, Denver, CO, June 2004.

RIBEIRO, G. M.; TORRES, G. L.; ALVES DA SILVA, A. P. **Expert system in power substation operation and control.** IV SEPOPE, pp. 23-27, Brasil, Maio 1994.

RIGATOS, G.; SIANO, P.; PICCOLO, A. **Neural network-based approach for early detection of cascading events in electric Power systems.** IEEE – Generation, Transmission & Distribution, v.3, pp. 650-665, July 2009.

RODRIGUES, M. A. P.; SOUZA, J. C. S.; SCHILLING, M. T. **Building local neural classifiers for alarm handling and fault location in electrical power systems.** Proceeding of the ISAP'99, pp. 157- 161, Rio de Janeiro, Brazil, April 2001.

SAKAGUCHI, T.; MATSUMOTO, K. **Development of a knowledge based system for power system restoration.** v. PAS-102, n. 2, February 1983.

SAMPAIO, R. F.; BARROSO, G. C; LEÃO, R. P. S. **An advanced function for the supervisory system of an electrical distribution substation: an application using colored petri nets.** IASTED - International Conference on Modeling and Simulation, v. 1, pp. 192-197, California, USA, February 2003.

SCHAEDLER, C. A.; BECKER, M.; DREWS, I.; GASPARETO, O. **Redes neurais.** Unisinos, São Leopoldo, 2003.

SILVA, A. P. A.; INSFRAN, A. H. F.; SILVEIRA, P. M.; LAMBERT- TORRES, G. **Neural networks for fault location on substations.** IEEE - PES Summer Meeting, pp. 23-27, Portland, OR, July 1995.

SILVA, V.; RIBEIRO, G.; LINDEN, R.; SILVA, L.; MEDEIROS, C. **Sistemas inteligentes híbridos para diagnose no COI da COSERN.** VII STPC, Rio de Janeiro, 2003.

SOUZA, J. C. S. **Alarm processing in electrical power systems through a neuro- fuzzy approach.** IEEE - Trans. Power Delivery, v. 19, pp. 537-544, 2004.

SOUZA, J. C. S.; RODRIGUES, M. A. P.; SCHILLING, M. T.; DO COUTTO FILHO, M. B. **Fault location in electrical power systems using intelligent systems techniques.** IEEE - Transactions on Power Delivery, n.1, pp. 59-67, January 2001.

SPECHT, D. F. **A General regression neural network.** IEEE Transactions on Neural Networks, v. 2, n. 6, pp. 558–576, November 1991.

SPECHT, D. F. **Probabilist neural networks for classification, mapping or associative memory.** Proc. IEEE International Conference on Neural networks, v. 1, pp. 525-532, June 1988.

SUN, J.; QIN, S.; SONG, Y. **Fault diagnosis of electric power systems based on fuzzy petri nets**. IEEE - Transactions on Power Systems, v. 19, n. 4, pp. 2053-2059, November 2004.

TAM, K. Y. **Genetic algorithm, function optimization, and facility layout design**. European Journal of Operational Research, 63: 322-340, 1992.

TAN, J. C. **Fuzzy expert system for on-line fault diagnosis on a transmission network**. IEEE - Power Engineering Soc. Winter Meeting, v. 2, pp. 775-780, January/February 2001.

TANAKA, H.; MATSUDA, S.; OGI, H.; ISUI, Y.; TAOKA, H.; SAKAGUCHI, T. **Design and evaluation of neural networks for fault diagnosis**. Second Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, pp. 669-694, July 1989.

TANOMARU, J. **Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos**. In: II Congresso Brasileiro de Redes Neurais, Anais. Curitiba, PR, Brasil, 1995.

TOLLER, M. B.; CARDOSO JR, G.; MORAES, A. P. **Desenvolvimento de um protótipo para o tratamento de alarmes e diagnóstico de falhas em redes elétricas**. CLAGTEE - 8th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, Ubatuba, SP, Brazil, October 2009.

TOLLER, M. B.; CARDOSO JR, G.; MORAES, A. P. **Proposta de um método para o tratamento de alarmes e diagnóstico de faltas em nível de subestação**. SBSE – Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Belém, PA, Brasil, Maio 2010.

VALE, Z. A.; FERNANDES, M. F. **Better KBS for real-time applications in power system control centers: the experience of the SPARSE project**. Computers in Industry, n. 37, pp. 97-111, 1998.

