

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

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA A ESTIMAÇÃO DA
SEÇÃO EM FALTA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE
POTÊNCIA ATRAVÉS DA GERAÇÃO DE PADRÕES
DE CAUSA EFEITO EM TEMPO REAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

João Montagner Zauk

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA A ESTIMAÇÃO DA SEÇÃO
EM FALTA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA
ATRAVÉS DA GERAÇÃO DE PADRÕES DE CAUSA EFEITO
EM TEMPO REAL**

João Montagner Zauk

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do 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 Jr., Dr. Eng.
Coorientador: Olinto César Bassi de Araújo.**

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Montagner Zauk, João

Uma nova abordagem para a estimação da seção em falta em sistemas elétricos de potência através da geração de padrões de causa efeito em tempo real / João Montagner Zauk.-2013.

147 p. ; 30cm

Orientador: Ghendy Cardoso Junior

Coorientador: Olinto César Bassi de Araújo

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2013

1. Geração de padrões 2. Estimação da Seção em Falta 3. Otimização 4. Processador de Alarmes 5. Proteção de Sistemas de Potência I. Cardoso Junior, Ghendy II. César Bassi de Araújo, Olinto III. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a João Montagner Zauk. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Benjamin Constant, Centro, Ijuí, RS. CEP 98700-000.

Fone (0xx)55 33326664; Celular (0xx)55 99709265; E-mail: joaozauk@gmail.com

**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**

**UMA NOVA ABORDAGEM PARA A ESTIMAÇÃO DA SEÇÃO EM
FALTA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA ATRAVÉS DA
GERAÇÃO DE PADRÕES DE CAUSA EFEITO EM TEMPO REAL**

elaborada por
João Montagner Zauk

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ghedy Cardoso Júnior, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

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

Daniel Barbosa, Dr. (UNIFACS)

Adriano Peres de Moraes, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 12 de Agosto de 2013.

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais, Ricardo e Angela, por terem sido os primeiros e mais importantes professores da minha vida. Ao meu irmão, Henrique, pela amizade incondicional. E também a minha namorada, Andrea, por compreender toda distância e saudade, me incentivando a prosseguir nos momentos em que mais precisei.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ghendy Cardoso Jr. não somente pela orientação dada ao longo destes 6 anos de pesquisa junto ao CEESP, mas também pela confiança depositada desde o princípio;

Ao Prof. Olinto Cesar Bassi Araujo pela coorientação e toda a dedicação nesta pesquisa, tornando possível mais este projeto;

Aos professores do curso de pós-graduação em engenharia elétrica pela atenção e empenho com que sempre trabalharam;

Aos funcionários do curso de pós-graduação pelo profissionalismo, atenção e disponibilidade de sempre.

À CEEE pelo fomento e incentivo à pesquisa, em especial ao Eng. Assis Rogério, pela colaboração e participação ativa no projeto de P&D;

Aos colegas de laboratório que trabalharam nesse assunto específico e que tiveram participação direta para o desenvolvimento do mestrado: Aécio, Adriano, Carlos, Cícero, Artur, Vinicius e Renan;

Aos demais colegas e amigos do CEESP que de alguma forma contribuíram com a minha formação e com o desenvolvimento desta dissertação. Além das inúmeras vezes em que contribuíram com a logística envolvida na entrega de documentos e recolhimento de assinaturas para o programa de pós-graduação.

Aos meus amigos que sempre proporcionaram ótimos momentos de descontração e que tornaram a minha passagem por Santa Maria a melhor possível.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Universidade Federal de Santa Maria

UMA NOVA ABORDAGEM PARA A ESTIMAÇÃO DA SEÇÃO EM FALTA EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA ATRAVÉS DA GERAÇÃO DE PADRÕES DE CAUSA EFEITO EM TEMPO REAL

AUTOR: JOÃO MONTAGNER ZAUK

ORIENTADOR: GHENDY CARDOSO JÚNIOR

COORIENTADOR: OLINTO CÉSAR BASSI DE ARAÚJO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 12 de Agosto de 2013.

Este trabalho propõe uma ferramenta dinâmica para solução do problema de estimação da seção em falta em sistemas elétricos de potência. Um modelo de programação inteira binária (PIB) é usado para identificar a seção em falta através da análise do estado dos disjuntores e sinalizações de disparo das proteções de cada equipamento do sistema elétrico. Para a montagem da base de conhecimento é proposta uma ferramenta inovadora, capaz de gerar padrões de eventos e alarmes automaticamente, cada vez que a configuração da rede é alterada. O algoritmo usa como entrada o cadastro de conexões do sistema (seções e disjuntores) e a leitura do estado dos disjuntores. A saída obtida pelo gerador de padrões é usada como base de conhecimento pelo modelo de programação inteira binária. Os alarmes recebidos no SCADA são usados como parâmetros nas restrições do modelo. O modelo de PIB, fundamentado nos princípios de recobrimento parcimonioso de conjuntos, é resolvido através do otimizador comercial *CPLEX*, e é capaz de lidar com falhas nos dispositivos de proteção, problemas na aquisição de dados e múltiplas ocorrências. A metodologia foi validada tendo como base parte de um sistema elétrico de potência brasileiro, para o qual, por meio da técnica proposta, os padrões foram gerados automaticamente e simuladas diversas situações de faltas. A metodologia proposta apresentou ótimos resultados para todos os testes aplicados, sendo a ferramenta capaz de lidar com as alterações topológicas dos sistemas elétricos de potência e com os problemas inerentes à estimação da seção em falta.

Palavras-chave: Geração de padrões. Estimação da Seção em Falta. Otimização. Processador de Alarmes. Proteção de Sistemas de Potência

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Electrical Engineering Post-Graduate Program
Federal University of Santa Maria

A NEW APPROACH FOR FAULT SECTION ESTIMATION ON POWER SYSTEM THROUGH CAUSE AND EFFECT PATTERN GENERATION IN REAL TIME

AUTHOR: JOÃO MONTAGNER ZAUK

ADVISOR: GHENDY CARDOSO JÚNIOR

CO-ADVISOR: OLINTO CÉSAR BASSI DE ARAÚJO

Defense Date and Location: Santa Maria, August 12th, 2013.

This work proposes a dynamic tool for solving the problem of fault section estimation in power systems. A Binary Integer Problem (BIP) is used to identify the faulty section through analyses of circuit breakers states and power system protection devices signalizations. For the knowledge base construction it is proposed an innovative tool able to automatically generate the pattern of events and alarms for each topology configuration change. The outputs obtained from the pattern generator are used as base of cause and effect by the BIP model. Received alarms on SCADA are used as parameters in model the restrictions. The BIP model, based on the parsimonious set covering problem, is solved by CPLEX commercial software and it is able to deal with protection devices failure, data acquisition problems and occurrence of multiple events. To validate the approach it was used part of a Brazilian power system, through the proposed technique the patterns were automatically generated and several faults situations were simulated. The proposed methodology achieved optimum results to all tests applied, being capable to deal with topology changes on power systems and with the problems inherent to the fault section estimation.

Keywords: Pattern Generation. Fault Section Estimation. Optimization. Alarm Processing. Power System Protection.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Considerações gerais	17
1.2	Objetivos	18
1.3	Justificativa	18
1.4	Revisão Bibliográfica	21
1.5	Estrutura do trabalho	29
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	31
2.1	Considerações gerais	31
2.2	Caracterização do problema.....	31
2.3	Processamento de alarmes	34
2.3.1	Alarmes e Eventos.....	35
2.3.2	Operação correta.....	36
2.3.3	Alarmes falsos	37
2.3.4	Alarmes falhos.....	38
2.3.5	Eventos múltiplos.....	38
2.4	Princípio de parcimônia	39
2.5	Atuação da proteção	39
2.5.1	Barras	40
2.5.2	Transformadores	41
2.5.3	Linhas de transmissão	42
2.6	Considerações finais.....	43
3	GERAÇÃO EM TEMPO REAL DE PADRÕES DE CAUSA E EFEITO	44
3.1	Considerações gerais	44
3.2	Elaboração de padrões de eventos e alarmes	44
3.3	Cadastro dos equipamentos	46
3.4	Base de dados inicial	48
3.4.1	Leitura de estado dos disjuntores	48
3.4.2	Adjacência de disjuntores.....	49
3.5	Cruzamento de informações.....	51
3.5.1	Mudanças na topologia.....	53
3.6	Importação de alarmes.....	55
3.7	Eliminação de alarmes redundantes.....	59
3.8	Considerações finais.....	61
4	ESTIMAÇÃO DA SEÇÃO EM FALTA	63
4.1	Considerações gerais	63
4.2	Programação Inteira Binária.....	63
4.3	Modelos de programação inteira.....	64
4.4	Métodos de resolução.....	67
4.4.1	Método de arredondamento	68
4.4.2	Método de branch-and-bound	69
4.5	Formulação do problema.....	74
4.6	Software para a resolução de problemas de programação inteira	78
4.7	Considerações finais.....	79
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
5.1	Considerações gerais	80
5.2	Sistema teste WEN e HAN (1995)	80
5.2.1	Geração de padrões.....	82

5.2.2	Mudanças na topologia	85
5.2.3	Faltas consecutivas.....	88
5.3	Sistema teste Companhia Estadual de Energia elétrica (CEEE).....	90
5.3.1	Esforço computacional da geração de eventos.....	93
5.4	Estimação da seção em falta	93
5.4.1	Teste 1 - Falta em LT_(UPME_BAG2).....	96
5.4.2	Teste 2 - Falta em LT_(UPME_BAG2), falha de disjuntor	97
5.4.3	Teste 3 - Falta em LT_(GUA2_CAM-), falha na aquisição de dados	98
5.4.4	Teste 4 - Falta em LT_(GUA2_CAM-), falha na aquisição de dados (2).....	99
5.4.5	Teste 5- Falta em T2(SCH) com falha na aquisição de dados.....	101
5.4.6	Teste 6 - Falta na CINA, falha no dispositivo de proteção.....	102
5.4.7	Teste 7- Falta na proteção seletiva da LT_(UPME_BAG2).....	103
5.4.8	Teste 8- Falta no transformador T2(CIN) falhas de dispositivo de proteção e na aquisição de dados	105
5.4.9	Teste 9 - Faltas simultâneas em CINA e UPME.....	107
5.4.10	Teste 10 - Falhas simultâneas em CINA	108
5.4.11	Teste 11 - Falta na barra principal CINA com falha na proteção seletiva...	110
5.5	Considerações finais	112
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	114
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICES.....	120

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

Os equipamentos do sistema elétrico de potência e seus respectivos esquemas de proteção são continuamente monitorados pelos sistemas supervisórios. Distúrbios no sistema elétrico, a partir destes pontos de monitoração, são reportados aos centros de controle e operação por meio de mensagens que indicam a atuação dos relés e disjuntores. O operador com base nesses alarmes deve tomar decisões de modo a restabelecer o sistema, ou parte dele, sempre sendo cauteloso em suas ações para evitar o risco de danos maiores ao sistema.

Os equipamentos de proteção são responsáveis por detectar a ocorrência de um defeito e agir apropriadamente de modo a isolar somente a parte defeituosa do sistema (seletividade). Para que o restabelecimento do sistema ocorra o mais rapidamente possível, de modo a evitar danos aos consumidores e à empresa fornecedora, é essencial que a estimação dos eventos que produziram uma determinada sequência de alarmes ocorra de forma rápida, precisa e segura (COUTTO F. et al., 1999).

Atuações incorretas da proteção, assim como problemas de oscilações de potência e sobretensões após a ocorrência da falta, levam a desligamentos em grandes proporções (GOMES et al., 2002), que dificultam a determinação da causa inicial dos desligamentos. Outros problemas tais como falhas em unidades terminais remotas (UTR), nos canais de comunicação, ou na aquisição de dados, implicam em informação incompleta ou corrompida, o que dificulta ainda mais a tarefa de estimação da secção em falta.

Em busca de uma análise segura, rápida e precisa, constantemente são realizadas pesquisas com o intuito de desenvolver ferramentas computacionais capazes de, através dos alarmes disparados pelos equipamentos de proteção, realizar o processamento de alarmes e estimar a secção em falta fornecendo uma solução ou possível solução ao operador. O processo de automatização da análise de operação de disjuntores e relés tem sido motivo de pesquisa há mais de trinta anos (DYLIACCO; KRAYNAK, 1969).

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo principal propor uma ferramenta capaz de auxiliar os operadores de centros de controle e operação no reestabelecimento do sistema após a ocorrência de desligamentos no sistema elétrico. Para tal, procura-se tratar os problemas inerentes à estimação da secção em falta de forma automática, com uso de inteligência computacional para processar as informações e gerar as respostas necessárias.

Como objetivos específicos, pode-se citar:

- Propor um modelo capaz de lidar de forma analítica com o processamento de alarmes e que seja capaz de lidar com o recebimento de alarmes ruidosos, destacando-os do restante do conjunto de alarmes recebidos.
- Criar uma ferramenta capaz de se adaptar, em tempo real, a diferentes topologias, gerando padrões de causa efeito para a topologia do sistema no momento pré-falta;
- Por meio de um sistema teste real, validar a ferramenta geradora de eventos e avaliar a qualidade dos conjuntos gerados;
- Elaborar conjuntos de testes que indiquem situações que os operadores realmente enfrentam nos centros de controle e supervisão, a fim de avaliar a qualidade dos padrões gerados automaticamente;
- Criar conjuntos de testes que extrapolem as dimensões de acontecimentos reais (pior caso), a fim de explorar a capacidade máxima do algoritmo, de modo a permitir a análise de sua capacidade e qualidade de resposta em um tempo computacional adequado ao problema em questão.

1.3 Justificativa

Restrições econômicas e ambientais para investimento em geração e transmissão obrigam os sistemas elétricos a operarem com reduzida margem de segurança, aumentando assim a complexidade na sua supervisão e no seu controle. A inserção destes sistemas em um ambiente altamente competitivo faz com que questões operacionais dependam de complexos acordos de mercado entre fornecedores e consumidores. O aumento nas interligações viabiliza a troca de

energia entre regiões de acordo com os níveis dos reservatórios regulados por variações sazonais. Contudo, se isto não for acompanhado por um adequado planejamento da operação, os sistemas podem atingir condições extremas para as quais não foram originalmente projetados. Com isso, eles correm o risco de operarem próximos de seus limites de estabilidade angular, de tensão e de frequência. Um sistema elétrico operando muito carregado tem margem de segurança muito pequena, tornando-se muito sensível e vulnerável a perturbações. (MARIOTTO, 2008).

Sistemas elétricos de potência são compostos por secções (linhas de transmissão, transformadores, barramentos) protegidas por relés e por disjuntores, cujos esquemas de proteção são elaborados de modo a isolar a falta o mais rápido possível, por meio do desligamento da menor quantidade de equipamentos.

Quando uma falta ocorre em um dos equipamentos de rede, a proteção correspondente opera no intuito de isolar a secção em falta resultando em um grupo de alarmes no sistema de supervisão e de aquisição de dados. Os alarmes são disparados de modo a sinalizar a operação dos relés e dos disjuntores de proteção, enviando os códigos com as informações para os centros de operação e controle. A partir desses alarmes é necessário identificar a secção do sistema que está em falta. Após a identificação da secção é necessário adotar ações corretivas que permitam o restabelecimento do sistema o mais breve possível.

Nos últimos anos, a quantidade de equipamentos monitorados em subestações vem aumentando, juntamente com o número de alarmes reportados durante um desligamento, devido à modernização das subestações bem como dos equipamentos de monitoramento e aquisição de dados. Sob tais circunstâncias, os sistemas inteligentes podem ser aplicados à estimação da secção em falta para auxiliar o operador na tomada de decisões nas situações de grandes distúrbios. Como efeito, pode-se melhorar a qualidade do serviço por meio da redução do tempo de reestabelecimento do sistema (MU et al., 2012).

Dependendo do evento, o volume de mensagens de alarmes pode atingir a ordem de centenas em alguns poucos segundos. O operador com base nestas informações deve usar a sua experiência e decidir o que exatamente aconteceu com o sistema elétrico. Essa tarefa pode muitas vezes não ser trivial, pois além da quantidade de alarmes, existe a possibilidade de ocorrência de eventos múltiplos, falha ou operação indevida dos relés, falha de disjuntores e falha em unidades

remotas de aquisição de dados. Esta análise deve ser feita em tempo hábil por parte dos operadores, justamente nos momentos de maior estresse, de modo a restaurar o sistema ao seu estado de funcionamento normal e seguro.

Na tentativa de diminuir a possibilidade de erro humano durante a análise dos alarmes disparados em virtude da operação de relés de proteção, ferramentas computacionais destinadas ao processamento de alarmes e localização da seção em falta são desenvolvidas (CARDOSO, 2003). O principal objetivo dos processadores inteligentes de alarmes é reduzir a quantidade de informações a ser processada pelos operadores, acelerando o processo de tomada de decisões e reduzindo a probabilidade de erros, (KIRSCHEN; WOLLENBERG, 1992) ajudando o operador a concluir sensatamente e rapidamente sobre os alarmes recebidos, descartando informações redundantes e irrelevantes (GERS; HOLMES, 2004). Ainda, os processadores de alarmes têm como funções melhorar a forma e o conteúdo das mensagens apresentadas ao operador, informar o período de início e fim das condições anormais, apresentar, quando possível, conclusões cronológicas sobre a falta e, em alguns casos, sugerir ao operador as ações corretivas a serem tomadas.

Usualmente, sistemas especialistas, redes neurais, algoritmos genéticos, grafos estruturados, lógica fuzzy e Redes de Petri e metaheurísticas são as técnicas sugeridas ao processamento de alarmes. Métodos exatos, como programação inteira (PI), têm sido relegados a um segundo plano. No entanto, recentes desenvolvimentos em resolvidores (*solvers*) para PI têm melhorado a capacidade de estes resolverem instâncias de grande escala para diferentes tipos de problemas. Atualmente o uso de PI ganha aceitação e é considerada uma ferramenta computacional poderosa para encontrar soluções ótimas ou quase-ótimas para modelos de problemas reais de planejamento estratégico ou operacional.

Neste contexto, o presente trabalho propõe um modelo matemático com variáveis binárias para resolução do problema de processamento de alarmes. Tal metodologia é menos dependente de ajustes de parâmetros como heurísticas e meta-heurísticas, o que torna fácil a sua aplicação numa grande gama de instâncias do problema em questão. Ainda, em casos em que o tempo computacional para provar a otimalidade seja proibitivo para os fins práticos desejados, pode-se truncar o processamento e obter uma solução quase-ótima, sem que haja grandes perdas nos resultados encontrados.