VALE, Z. A.; RAMOS, C. **Temporal reasoning in AI applications for Power System Control Centers**. SIPOWER'95 - In: IFAC Control of Power Plants and Power Systems, pp. 297-302 Cancun, Mexico, 1995.

VAZQUEZ, E. M.; CHACON, O. L. M.; ALTUVE, H. J. F. **An on-line expert system for fault section diagnosis in power systems.** IEEE - Trans. Power Systems, V. 17, n. 2, pp. 439-444, May 2002.

VELLASCO, M. B. R. **Redes neurais artificiais.** PUC-RJ, 1995.

VIANNA, D. S. **Heurísticas híbridas para o problema de filogenia. Tese de Doutorado.** Departamento de Informática, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004.

WALKER, W. **Application of the set covering problems to the assignment of ladder trucks to fire houses.** Operations Research, 22: 275-277, 1974.

WANG, W.; BAI, X.; ZHAO, W.; DING, J.; FANG, Z. **A multilayer and distributed alarm processing and fault diagnosis system based on multiagent.** IEEE/PES - Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China, pp. 1-6, August, 2005.

WANG, Y.; LIU, Z.; LI, H. **Fault diagnosis with hybrid integrated neural network.** J. Beijing Univ. Chem. Technol, pp. 65-68, 2003.

WEN, F. S.; CHANG, C. S. **Probabilistic approach for fault-section estimation in power systems based on a refined genetic algorithm.** IEE - Proc. Gener. Transm. Distrib., v. 144, no. 2, p. 160-168, March 1997.

WEN, F. S.; CHANG, C. S. **Tabu search approach to alarm processing in power systems.** IEE - Proc. Gener. Transm. Distrib, v. 144, n. 1, pp. 160-168, January 1997.

WEN, F. S.; HAN, Z. **Fault section estimation in power systems using a genetic algorithm.** Electric Power Systems Research, pp. 165-172, 1995.

WU, Y.; KEZUNOVIC, M. **An advanced alarm processor using two-level processing structure.** Power Tech, IEEE Lausanne, pp. 125-130, July 2007.

XIAO-LONG, Q.; RAN, L. **Fault diagnosis of transmission network using fuzzy petri nets.** IEEE - Power Tech, pp. 1802-1806, July 2007.

YAGANG, Z.; JINFANG, Z.; JING, M.; ZEMGPLING, W. **Fault detection based on data mining theory.** ISA - Intelligent Systems and Applications, pp. 1-4, June 2009.

YAGANG, Z.; JINFANG, Z.; JING, M.; ZEMGPLING, W. **Fault diagnosis based on BFS in electric power system.** International Conference Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA'09, v.1, pp. 643-646, April 2009.

YANG, C. L.; YOKOYAMA, A. **Fault section estimation of power system using color time petri nets.** Electric Engineering in Japan, v. 115, n. 2, pp. 89-101, 1995.

YANG, H. T.; CHANG, W. Y.; HUANG, C. L. **A new neural network approach to on-line fault section estimation using information of protective relays and circuit breakers.** IEEE - Transaction on Power Delivery, v. 9, n. 1, pp. 220-229, January 1994.

ZHANG, Q.; HAN, Z.; WEN, F. **A new approach for fault diagnosis and alarm processing in power system based on rough set theory.** Chin. Power, pp.32-38, 1998.

ZHANG, Z.; SUN, Y. **Assessment on fault-tolerance performance using neural network model based on ant colony optimization algorithm for fault diagnosis in distribution systems of electric power systems.** SNPD – Eighth ACIS International Conference on Software Engineering Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, v. 2, pp. 712-716, August 2007.

ZHAO, W.; BAI, X.; WANG, W.; DING, J. **A novel alarm processing and fault diagnosis expert system based on BNF rules.** IEEE/PES - Transmission and distribution conference & exhibition: Asia and Pacific, Dalian, China, 2005.

ZHU, J. L.; DAVID, L. **Objected-oriented development of software systems for power system simulations.** IEEE - Transactions on Power Systems. v. 12, n. 2, pp. 1002-1007, May 1997.

ZHU, Y. L.; YANG, Y. H.; HOGG, B. W.; ZHANG, W. Q.; GAO, S. **An expert system for power systems fault analysis.** IEEE - Trans. Power Systems, v. 9, n. 1, pp. 503-509, February 1994.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A

### LINHA DE TRANSMISSÃO SVI

#### Diagnóstico 1

**Defeito:** Sobrecorrente de fase direcional.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase direcional-67.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito fase na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha.