Do melhor conhecimento do autor, não foi encontrado na literatura científica nenhum trabalho que aborde maneiras de manter os padrões utilizados pelos estimadores de secção em falta atualizados frente a alterações topológicas no sistema. Este tipo de consideração é indispensável em aplicações para sistemas elétricos reais. Claramente, é necessário lançar mão do conhecimento dos operadores de sala de controle para alimentar a base de dados dos padrões de eventos passíveis de ocorrerem no sistema. No entanto, não se pode esperar que estes consigam reproduzir todos os cenários de falta possíveis como também não é de fácil implementação um procedimento para recuperar os padrões de eventos relacionados a cada configuração topológica.

Baseando-se nestas considerações uma ferramenta que seja capaz de gerar automaticamente padrões de eventos e alarmes torna-se imprescindível, uma vez que fornece a flexibilidade necessária para o estimador da secção em falta trabalhar nas mais diferentes configurações do sistema de potência. Além de manter a base de conhecimentos atualizada, o modelo passa a ser alimentado por padrões complexos, onde além das falhas de atuação de dispositivos de proteção ainda são considerados disparos e sensibilizações de proteções de toda a vizinhança do equipamento em falta.

1.4 Revisão Bibliográfica

A sociedade moderna criou uma forte dependência da energia elétrica. Em consequência disto tornou-se extremamente importante manter um fornecimento contínuo e confiável. Porém, sabe-se que não é possível projetar qualquer sistema isento de falhas, ou seja, de modo que nunca ocorra interrupção no fornecimento de energia. Um projeto adequado deve, ao menos, considerar procedimentos que garantam que os equipamentos em curto-circuito sejam isolados. (MU, 2012). Para melhorar a confiabilidade do serviço, o rápido reestabelecimento neste tipo de ocorrência é extremamente importante. A estimação da secção em falta deve identificar qual equipamento do sistema de potência que está em falta através das informações de disparos dos relés de proteção e de abertura de disjuntores.

Nas últimas duas décadas, um grande número de ferramentas e técnicas foi sugerido para a automatização da análise de dados em sistemas elétricos de

potência, provendo aos engenheiros informações explícitas sobre a operação do sistema elétrico (DAVIDSON, 2006).

Os primeiros processadores de alarmes eram fundamentados em técnicas combinatórias, nas quais 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 uma dada configuração topológica do sistema, de acordo com o que consta em um banco de dados (TOLLER M. B., 2011). Desenvolver e manter tal programa requer um esforço enorme (KIRSCHEN et al., 1992).

O trabalho de Kezunovic e Guan (2009) definiu os Sistemas Especialistas (SE) como uma técnica bem adequada para o problema em questão, uma vez que reproduz o comportamento de especialistas que realizam comparações entre o fato e a regra. A desvantagem é que um sistema especialista tem de ser desenvolvido usando um conhecimento formalizado que capta corretamente a *expertise* (perícia, habilidade), o que não é nada trivial. Devido ao enorme número de regras, inconsistências podem ser facilmente geradas. Ainda, Sistemas Especialistas são capazes de produzir resultados satisfatórios apenas para as situações previstas durante o desenvolvimento da base de conhecimento, sendo assim incapazes de lidar com qualquer desvio em relação aos padrões esperados (MEZA, 2001).

O último trabalho encontrado que cita o uso de Sistemas Especialistas é o proposto por Cardoso Jr., Rolin e Zürn (2008). O trabalho faz uso dos sistemas especialistas em conjunto com um configurador de redes para identificar uma lista de suspeitos para o problema de secção em falta. Os suspeitos são eleitos pelos SE através da comparação da topologia da rede antes e depois do desligamento do sistema. Redes neurais artificiais (RNAs) são usadas para modelar a filosofia de proteção de cada equipamento. As saídas das redes neurais são então combinadas através de outro SE que por fim determina a secção em falta. O autor faz uso da flexibilidade das RNA em conjunto com a capacidade de reprodução de conhecimento dos SE.

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 utilização das redes neurais artificiais para estimação de seção em falta também foi empregada por Fonseca et al. (2012). O autor agrega ao trabalho a funcionalidade de detecção de falhas de dispositivos de proteção. A metodologia é fundamentada na conversão dos sinais lógicos referentes ao estado de alarmes reportados para valores percentuais que servirem como entrada das redes neurais. A técnica permite que um mesmo conjunto de redes neurais possa ser treinado e aplicado para diferentes sistemas de potência.

O artigo apresentado por Machado et al. (2009) mostrou uma análise comparativa entre diversas arquiteturas de redes neurais no intuito de identificar uma mais adequada ao processamento de alarmes. Neste trabalho, diversas redes foram analisadas: MLP (Multilayer propagation), RBF (*Radial Basis Function*), PNN (*Probabilistic Neural Network*), GRNN (*Generalized Regression Neural Network*), SOM (*Self-Organizing Maps*), Kohonen e Elman. Para avaliação do desempenho foram comparados os tempos de treinamentos de cada rede, tempo de convergência e habilidade de lidar com informações com ruídos. A rede GRNN se destacou das demais em todos os aspectos, tendo um menor tempo de convergência e uma taxa de acertos de 100% até mesmo para os testes com um número elevado de alarmes ruidosos. Também é destacada a capacidade de fornecer múltiplas respostas a um dado problema, de forma que se a resposta inicial não for satisfatória é possível analisar as próximas que foram ranqueadas pela rede.

Em Zauk et al. (2010) é apresentada outra análise comparativa de algumas ferramentas computacionais aplicadas na análise de faltas em sistemas elétricos. No trabalho são apresentados os métodos da Heurística Construtiva, Matriz Inversa, Matriz Direta, Aproximação de Bayes e Redes Neurais Artificiais. A título de comparação, foram montados três diferentes treinamentos para a rede neural. O primeiro treinamento é uma análise simples de possíveis faltas em um transformador de potência, enquanto o segundo treinamento acrescentava informações quanto a alarmes ruidosos, e o último adicionava ainda aos padrões análise quanto a taxas de falhas de atuações dos equipamentos de proteção do transformador. O trabalho compara os diferentes métodos às respostas obtidas pelo modelo de Bayes de Rabnik T. et al. (2001), e ainda apresenta taxas de atuação de relés, falha de disjuntores e frequência de ocorrência das possíveis faltas dos transformadores de

potência. A GRNN treinada com padrões de probabilidade foi a que apresentou a maior taxa de acerto, porém se comparado aos tempos obtidos pelas outras ferramentas, exigiu um esforço computacional substancialmente mais elevado.

A maior desvantagem das RNA é o grande esforço computacional que se emprega em seu treinamento, especialmente em sistemas de grande porte, mesmo que seja *off-line*, como em Negnevitsky e Pavlovsky (2005), onde se construiu uma rede neural artificial para cada seção do sistema elétrico. O método necessita de uma nova base de treinamento para as redes a cada mudança topológica, o que inviabiliza o uso na prática.

A aplicação de redes neurais artificiais para a estimação de seção em falta tem gerado recentemente diversas discussões e publicações. Entretanto, alguns problemas permanecem não resolvidos em aplicações práticas, como a lenta convergência na etapa de treinamento da rede, a dificuldade na obtenção de um número suficiente de padrões de treinamento e determinação dos parâmetros da rede e, por fim, a necessidade de retreinamento da rede quando houverem modificações topológicas no sistema de potência (HE et al., 2009).

Outra técnica bastante difundida é a lógica fuzzy. A técnica proporciona um meio conveniente para inexatidão de modelagem e incertezas. A desvantagem é a necessidade de se obter dados empíricos que ajudam a formular a função de pertinência e as propriedades das variáveis *fuzzy*. (KEZUNOVIC; GUAN, 2009).

Xiao e Wen (2007) cita em seu trabalho ampla aceitação da teoria de parcimônia para o recobrimento de conjuntos (*Parsimonious set-covering*) na estimação da seção em falta e elabora um modelo fuzzy. O modelo de recobrimento de conjuntos fuzzy (*Fuzzy set-covering*) é capaz de lidar com as incertezas na aquisição e comunicação de dados bem como com as falhas de atuação dos equipamentos de proteção. A lógica *fuzzy* também é usada para identificar o modo de operação dos relés de proteção e abertura dos disjuntores do sistema para fornecer informações mais precisas para o modelo de recobrimento. O modelo por fim é resolvido através de uma Busca Tabu (BT).

Kezunovic e Guan (2009), em seu trabalho, apresentam duas novas opções de processadores de alarmes inteligentes. A primeira delas é um modelo de diagnóstico baseado no raciocínio *fuzzy* e redes Petri. O modelo proposto é um sistema análogo aos sistemas especialistas, porém com bases de regras fáceis de serem adaptadas a novas filosofias de proteção e mudanças na rede. A ferramenta

utiliza tanto recursos do sistema de controle e aquisição de dados (SCADA, na sigla em inglês para *supervisory control and data acquisition*) quanto dos dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs, na sigla em inglês para *intelligent electronic device*) disponíveis nas subestações. A segunda técnica consiste em um processador de alarmes que combina informações disponíveis tanto à nível de subestação quanto à nível de centro de controle.