#### Diagnóstico 2

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro direcional.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro direcional-67.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha.

#### Diagnóstico 3

**Defeito:** Sobrecorrente de fase direcional, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase direcional-67, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito fase na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha, verificar ajuste ou manutenção do disjuntor de linha.

#### Diagnóstico 4

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro direcional, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro direcional-67, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha, verificar ajuste ou manutenção do disjuntor de linha.

### **Diagnóstico 5**

**Defeito:** Defeito na proteção da linha SVI.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé anomalia proteção.

**Motivo provável do defeito:** Defeito em relé ou equipamento de proteção, defeito na comunicação, falta de alimentação cc.

**Ação corretiva:** Manutenção do equipamento ou relé de proteção, verificar comunicação, verificar baterias.

## **LINHA DE TRANSMISSÃO UFSE**

### **Diagnóstico 6**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase direcional.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase direcional-67.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito fase na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha.

### **Diagnóstico 7**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro direcional.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro direcional-67.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha.

**Diagnóstico 8**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase direcional, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase direcional-67, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito fase na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha, verificar ajuste ou manutenção do disjuntor de linha.

**Diagnóstico 9**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro direcional, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro direcional-67, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, verificar proteção de retaguarda ou manutenção da linha, verificar ajuste ou manutenção do disjuntor de linha.

**Diagnóstico 10**

**Defeito:** Defeito na proteção da linha UFSE.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé anomalia proteção.

**Motivo provável do defeito:** Defeito em relé ou equipamento de proteção, defeito na comunicação, falta de alimentação cc.

**Ação corretiva:** Manutenção do equipamento ou relé de proteção, verificar comunicação, verificar baterias.

**Diagnóstico 11**

**Defeito:** Falta de sincronismo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de medição de ângulo de fase-78.

**Motivo provável do defeito:** barramento desenergizado sem tensão de referência, Defeito no relé de sincronismo.

**Ação corretiva:** Verificar energização da barra, ajuste ou manutenção do relé de sincronismo.

**Diagnóstico 12**

**Defeito:** Sub/sobrefrequência na geração da UFSE.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sub/sobrefrequência-81.

**Motivo provável do defeito:** Variação de frequência na tensão de geração da UFSE, operação indevida do relé de frequência.

**Ação corretiva:** Verificar frequência de geração da Usina, verificar relé de frequência.

**BARRAMENTO 69KV****Diagnóstico 13**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Proteção de Barras.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos, sobrecarga ou curto circuito fase no barramento.

**Ação corretiva:** Verificar condições do barramento, verificar proteção de retaguarda ou manutenção dos barramentos.

**Diagnóstico 14**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50N, Proteção de Barras.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos, curto circuito a terra no barramento.

**Ação corretiva:** Verificar condições do barramento, verificar proteção de retaguarda ou manutenção dos barramentos.

**Diagnóstico 15**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Proteção de Barras.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga no barramento ou curto circuito fase nas linhas de transmissão carga.

**Ação corretiva:** Verificar proteção de retaguarda, redução de carga, manutenção no barramento ou nos sistemas adjacentes avariados.

**Diagnóstico 16**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51N, Proteção de Barras.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases ou curto circuito a terra no barramento, curto circuito a terra nas linhas de transmissão carga.

**Ação corretiva:** Verificar proteção de retaguarda, redução de carga por fase, manutenção nos sistemas adjacentes avariados.

**LINHA DE TRANSMISSÃO SFR****Diagnóstico 17**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

**Diagnóstico 18**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

**Diagnóstico 19**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

#### **Diagnóstico 20**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

#### **Diagnóstico 21**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

#### **Diagnóstico 22**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

**Diagnóstico 23**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

**Diagnóstico 24**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

**Diagnóstico 25**

**Defeito:** Sobrecarga.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga ou curto circuito de alta impedância na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, redução de carga ou manutenção na linha.

**Diagnóstico 26**

**Defeito:** Desequilíbrio de fase.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51N.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases ou curto circuito de alta impedância na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, redistribuição de carga por fase ou manutenção na linha.

**Diagnóstico 27**

**Defeito:** Defeito na proteção.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé anomalia proteção.

**Motivo provável do defeito:** Defeito em relé ou equipamento de proteção, defeito na comunicação, falta de alimentação cc.

**Ação corretiva:** Manutenção do equipamento ou relé de proteção, verificar comunicação, verificar baterias.

**LINHA DE TRANSMISSÃO SPE****Diagnóstico 28**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

**Diagnóstico 29**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

**Diagnóstico 30**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

### **Diagnóstico 31**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

### **Diagnóstico 32**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

### **Diagnóstico 33**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

### **Diagnóstico 34**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

### **Diagnóstico 35**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

### **Diagnóstico 36**

**Defeito:** Sobrecarga.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga ou curto circuito de alta impedância na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, redução de carga ou manutenção na linha.

### **Diagnóstico 37**

**Defeito:** Desequilíbrio de fase.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51N.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases ou curto circuito de alta impedância na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, redistribuição de carga por fase ou manutenção na linha.

### **Diagnóstico 38**

**Defeito:** Defeito na proteção.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé anomalia proteção.

**Motivo provável do defeito:** Defeito em relé ou equipamento de proteção, defeito na comunicação, falta de alimentação cc.

**Ação corretiva:** Manutenção do equipamento ou relé de proteção, verificar comunicação, verificar baterias.

## **LINHA DE TRANSMISSÃO SAN**

### **Diagnóstico 39**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

### **Diagnóstico 40**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

### **Diagnóstico 41**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

#### **Diagnóstico 42**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Relé de Distância-21.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha.

#### **Diagnóstico 43**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

#### **Diagnóstico 44**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

#### **Diagnóstico 45**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito entre fases na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

#### **Diagnóstico 46**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado, falha DJ.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Relé de Distância-21, Falha Disjuntor de Linha.

**Motivo provável do defeito:** Queda de objeto, surtos atmosféricos ou curto circuito a terra na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, eliminar falha em circuitos adjacentes ou manutenção na linha, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor da linha.

#### **Diagnóstico 47**

**Defeito:** Sobrecarga.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga ou curto circuito de alta impedância na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, redução de carga ou manutenção na linha.

#### **Diagnóstico 48**

**Defeito:** Desequilíbrio de fase.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51N.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases ou curto circuito de alta impedância na linha de transmissão.

**Ação corretiva:** Verificar condições da linha, redistribuição de carga por fase ou manutenção na linha.

#### **Diagnóstico 49**

**Defeito:** Defeito na proteção.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé anomalia proteção.

**Motivo provável do defeito:** Defeito em relé ou equipamento de proteção, defeito na comunicação, falta de alimentação cc.

**Ação corretiva:** Manutenção do equipamento ou relé de proteção, verificar comunicação, verificar baterias.

## **TRANSFORMADOR TR-1**

### **Diagnóstico 50**

**Defeito:** Curto circuito interno transformador.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé Buchholz-63, Relé Diferencial-87.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito entre os enrolamentos internos ou arco nas buchas.

**Ação corretiva:** Troca das buchas ou manutenção do transformador.

### **Diagnóstico 51**

**Defeito:** Curto circuito interno transformador, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé Buchholz-63, Relé Diferencial-87, Falha Disjuntor TR.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito entre os enrolamentos internos ou arco nas buchas.

**Ação corretiva:** Troca das buchas, proteção contra incêndio ou manutenção do transformador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do transformador.

### **Diagnóstico 52**

**Defeito:** Curto circuito interno comutador.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé Buchholz-63, Relé de Nível-71.

**Motivo provável do defeito:** Alta resistência de contato no comutador, problema na conexão das chaves seletoras, condutores abertos.

**Ação corretiva:** Verificar resistência dos contatos, conexões e condutores, manutenção do comutador.

### **Diagnóstico 53**

**Defeito:** Curto circuito interno comutador, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé Buchholz-63, Relé de Nível-71, Falha Disjuntor TR.

**Motivo provável do defeito:** Alta resistência de contato no comutador, problema na conexão das chaves seletoras, condutores abertos.

**Ação corretiva:** Verificar resistência dos contatos, conexões e condutores, manutenção do comutador.

#### **Diagnóstico 54**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no barramento 23kV ou na saída do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, verificar proteção de retaguarda, manutenção do transformador ou sistema elétrico adjacente.