Em Chen (2011) foi apresentada uma técnica baseada em raciocínio *fuzzy* e redes de causa-efeito. Os padrões que relacionam a atuação da proteção dos equipamentos com as aberturas dos disjuntores são baseadas em dados históricos de eventos. As filosofias de proteção do sistema de distribuição são representadas pelas redes de causa efeito. A estimativa das seções em falta e avaliação de falhas de equipamentos de proteção é realizada através de inferências *fuzzy*.

De maneira geral, os métodos de otimização podem ser divididos em dois tipos de algoritmos: exatos e heurísticos. A diferença elementar entre ambos reside no fato que algoritmos exatos são concebidos com o intuito de garantir que a solução ótima será encontrada numa quantidade finita de tempo. Heurísticas não possuem essa garantia, e por esse motivo não necessariamente retornam uma solução ótima (GLOVER, 1986).

Segundo Diaz et al. (1996) além da inviabilidade do método exato, o uso de dados pouco confiáveis aliados ao baixo tempo de processamento das heurísticas torna atrativa a utilização das mesmas. Neste caso, a busca por um ótimo não tem sentido, uma vez que qualquer solução ótima é uma solução ótima do modelo utilizado, que por sua vez é, na maioria das vezes, uma aproximação da realidade.

Estratégias de alto nível para explorar espaços de busca passaram a ser fortemente pesquisados. Diversificação de candidatos e intensificação de busca passaram a ser definidos das mais diferentes formas, conforme a técnica utilizada. Tais estratégias, antes chamadas de heurísticas modernas (REEVES C. R., 1993) passaram a ser conhecidas por metaheurísticas.

Stützle (1999) definiu as metaheurísticas como estratégias de alto nível que guiam heurísticas de níveis inferiores para aumentar seus desempenhos. O principal objetivo seria evitar as desvantagens do melhoramento iterativo, e em particular, fornecer estratégias para fugir de ótimos locais. Em geral isto é alcançado pelo fato de permitir movimentos que piorem a solução ou por meio de novas estratégias de geração de soluções iniciais para buscas locais. Muitos métodos podem ser

interpretados como introduzindo viés que levam a respostas de boa qualidade rapidamente. Este pode ser obtido de várias formas como viés tendencioso (baseado na função objetivo), de memória (baseado nas decisões tomadas no passado), de experiência (baseado em performances anteriores). Muitas metaheurísticas baseiam-se em decisões probabilísticas tomadas durante a busca no espaço de soluções. Mas a principal diferença de uma busca aleatória e uma metaheurística é que na última, a aleatoriedade não é usada de forma “cega”, mas de uma forma inteligente fundamentada em um viés.

Diaz et al. (1996) cita diferentes critérios para classificação de algoritmos metaheurísticos, porém destaca-se a classificação de modelos inspirados em processos naturais ou não. Técnicas motivadas nos mais diversos processos naturais têm sido exaustivamente abordadas como soluções em modelos de estimação da secção em falta (KEZUNOVIC; GUAN, 2009). De fato, a tendência de procurar metáforas para embasar a criação de novas metaheurísticas é durante criticada por Sörensen (2012), que observa que esse “tsunami” de métodos bioinspirados não teria uma contribuição científica grande o suficiente para justificar novas linhas de pesquisas.

Dentre as metaheurísticas bioinspiradas pode-se dar destaque aos Algoritmos Genéticos (AGs). Esses são procedimentos computacionais de busca e otimização, cujo funcionamento é inspirado nos processos naturais de seleção e refinamento genético (GOLDBERG, 1989). Os AGs foram inicialmente propostos por John H. Holland e sua equipe na Universidade de Michigan, na década de 60. As origens destes princípios remontam ao século 19, nos trabalhos de Charles Robert Darwin. A observação da natureza dos organismos vivos leva a concluir que estes são “consumados solucionadores de problemas” (HOLLAND, 1992).

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.

Wen e Chang (1995) aplicaram o conceito de algoritmos genéticos no processamento de alarmes para sistemas elétricos de potência. No modelo, uma população de indivíduos (cromossomos) é mantida fixa, enquanto cada cromossomo de tamanho fixo (possíveis eventos no sistema) é continuamente avaliado por uma função objetivo. A função objetivo quantifica um número de eventos e alarmes

semelhantes entre o conjunto de alarmes recebidos no sistema supervisor e o conjunto de alarmes dos eventos representados no cromossomo. Os melhores indivíduos são selecionados como pais para gerar novos indivíduos para uma nova população. Operadores genéticos como cruzamento e mutação são aplicados a fim de melhorar a qualidade global da população, gerando uma população mais “adaptada”. Esta nova população substitui parte ou toda a população anterior e é então novamente avaliada até que um critério de parada seja atingido.

Leão et al. (2006) propôs um modelo programação binária irrestrito (PB) para diagnóstico de faltas. O modelo de programação binária utiliza a teoria de cobertura mínima e é solucionado utilizando um AG dedicado. O autor emprega o termo “dedicado” por utilizar operadores genéticos os quais considera ótimos para estimação da seção em falta, considerando então este como um AG adaptado aos problemas específicos de estimação da seção em falta. São empregadas taxas de recombinação e mutação variáveis, critério de seleção por roleta entre outros.

Modelos híbridos tentam combinar as características de diferentes ferramentas como em Fritzen et al. (2010). É proposta uma ferramenta na qual redes neurais GRNN são usadas para avaliar a forma de atuação da proteção de cada equipamento do sistema elétrico através das sinalizações de disparo dos relés de proteção. Os padrões reconhecidos pelas RNAs são usados em conjunto com as sinalizações de abertura de disjuntores como entradas para um AG que realiza a estimação da seção em falta. Assim o método combina a capacidade de generalização e reconhecimento de padrões das RNAs e a habilidade dos AGs de lidar com problemas de otimização e apresentar múltiplas soluções ótimas.

Toller (2011) cita como desvantagem a falta de garantia dos AGs quanto à convergência a ótimos, uma vez que é um método probabilístico. Lobo (2000) ainda critica a necessidade de ajuste de parâmetros dos AGs, para modificações feitas no sistema, como por exemplo, alterações nas relações de eventos e alarmes. Tamanho de população, taxa de aplicação de operadores, critérios de convergência, entre outros são no geral escolhidas de forma empírica, geralmente com base em experimentos com alto custo computacional.

Fritzen (2010) mostra uma tabela comparativa com nove estudos de casos e quatro configurações diferentes para tamanhos de populações e taxas de cruzamento. Os resultados apresentados deixam claro que não existe garantia

alguma de obtenção de ótimos globais independentemente dos parâmetros utilizados.

Leão et al. (2010) apresenta uma ferramenta baseada em sistemas imunológicos artificiais (SAI) para solucionar um problema de programação inteira binária irrestrita (PIBI). O modelo de PIBI relaciona as ocorrências do sistema e a ação esperadas dos dispositivos de proteção do sistema. No SAI os anticorpos são uma sequência binária que representam o conjunto de alarmes das seções selecionadas como em falta e o antígeno são sequências binárias que representam os estados dos relés do sistema. A função objetivo avalia a afinidade entre anticorpos e antígeno de forma que a cada geração o algoritmo emprega três diferentes operadores imunológicos: clonagem, hipermutação e seleção baseada em elitismo.

O trabalho de He et al. (2009) considera a importância do alarme e as taxas de falhas de relés e disjuntores para conseguir respostas mais próximas da realidade enfrentada nos centros de controle. Ainda, são penalizados os disparos de funções de retaguarda de relés. Para solucionar o problema de otimização o trabalho fez uso de uma técnica baseada no movimento de partículas. Neste método, conhecido como enxame de partículas, cada partícula é um indivíduo e o espaço aonde as partículas se movimentam são as possíveis soluções do modelo. O modelo refina as respostas atraindo as partículas para posições com melhores respostas. Cada partícula tem sua própria velocidade e peso de inércia, o que define uma afinidade para buscas locais (indivíduos mais lentos) ou buscas globais (indivíduos mais rápidos). Os indivíduos são capazes de lembrar a melhor posição pela qual passaram e dividir informações com outras partículas. Um operador de aceleração é aplicado randomicamente a cada indivíduo a cada iteração.

Uma otimização fundamentada na exploração de fontes de comida em campos por colônias de abelhas foi proposta por Huang e Liu (2012). Inicialmente as abelhas exploram aleatoriamente campos pelas melhores flores fontes de pólen (seções em faltas). Informações das fontes quanto à qualidade (qualidade da resposta) e posição são compartilhadas com as outras abelhas da colônia para decidir se mais abelhas devem explorar o campo ou se a fonte deixa de ser considerada no espaço de busca e novas fontes procuradas.

Huang e Liu (2013) abordaram novamente uma otimização para estimação da seção em falta envolvendo processos naturais de abelhas, porém desta vez

baseados na reprodução das mesmas. Na metáfora, uma abelha rainha (melhor resposta encontrada) recebe material genético (informações quanto a secções em falta) de zangões, de forma a aumentar seu genoma, porém mantendo sua composição genética. As ninhadas geradas são formadas a partir de ovos fertilizados ou não. Taxas de probabilidade de cruzamento e velocidade de voo são consideradas para saber se os ovos são ou não fecundados pelos zangões. Em cada nova ninhada os filhotes são avaliados, se uma abelha com melhor material genético (melhor função objetivo) é encontrada, a coroa passa para esta que passa a realizar os cruzamentos com os zangões. Antes de serem avaliadas, as funções de *fitness* dos indivíduos da ninhada são usados como entrada em um algoritmo baseado no crescimento de plantas (busca local) usado para melhorar as soluções encontradas. A saída do algoritmo simula abelhas operarias fornecendo comida às ninhadas no intuito de melhorar o conteúdo das respostas das mesmas.

1.5 Estrutura do trabalho

O Capítulo 2 apresenta alguns conceitos necessários para o entendimento do processamento de alarmes e localização da secção em falta. Serão definidos os termos e alguns conceitos envolvidos no processamento dos alarmes através das sinalizações de disparos dos sinais de relés e disjuntores. A filosofia de proteção do sistema considerado e sua forma de atuação são brevemente explicadas, apresentando assim os conceitos de proteção principal e proteção de retaguarda local e remota. O capítulo também aborda as características necessárias para um algoritmo utilizado como processador de alarmes para localização da secção em falta de um sistema elétrico de potência para auxílio do operador.

O Capítulo 3 destaca as dificuldades envolvidas na elaboração de padrões de eventos e alarmes usados para estimação da secção em falta. Como solução ao problema de geração de padrões é apresentada também uma ferramenta capaz de gerá-los automaticamente. Para melhor exemplificação do funcionamento é apresentado um sistema teste para o qual são gerados alguns padrões de alarmes e eventos através do algoritmo de geração.

No Capítulo 4 o modelo de programação inteira binária é formulado. Alguns conceitos são apresentados e um exemplo ilustra a forma com a qual o modelo converge ao ótimo global de forma analítica.

Os resultados obtidos são discutidos no Capítulo 5. No Capítulo serão elucidados dois sistemas testes, o primeiro usado por Wen e Han (1995) será utilizado para avaliar a qualidade dos padrões elaborados pela ferramenta geradora de padrões e aplicação da mesma para mudanças topológicas. O segundo sistema teste é parte pertencente à rede de geração e transmissão dentro da área de concessão da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE-GT). Este será usado para avaliar os padrões quando gerados para um sistema teste real e aplicar a metodologia de estimação da secção em falta. Por fim as conclusões e sugestões para trabalhos futuros são feitas no Capítulo 6.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Considerações gerais

Para o perfeito funcionamento dos sistemas elétricos de potência é necessária a utilização de dispositivos que realizem a proteção dos equipamentos durante uma contingência, garantindo a integridade e permitindo seu reestabelecimento em condições normais de operação.

Os esquemas de proteção são elaborados de modo a isolar uma determinada falta o mais rápido possível, por meio do desligamento da menor quantidade de equipamentos. Durante uma falta os alarmes são disparados de modo a sinalizar a operação dos relés de proteção, enviando os códigos com as informações para os centros de operação e controle. Os operadores desses centros podem ser surpreendidos por um devastador número de alarmes reportados em virtude da ocorrência de contingências em um grande sistema elétrico. Estes sinais além de numerosos ainda podem ser ruidosos, ou seja, apresentarem problemas de disparo indevido ou de falha de atuação.

Na tarefa de reestabelecer o sistema o operador deve lidar com tais problemas e apontar o equipamento em falta a fim de isolá-lo no menor tempo possível, e assim poder reestabelecer o restante do sistema.

Neste capítulo serão definidos os critérios de avaliação utilizados durante a estimação da secção em falta. Ainda será apresentada a filosofia de atuação da proteção de cada equipamento do sistema, mostrando a forma com que atuam para os diversos eventos.

2.2 Caracterização do problema

O sistema de potência consiste de diversas secções incluindo, transformadores, barramentos e linhas de transmissão. Cada uma dessas é protegida por esquemas próprios de proteção, cuja função é detectar o estado anormal do componente e providenciar o seu desligamento. A proteção em é desempenhada por inúmeros dispositivos, na qual se destacam os relés de proteção e disjuntores, além de equipamentos de comunicação (ANDERSON, 1999).

Durante grandes contingências, a operação de relés de proteção e disjuntores espalhados pelo sistema elétrico dão origem a um grande volume de alarmes, que dependendo da disponibilidade do sistema de comunicação são enviados, juntamente com outros valores supervisionados, aos centros de controle do sistema (HANDSCHIN et al., 1996).

Uma falha no sistema principal de alimentação de energia pode desencadear centenas e às vezes milhares de alarmes e eventos. Algumas estimativas sobre o número máximo de alarmes que pode ser desencadeado por vários tipos de eventos foram estabelecidas para os centros regionais de controle da Hydro Quebec (KEZUNOVIC; GUAN, 2009):

- Acima de 150 alarmes para uma falta no transformador;
- Acima de 2000 alarmes para uma falta na subestação de geração, os primeiros 300 alarmes são gerados durante os primeiros cinco segundos;
- Acima de 20 alarmes por segundo durante uma tempestade de raios e trovões;
- Acima de 15000 alarmes para cada centro regional durante os primeiros cinco segundos de um sistema em completo colapso.

Após a ocorrência de distúrbios com desligamentos definitivos, a prioridade é restaurar o sistema elétrico atingido. No entanto, antes desta etapa é necessário (CARDOSO Jr, 2004):

- Identificar o(s) componente(s) que estão em falta (selecionar a hipótese mais provável);
- Efetuar manobras para isolar o componente com defeito, caso seja necessário inspeção por parte das equipes de manutenção;
- Restaurar as partes do sistema atingidas pelo desligamento, mas que não estão em falta;
- Caso haja necessidade, as equipes de manutenção são deslocadas para que o defeito possa ser corrigido (isto geralmente ocorre quando algumas proteções operam, bloqueando o equipamento protegido);
- Finalmente, restaurar a(s) parte(s) onde ocorreu o defeito.

Destas etapas, a primeira corresponde à localização da secção em faltas. Com a seleção da hipótese correta, consegue-se minimizar o tempo de interrupção e o risco de agravar a situação ou danificar equipamentos, religando-os indevidamente.

Uma grande variedade de dispositivos de proteção é instalada no sistema elétrico, dependendo do equipamento a ser protegido e do seu nível de tensão. Cada tipo de dispositivo de proteção é dotado de certos critérios capazes de detectar o estado anormal do componente elétrico.

A aplicabilidade de um sistema para a estimação da secção em faltas depende de diferentes tipos de relés de proteção a serem considerados (HANDSCHIN et al., 1996):

- Relés diferenciais (transformadores, barras);
- Relés de distância (linhas);
- Relés de sobrecorrente instantâneo ou temporizado, com ou sem unidade direcional (linhas e transformadores);
- Relés de sobrecorrente de neutro temporizado, com ou sem unidade direcional (linhas e transformadores).

Geralmente, os relés instantâneos protegem o equipamento, enquanto que as unidades temporizadas servem como retaguarda.

Problemas inerentes à tarefa de localização da secção em falta envolvendo relés, disjuntores, canais de comunicação, entre outros, devem ser levados em consideração. A metodologia de solução a ser implementada deve ser escolhida levando-se em conta os seguintes fatores (CARDOSO Jr et al., 2004)

- Falhas em relés ou disjuntores, e faltas múltiplas, complicam o processo de localização da secção em falta. No primeiro caso a falta é eliminada através da proteção de retaguarda, implicando em uma grande área desligada. No segundo caso, o número de combinações possível torna o problema de estimação bastante complexo, devido a sua natureza combinatória;
- Aquisição de dados corrompidos;
- Falha no sistema de transmissão de dados e unidades terminais remotas;
- Perda de informações, quando o volume de dados a ser transmitido for muito grande. Esta situação pode surgir durante a ocorrência de falta extremamente grave com muitos desligamentos;
- Nem todas as subestações possuem registro de sequencial de eventos;
- Imprecisão nos tempos de ocorrência dos eventos;

- Alarmes que surgem pela ocorrência de eventos secundários podem ser facilmente misturados com alarmes causados pela perturbação primária;
- Dificuldade em simular eventos raros e falta de dados históricos prejudica o progresso de trabalhos na área, uma vez que esses compõem a base para o desenvolvimento de modelos;
- A experiência do operador só pode ser obtida na prática, mas faltas severas ocorrem poucas vezes. A experiência adquirida sobre uma determinada falta, nem sempre é aplicável sobre a ocorrência de outras (FU et al., 1995).

A estimação da seção em falta é definida como um problema de tomada de decisão, onde várias hipóteses (seções em falta), previamente formuladas, competem entre si, cabendo ao operador ou à ferramenta computacional de apoio, selecionar a mais provável (PARK et al., 1999).

2.3 Processamento de alarmes

Os relés de proteção são dispositivos sensores que monitoram constantemente grandezas elétricas em uma rede de energia elétrica, sendo estes responsáveis por acionar, quando necessário, a abertura dos disjuntores.

Os disjuntores são dispositivos mecânicos de abertura e fechamento de contatos comandado pelo relé, destinado a interrupção e restabelecimento das correntes elétricas num circuito.

Na prática, os dados da rede são traduzidos através de alarmes cadastrados no SCADA e se referem a pontos supervisionados da rede, podendo estes serem de natureza elétrica ou não. De maneira sucinta, significa dizer que a atuação de cada dispositivo cadastrado no banco de dados do SCADA resultará numa mensagem de alarme enviada para o centro de controle do sistema para posterior análise do distúrbio por operadores ou por um processador inteligente de alarmes (OLIVEIRA A., 2013).