#### **Diagnóstico 55**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49, Falha Disjuntor TR.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no barramento 23kV ou na saída do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, verificar proteção de retaguarda, manutenção do transformador ou sistema elétrico adjacente, verificar ajuste ou manutenção do disjuntor do transformador.

#### **Diagnóstico 56**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no barramento 23kV ou na saída do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, verificar proteção de retaguarda, manutenção do transformador ou sistema elétrico adjacente.

#### **Diagnóstico 57**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49, Falha Disjuntor.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no barramento 23kV ou na saída do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, verificar proteção de retaguarda, manutenção do transformador ou sistema elétrico adjacente, verificar ajuste ou manutenção do disjuntor do transformador.

#### **Diagnóstico 58**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase ou sobrecarga no sistema elétrico adjacente (barra 23kV ou alimentadores).

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, verificar proteção de retaguarda, remanejamento de carga, manutenção do transformador ou sistema elétrico adjacente.

#### **Diagnóstico 59**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51N, Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra ou desequilíbrio de fase no sistema elétrico adjacente (barra 23kV ou alimentadores).

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, verificar proteção de retaguarda, redistribuição de carga por fase, manutenção do transformador ou sistema elétrico adjacente.

**Diagnóstico 60**

**Defeito:** Sobrecarga.

**Principais equipamentos envolvidos:** Termopares, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura, Relé de imagem térmica-49.

**Motivo provável do defeito:** Aquecimento anormal provocado por sobrecarga dos sistemas adjacentes.

**Ação corretiva:** Aliviar a carga do transformador, verificar nível de óleo, verificar proteção de retaguarda ou manutenção do transformador.

**Diagnóstico 61**

**Defeito:** Problemas no isolante do transformador – advertência.

**Principais equipamentos envolvidos:** Termopares, Termômetros, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperatura.

**Motivo provável do defeito:** Deterioração do isolante, superaquecimento provocado por sobrecarga ou curto circuito, avaria dos ventiladores, avaria nas bombas de circulação de óleo.

**Ação corretiva:** Verificar a qualidade do óleo, trocar o isolante, verificar as bombas e ventiladores ou manutenção do transformador.

**Diagnóstico 62**

**Defeito:** Problemas no nível de óleo do transformador – advertência.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de nível-71, Termopares, Termômetros, Sensores de temperatura, Bobinas detectoras de temperaturas.

**Motivo provável do defeito:** Deterioração do isolante, superaquecimento provocado por sobrecarga ou curto circuito, avaria dos ventiladores, avaria nas bombas de circulação, vazamento de óleo.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo, trocar o isolante, verificar as bombas e ventiladores ou manutenção do transformador.

**Diagnóstico 63**

**Defeito:** Problemas no nível de óleo do comutador – advertência.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de nível-71.

**Motivo provável do defeito:** Deterioração do isolante, superaquecimento provocado por curto circuito, vazamento de óleo.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo, trocar o isolante ou manutenção do comutador.

#### **Diagnóstico 64**

**Defeito:** Defeito na proteção do transformador.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé anomalia proteção.

**Motivo provável do defeito:** Defeito em relé ou equipamento de proteção, defeito na comunicação, falta de alimentação cc.

**Ação corretiva:** Manutenção do equipamento ou relé de proteção, verificar comunicação, verificar baterias.

### **ALIMENTADOR AL-1**

#### **Diagnóstico 65**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador.

#### **Diagnóstico 66**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador.

#### **Diagnóstico 67**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga, curto circuito fase de alta impedância no alimentador ou curto circuito fase com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejo de carga ou manutenção do alimentador.

### **Diagnóstico 68**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases, curto circuito a terra de alta impedância no alimentador ou curto circuito a terra com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejo de carga entre fases ou manutenção do alimentador.

### **Diagnóstico 69**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Falha Disjuntor do Alimentador

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

### **Diagnóstico 70**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha Disjuntor do Alimentador

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

### **Diagnóstico 71**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Falha Disjuntor do Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga, curto circuito fase de alta impedância no alimentador ou curto circuito fase com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

### **Diagnóstico 72**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Falha Disjuntor de Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases, curto circuito a terra de alta impedância no alimentador ou curto circuito a terra com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga entre fases ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

### **Diagnóstico 73**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha religamento.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Falha religamento do Disjuntor de Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, manutenção no disjuntor ou religador do alimentador.