Durante grandes contingências em virtude de faltas, são esperados que surjam sinalizações relacionadas à atuação de relés e operação de disjuntores, além de alarmes referentes a serviços e equipamentos supervisionados. No entanto, até pela característica do desligamento, é comum que existam inúmeros alarmes de

dispositivos que falham ou atuam indevidamente. Em conformidade com o descrito acima, é possível afirmar que um grande desligamento resultará num grande volume de mensagens de alarmes enviados ao centro de controle e operação através do SCADA (CARDOSO Jr.; ROLIM; ZÜRN, 2004).

Após a ocorrência do distúrbio e consequente sinalização no SCADA, o operador necessita selecionar as mensagens mais relevantes e extrair uma conclusão a partir dos dados disponíveis, e agir apropriadamente de modo a restabelecer o sistema ao seu estado seguro de operação. Na situação de recebimento de um grande número de alarmes, a análise de forma manual pode se tornar deficiente devido às limitações de tempo e recursos humanos, além da ocorrência de eventos que ficam sem o adequado diagnóstico. Por exemplo, em salas de controle não automatizadas, costumam ser analisadas somente faltas relacionadas à operação do sistema de proteção. Os demais registros, por exemplo, o aumento da temperatura do óleo e níveis de corrente em transformadores, mesmo que evidenciem um defeito evolutivo, podem passar despercebidos até que uma falta grave chame a atenção dos especialistas (RODRIGUES et al., 2010).

2.3.1 Alarmes e Eventos

Considerando o tamanho e a complexidade de um sistema elétrico de potência típico, um operador dificilmente será capaz de diagnosticar corretamente todas as condições anormais. Sofisticados programas computacionais foram desenvolvidos para automatizar este processo e chamar a atenção do operador para eventos notáveis, na forma de mensagens de alarme.

Alarmes podem ser gerados pelo sistema supervisório em diversas condições, como por exemplo, quando:

- Um valor medido por um transdutor excede um limite (por exemplo, uma sobretensão);
- Um ponto digital muda de estado (por exemplo, a abertura de um disjuntor);
- Ocorre um erro em algum processo (por exemplo, quando ocorre um problema na execução de uma função automática);
- Uma falha de comunicação é detectada.

A definição de alarme é um pouco subjetiva, variando de um aplicativo para outro. De uma maneira simplista, pode-se definir alarme como sintomas apresentados pelo sistema em consequência de eventos ocorridos (CARDOZO; TALUKDAR, 1988; WEN; CHANG; SRINIVASAN, 1995). Outros autores preferem denominar eventos como “causas” ou “perturbações”, e alarmes como “efeitos”, ou ainda “manifestações” (WEN; CHANG, 1996).

O termo “alarme” refere-se à manifestação de uma mensagem, produzida pelo sistema supervisor, que visa sinalizar ao operador uma condição anormal detectada no sistema elétrico. O termo “evento” refere-se a uma perturbação (ou ocorrência) no sistema elétrico que produz um determinado conjunto de alarmes.

2.3.2 Operação correta

Quando todas as sinalizações dos alarmes atuam corretamente, é definido como operação correta dos alarmes. Desta forma os alarmes recebidos são todos iguais a um dos eventos ou uma combinação dos eventos do conjunto de possíveis eventos do sistema elétrico.

Considere os seguintes conjuntos:

- $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ é o conjunto de eventos (distúrbios);
- $A = \{a_1, \dots, a_k\}$ é o conjunto de alarmes (manifestações);
- $C \subseteq E \times A$ é a relação entre eventos e alarmes (causa efeito);
- $A_r \subseteq A$ é um subconjunto distinto de A (conjuntos de alarmes recebidos devido a uma ocorrência no sistema).
- $E_r \subseteq E$ é um subconjunto distinto de E (conjunto de eventos usado como resposta à ocorrência);
- $A_e \subseteq A$ é um subconjunto distinto de A (conjunto de alarmes dos eventos usados como resposta à ocorrência);

Para melhor entendimento, considere o seguinte conjunto C com quatro eventos (distúrbios) e cinco alarmes (manifestações).

$$C = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Primeiramente considera-se uma ocorrência no sistema onde os alarmes a_1 , a_4 e a_5 são recebidos. Se considerarmos somente o evento e_4 para justificar o conjunto de alarmes recebidos, fica:

$$\begin{aligned} Ar &= [1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ Er &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \\ Ae = e_4 &= [1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ Ar \cap Ae &= [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5] \end{aligned}$$

Ao se avaliar a interseção dos conjuntos A_e e A_r , onde todos os alarmes são iguais, pode-se então dizer que existe um conjunto perfeitamente capaz de explicar o conjunto inteiro de alarmes recebidos.

Neste caso na estimação da secção em falta pode-se dizer que para uma dada falta, a proteção atuou corretamente, não havendo falhas no recebimento dos sinais nem na atuação da proteção. Assim esta ocorrência é diagnosticada como uma falta em uma determinada secção do sistema com a atuação correta da proteção.

2.3.3 Alarmes falsos

Ao serem analisados os conjuntos de possíveis respostas com os alarmes recebidos, nem sempre é possível encontrar uma resposta que cubra totalmente o conjunto de alarmes recebidos. Quando o conjunto de alarmes recebidos possui elementos que não estão presentes na hipótese dada como resposta, ou seja, A_e não cobre totalmente A_r , os alarmes não cobertos são definidos como falsos.

Na tentativa de justificar o mesmo conjunto Ar através do evento e_2 tem-se:

$$\begin{aligned} Ar &= [1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ Er &= [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \\ Ae = e_2 &= [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ Ar \cap Ae &= [a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5] \end{aligned}$$

Apesar de ambos os conjuntos contarem com as sinalizações dos alarmes a_4 e a_5 , e a não sinalização dos alarmes a_2 e a_3 , o recebimento de a_1 permanece sem

resposta. Nestes casos, onde algum dos alarmes recebidos não é coberto por A_e , tem-se um alarme diagnosticado como falso.

Este alarme falso pode ser gerado pelo disparo indevido de equipamentos de proteção, erro no ajuste de relés, ou por erros na obtenção de dados no sistema supervisorio, falha na comunicação entre dispositivos de proteção e de aquisição de dados.

2.3.4 Alarmes falhos

Assim como nem sempre é possível cobrir todos os alarmes recebidos, também existe a possibilidade de que faltem alarmes no conjunto recebido. Estes alarmes são considerados falhos e geralmente são oriundos de falhas na aquisição de dados por parte do sistema supervisorio, ou falta de sensibilidade dos relés de proteção.

Na estimação da secção em falta este problema fica evidente quando sobram elementos no conjunto A_e . Neste caso tem-se um conjunto A_e que apesar de cobrir totalmente o conjunto A_r , possui alarmes que não estão no conjunto de alarmes recebidos A_r .

Considere o mesmo conjunto de alarmes recebidos anteriormente para justificar o recebimento destes através do evento e_3 , ou seja:

$$\begin{aligned} A_r &= [1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ E_r &= [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \\ A_e = e_3 &= [1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ A_r \cap A_e &= [a_1 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5] \end{aligned}$$

A diferença entre o conjunto de alarmes recebidos e o evento e_3 , é o alarme a_2 , que neste caso é diagnosticado como um alarme falho.

2.3.5 Eventos múltiplos

Às vezes mais de uma ocorrência acontece simultaneamente em um sistema elétrico de potência, como, por exemplo, curtos-circuitos simultâneos em diferentes equipamentos devido a descargas atmosféricas. Desta forma, os alarmes recebidos são uma combinação dos eventos contidos em C . Considerando o recebimento dos

alarmes a_2 , a_3 , a_4 e a_5 , pode-se justificar devidamente o recebimento destes, sem alarmes falhos e falsos, através da união com conjuntos e_1 e e_2 . Tendo-se assim:

$$\begin{aligned} Ar &= [0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] \\ Er &= [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0] \\ Ae = e_1 + e_2 &= [1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \\ Ar \cap Ae &= [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5] \end{aligned}$$

2.4 Princípio de parcimônia

No passado, vários critérios simplistas foram propostos como soluções para os mais diferentes problemas. Estes eram fundamentados em campos muito subjetivos e intuitivos, o que tornava cada modelo muito específico. No geral os sistemas de diagnóstico de problemas envolvem o uso de uma base de conhecimento associativo entre distúrbios e manifestações e a aplicação de inferências que testam e definem se um conjunto de hipóteses plausíveis (desordens conhecidas) explica satisfatoriamente as manifestações observadas (PENG; REGGIA, 1986).

O critério de parcimônia é uma formalização da avaliação simplista usada nos problemas de diagnóstico de problemas. É amplamente aceito que se deve usar a teoria da parcimônia na análise da secção em faltas para sistemas elétricos de potência. A premissa considerada é que o menor número de eventos capaz de explicar os alarmes recebidos deve ser selecionado. Encontrar esses eventos é um problema de otimização, na qual se procura minimizar o número de eventos associados aos alarmes. Neste processo alguns alarmes podem ser considerados falhos, ou seja, deveriam estar ativos para explicar um determinado evento. Ainda existe a possibilidade, mais remota, do alarme ser falso, ou seja, embora ativo não é considerado na solução.

2.5 Atuação da proteção

Barras, transformadores e linhas possuem diferentes filosofias de proteção. Apesar das diferentes filosofias de proteção, pode-se generalizar o entendimento de proteção principal, proteção de retaguarda local e proteção de retaguarda remota. A proteção primária, ou principal, a proteção de retaguarda ou de socorro, e os relés

auxiliares, compreendem os princípios fundamentais de releamento (CAMINHA, 1977).