### **Diagnóstico 74**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha religamento.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha religamento do Disjuntor do Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha religamento do Disjuntor do Alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, manutenção no disjuntor ou religador do alimentador.

### **Diagnóstico 75**

**Defeito:** Nível de óleo disjuntor – Advertência.

**Principais equipamentos envolvidos:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo ou manutenção do disjuntor.

#### **Diagnóstico 76**

**Defeito:** Nível de óleo disjuntor – Bloqueio.

**Principais equipamentos envolvidos:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo ou manutenção do disjuntor.

### **ALIMENTADOR AL-2**

#### **Diagnóstico 77**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador.

#### **Diagnóstico 78**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador.

#### **Diagnóstico 79**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga, curto circuito fase de alta impedância no alimentador ou curto circuito fase com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga ou manutenção do alimentador.

**Diagnóstico 80**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases, curto circuito a terra de alta impedância no alimentador ou curto circuito a terra com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga entre fases ou manutenção do alimentador.

**Diagnóstico 81**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Falha Disjuntor do Alimentador

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 82**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha Disjuntor do Alimentador

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 83**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Falha Disjuntor do Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga, curto circuito fase de alta impedância no alimentador ou curto circuito fase com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 84**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Falha Disjuntor de Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases, curto circuito a terra de alta impedância no alimentador ou curto circuito a terra com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga entre fases ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 85**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha religamento.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Falha religamento do Disjuntor de Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, manutenção no disjuntor ou religador do alimentador.

**Diagnóstico 86**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha religamento.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha religamento do Disjuntor do Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha religamento do Disjuntor do Alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, manutenção no disjuntor ou religador do alimentador.

**Diagnóstico 87**

**Defeito:** Nível de óleo disjuntor – Advertência.

**Principais equipamentos envolvidos:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo ou manutenção do disjuntor.

### **Diagnóstico 88**

**Defeito:** Nível de óleo disjuntor – Bloqueio.

**Principais equipamentos envolvidos:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo ou manutenção do disjuntor.

## **ALIMENTADOR AL-3**

### **Diagnóstico 89**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador.

### **Diagnóstico 90**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador.

### **Diagnóstico 91**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga, curto circuito fase de alta impedância no alimentador ou curto circuito fase com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga ou manutenção do alimentador.

**Diagnóstico 92**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases, curto circuito a terra de alta impedância no alimentador ou curto circuito a terra com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga entre fases ou manutenção do alimentador.

**Diagnóstico 93**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Falha Disjuntor do Alimentador

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 94**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha Disjuntor do Alimentador

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito a terra no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 95**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase temporizado, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-51, Falha Disjuntor do Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Sobrecarga, curto circuito fase de alta impedância no alimentador ou curto circuito fase com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 96**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro temporizado, falha disjuntor.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-51N, Falha Disjuntor de Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Desequilíbrio entre fases, curto circuito a terra de alta impedância no alimentador ou curto circuito a terra com falha de operação instantânea.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção, remanejamento de carga entre fases ou manutenção do alimentador, verificar ajuste ou manutenção no disjuntor do alimentador.

**Diagnóstico 97**

**Defeito:** Sobrecorrente de fase instantâneo, falha religamento.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de fase-50, Falha religamento do Disjuntor de Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Curto circuito fase no alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, manutenção no disjuntor ou religador do alimentador.

**Diagnóstico 98**

**Defeito:** Sobrecorrente de neutro instantâneo, falha religamento.

**Principais equipamentos envolvidos:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha religamento do Disjuntor do Alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Relé de sobrecorrente de neutro-50N, Falha religamento do Disjuntor do Alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar causas da atuação da proteção ou manutenção do alimentador, manutenção no disjuntor ou religador do alimentador.

**Diagnóstico 99**

**Defeito:** Nível de óleo disjuntor – Advertência.

**Principais equipamentos envolvidos:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo ou manutenção do disjuntor.

**Diagnóstico 100**

**Defeito:** Nível de óleo disjuntor – Bloqueio.

**Principais equipamentos envolvidos:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Motivo provável do defeito:** Bobina detectora de nível de óleo do disjuntor do alimentador.

**Ação corretiva:** Verificar o motivo da perda de óleo, verificar a qualidade do óleo ou manutenção do disjuntor.