A proteção principal é aquela em que uma zona de controle é estabelecida ao redor de cada elemento do sistema (seletividade), sendo os disjuntores comuns à conexão de cada dois elementos. Em torno dos disjuntores há uma superposição das zonas, visando a retaguarda em caso de falha da proteção principal (MASON, 1956).

Os relés e disjuntores estão sujeitos a falhas e não raramente sofrem desvios de desempenho, sejam por falha nos bancos de baterias, problemas mecânicos ou de comunicação entre equipamentos. Assim, na falha da proteção principal há a atuação da proteção de retaguarda que atua com um retardo no tempo e possivelmente ocasionando o desligamento de um número maior de equipamentos. A proteção de retaguarda pode ser remota ou local.

A proteção de retaguarda local tenta fazer novamente o desligamento dos mesmos equipamentos acionados pela proteção principal. Assim a proteção de retaguarda local atua da mesma forma que a principal, nos mesmos disjuntores porém com um retardo no tempo de atuação.

Já proteção de retaguarda remota é ainda mais lenta e não é seletiva. O principal objetivo da proteção de retaguarda remota é eliminar faltas nos equipamentos adjacentes ao equipamento instalado. Quando há a necessidade de atuação da proteção de retaguarda remota tem-se um retardo de tempo e geralmente, uma quantidade maior de equipamentos é desligado. Os relés que atuam como retaguarda remota, apesar de atuarem para faltas externas ao equipamento protegido, mandam sinais de abertura para os disjuntores que conectam o equipamento protegido ao sistema elétrico.

2.5.1 Barras

A proteção dos barramentos é uma das partes mais importantes dos sistemas elétricos. Apesar da frequência de ocorrência de faltas nas barras ser relativamente muito baixa, é uma das mais graves em termos de consequência. Quando a sua proteção atua, um amplo número de elementos elétricos que são conectados à barra é afetado. Um grande corte no fornecimento de energia acontece e a estabilidade da rede é afetada, o que pode ocasionar os maiores eventos do sistema (DONG, 2008)

Devido à natureza e às configurações dos esquemas de proteção dos barramentos, esses causam em geral, o desligamento de um número maior de equipamentos. A tolerância para faltas internas ao barramento é mínima, sendo dever do esquema de proteção empregado extinguir essas rapidamente (RIFAAT et al., 2007)

No intuito de fornecer o máximo de seletividade e proteção ao barramento, este geralmente é protegido por um relé de proteção diferencial (87). No caso de uma falta interna à barra, este atua por meio de um relé de bloqueio (86) sinalizando atuação da proteção seletiva e enviando um sinal de abertura para todos os disjuntores conectados a barra.

Geralmente, os barramentos não possuem proteções de retaguarda local, assim no caso de falha de atuação da proteção seletiva, a eliminação da falta depende da retaguarda remota de sua vizinhança. As proteções de barra também não contam com proteções de retaguarda remota para suas vizinhanças. A proteção das barras é elaborada de forma a não disparar para faltas externas à mesma. (HOLBACH, 2009). De forma que qualquer falta externa a barra na qual a proteção principal/retaguarda local do equipamento falhe em atuar, a falta se propagaria para toda a vizinhança da barra, cabendo a estes eliminar a falta.

2.5.2 Transformadores

Os transformadores estão sujeitos a diversos de tipos de falta, classificadas em duas diferentes classes: faltas externas e internas ao transformador. Em linhas gerais, faltas externas são aquelas que ocorrem fora do transformador e que apresentam riscos ao equipamento. Podem estar associados a sobrecarga, sobretensão, subfrequência e curtos-circuitos no sistema elétrico de potência (SEP). Por outro lado, faltas internas ocorrem dentro da zona de proteção do transformador, podendo ser classificada de duas maneiras, faltas incipientes e faltas ativas. Faltas incipientes correspondem a faltas que se desenvolvem lentamente (sobreaquecimento, sobrefluxo e sobrepressão) e podem ocasionar faltas de maior magnitude caso a causa do defeito não seja corrigida (OLIVEIRA, 2013).

Dependendo da potência do transformador a ser protegido, várias filosofias de proteção podem ser empregadas, levando em consideração a importância do equipamento dentro do sistema de potência, relés mais sofisticados e confiáveis

serão empregados na sua proteção. É bastante comum, grandes transformadores serem protegidos por meio da proteção diferencial (87) e Buchholz (63). A proteção de retaguarda é feita, por meio de relés de sobrecorrente e/ou fusíveis. Pequenas unidades com alimentação unilateral podem contentar-se com a proteção através de relés de sobrecorrente temporizados (51) e/ou fusíveis. A proteção contra sobrecarga é realizada por meio de dispositivo térmico (26) e relé de imagem térmica (49) (CAMINHA, 1977).

Independentemente da filosofia de proteção escolhida para proteger o transformador pode-se dizer que os esquemas atuam por proteção principal, proteção de retaguarda local e proteção de retaguarda remota. As duas primeiras estão destinadas a extinguir faltas internas ao transformador de forma seletiva. A proteção de retaguarda remota destina-se a isolar faltas na vizinhança do transformador, atuando somente para faltas externas ao mesmo.

No caso de qualquer falta interna ao transformador a operação da proteção seletiva do transformador atua abrindo os disjuntores diretamente ligados ao transformador. Já a proteção de retaguarda remota atua, com certo retardo, para faltas externas ao transformador. A atuação da proteção do transformador por retaguarda remota visa proteger o transformador no caso de falha das proteções principais e equipamentos adjacentes. Independente da direção da falta, a proteção de retaguarda remota atua abrindo ambos os disjuntores principais do transformador, sinalizando a atuação da proteção de retaguarda para uma falta externa ao mesmo.

2.5.3 Linhas de transmissão

As linhas de transmissão são importantes elementos nos sistemas de transmissão de energia elétrica, chegando a ter alguns milhares de quilômetros de extensão. O sistema da CEEE, por exemplo, possui mais de 6000 km de extensão, com operação de 230, 138 e 69 kV. Tais extensões tornam as linhas de transmissão extremamente susceptíveis à ação da natureza, como ventos, insolações e tempestades, bem como intervenção humana, como queimadas e ações de vandalismo.

Para proteção de linhas de transmissão são utilizadas os de relés de distância, localizados nas duas extremidades da mesma. Cada terminal é protegido por um

relé de distância (21), que além de proteger seletivamente a linha é capaz de atuar como retaguarda local e remota para os equipamentos adjacentes à mesma. Varias filosofias podem ser empregadas e os relés podem ser calibrados para ter quatro diferentes zonas de atuação. Apesar desta diversidade de filosofias de proteção é possível generalizar a forma com que as proteções seletivas e de retaguarda atuam. Para faltas internas a atuação da proteção seletiva abre ambos os disjuntores da LT. Em faltas externas a atuação da proteção de retaguarda remota atua abrindo o disjuntor contrário a direção da falta.

2.6 Considerações finais

Este capítulo abordou os fundamentos teóricos envolvidos na estimação da seção em falta. Foram definidos eventos múltiplos, alarmes falsos, alarmes falhos e a teoria de parcimônia. A forma com que as proteções principais, retaguardas local e remota atuam nos sistemas de potência foram brevemente conceituadas. Foram também apresentadas as consequências no caso de atuação de cada uma destas.

O problema foi caracterizado, demonstrando as dificuldades enfrentadas pelos operadores dos centros de controle durante grandes contingências. Uma ferramenta computacional como a proposta nesse trabalho deve ser capaz de lidar com o volume de informações envolvido nestas situações em um tempo hábil, possibilitando o reestabelecimento do sistema, ou ao menos parte dele.

3 GERAÇÃO EM TEMPO REAL DE PADRÕES DE CAUSA E EFEITO

3.1 Considerações gerais

Estimadores de secção em falta baseados no processamento de alarmes, dependem necessariamente de uma base que relacione as possíveis ocorrências do sistema elétrico de potência com as respectivas sinalizações dos dispositivos de proteção esperadas durante a ocorrência.

Este capítulo aborda os problemas relacionados com a elaboração de padrões de eventos e alarmes. Serão abordadas as dificuldades e a complexidade relacionada com a criação de uma base de dados utilizada para esse fim. Também será discutida a importância da base de dados refletir fielmente a configuração do sistema.

Para que a base de padrões de eventos e alarmes seja mantida atualizada para todo tipo de mudança na topologia, é proposto um algoritmo capaz de gerar padrões genéricos para a topologia. O algoritmo proposto usa como entrada um cadastro dos equipamentos do sistema e os elementos de ligação entre os mesmos em conjunto com a leitura dos estados dos disjuntores, fornecido pelo sistema supervisor de aquisição e controle de dados (SCADA).

3.2 Elaboração de padrões de eventos e alarmes

A base de dados além de conter padrões já conhecidos pelos operadores do sistema deve também conter padrões elaborados através do estudo da proteção de cada equipamento. Estes dois tipos de conjuntos fornecem fundamento suficiente para a ferramenta de estimação da secção em falta indicar ao operador uma falta já ocorrida, ao mesmo tempo em que consegue sugerir boas respostas a novos eventos.

As sobreposições de zonas de proteção dos equipamentos do sistema elétrico tornam os esquemas de proteções mais seguros, fornecendo proteção de retaguarda no caso de falhas de atuações dos dispositivos. Porém considerar essas sobreposições nas zonas de proteção dificulta a elaboração de diagramas de causa

efeito através do estudo da proteção do sistema. Quando consideradas nos eventos, as proteções das vizinhanças aproximam os conjuntos padrões da realidade encontrada nos centros de controle, uma vez que estas desempenham papel fundamental no caso de falha da proteção de algum equipamento.

As redundâncias de proteções (tanto remota quanto local) quando consideradas nos conjuntos de padrões geram dependência entre o conjunto criado e a topologia do sistema. Assim um diagrama causa efeito elaborado através do estudo de proteções de retaguardas locais e remotas somente reproduz as ocorrências da topologia inicialmente proposta. Um diagrama de causa efeito criado para uma determinada topologia, só será válido se a mesma não sofrer alterações, uma vez que a simples energização de uma linha de transmissão pode mudar as ligações feitas em vários pontos do sistema elétrico envolvido. Os conjuntos de alarmes relativos à linha de transmissão não poderiam simplesmente ser removidos do diagrama de causa e efeito, já que a conclusão sobre os eventos ocorridos na vizinhança da linha removida é afetada por todos os alarmes que o compõem.

Além das mudanças de topologia ainda é necessário lidar com o grande volume de informações envolvido no uso de uma ferramenta de estimação da secção em falta para um sistema elétrico real. Criar padrões de alarmes para toda uma rede elétrica é muito trabalhoso, as proteções de cada equipamento devem ser analisados individualmente e depois ainda em conjunto com as proteções de retaguarda remota dos equipamentos vizinhos.

Como solução ao problema de elaboração de padrões de eventos e alarmes este trabalho propõe uma ferramenta capaz de gerar os padrões utilizados na estimação da secção em falta. A ferramenta de geração de padrões passa basicamente por 5 passos para elaborar o conjunto final de eventos e alarmes:

- Cadastro dos equipamentos do sistema;
- Geração da base de dados inicial;
- Cruzamento de informações (montagem das vizinhanças);
- Importação de alarmes;
- Eliminação de alarmes redundantes.

O fluxograma da Figura 3.1 apresenta os passos da metodologia proposta para o gerador de eventos a ser usado na estimação da secção em falta.

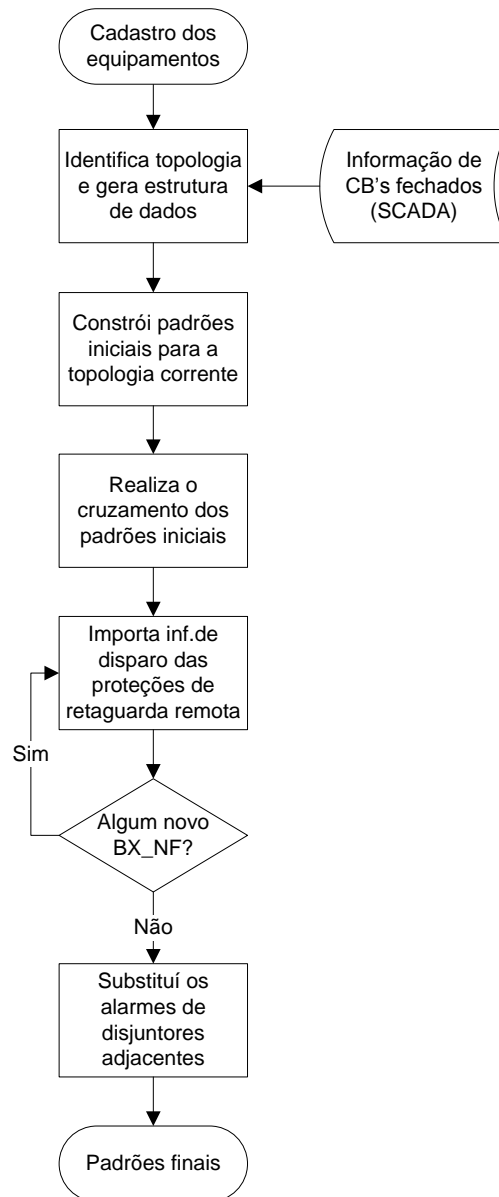


Figura 3.1 – Fluxograma da geração de padrões.

Esses passos são descritos detalhadamente nas seções seguintes.

3.3 Cadastro dos equipamentos

Inicialmente é necessário fornecer para o algoritmo informações quanto às ligações do sistema elétrico. Essa primeira etapa é um cadastro dos equipamentos do sistema elétrico e dos elementos que os ligam, assim são relacionadas as secções passíveis de falta aos disjuntores (elementos de ligação) do sistema de potência.

O cadastro é simples, e necessita apenas que fiquem evidentes quais disjuntores conectam um determinado equipamento do sistema elétrico. A Tabela 3.1 mostra as informações necessárias no cadastro de equipamentos de um sistema elétrico com 4 linhas de transmissão, 1 transformador e 6 barras. Partindo da informações contidas na Tabela 3.1 é possível analisar quais são as conexões do sistema elétrico, bastando avaliar os disjuntores comuns aos equipamentos.

Tabela 3.1 – Ligações de um sistema

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB1	Barra B1	Linha L1
CB2	Barra B2	Linha L1
CB3	Barra B2	Linha L2
CB4	Barra B4	Linha L2
CB5	Barra B3	Linha L3
CB6	Barra B4	Linha L3
CB7	Barra B4	Transformador T1
CB8	Barra B5	Transformador T1
CB9	Barra B5	Linha L4
CB10	Barra B6	Linha L4

Uma vez elaborado o cadastro, a topologia do sistema pode ser representada a partir da leitura dos status dos disjuntores, sem necessidade de informações adicionais. Considerando que todos os disjuntores estão fechados, é montado o sistema de potência da Figura 3.2.

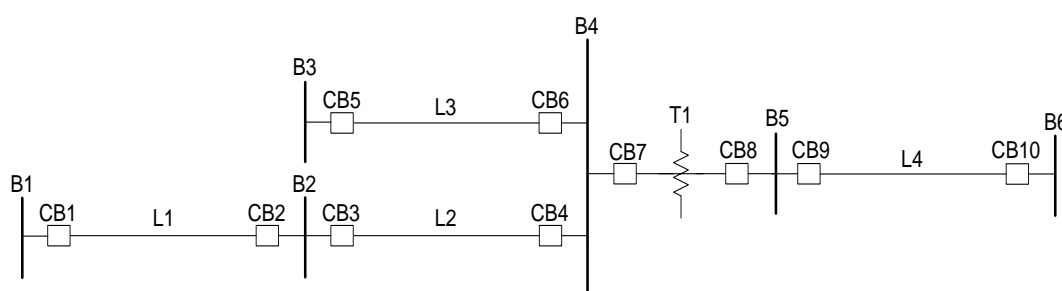


Figura 3.2 – sistema teste.

3.4 Base de dados inicial

O conjunto de alarmes disparado em caso de falta em um equipamento não depende somente da proteção associada a ele, mas sim de toda a sua vizinhança. A proteção da vizinhança de um equipamento em falta oferece importantes informações sobre o ocorrido, mesmo que seja somente a afirmação de que não foi sensibilizada. Se a base de dados não contemplar tais informações, os padrões se tornam pobres e a ferramenta de processamento de alarmes dificilmente conseguirá lidar com situações mais complexas, onde atuações incorretas ou aquisições de alarmes ruidosos tornam os conjuntos de alarmes recebidos diferente do esperado pelos padrões.

Para que os dispositivos de proteção das vizinhanças sejam considerados nos conjuntos de padrões de eventos e alarmes durante uma ocorrência, tem-se que identificar individualmente cada vizinhança de um equipamento. Em outras palavras, analisa-se o tipo de vizinhança envolvida em cada conexão do sistema (disjuntor).

Na primeira etapa de cadastro já são fornecidas as informações necessárias à ferramenta, uma vez que são cadastrados os elementos conectados por cada disjuntor do sistema, bastando reconhecer os dois tipos de equipamentos conectados pelo disjuntor.

3.4.1 Leitura de estado dos disjuntores

Para que a base de dados seja mantida atualizada, o algoritmo necessita que seja incluído como entrada, informações referentes ao estado atualizado de todos os disjuntores do sistema. As possíveis conexões já estão cadastradas, bastando o algoritmo conferir o estado para saber quais são as ligações válidas do sistema.

Quando fornecida a informação quanto ao estado dos disjuntores do sistema o algoritmo automaticamente deixa de considerar as conexões dos equipamentos desenergizados do sistema. De forma a não ter que em passos futuros excluir alarmes devido a mudanças topológicas. Sempre que o operador de centro de operação achar pertinente atualizar os padrões, os padrões são novamente gerados, mantendo a ferramenta de estimação da seção em falta em conformidade com a configuração da topologia.

3.4.2 Adjacência de disjuntores

Uma vez que já são conhecidos os vizinhos de um equipamento, é necessário identificar as possíveis conexões destes vizinhos. Através destas informações é possível estabelecer um perímetro maior para sinalizações disparadas durante uma falta em determinada secção do sistema elétrico. Assim, além das proteções dos vizinhos diretos de um equipamento, são ainda consideradas as proteções remotas (quando disponíveis) de equipamentos adjacentes aos vizinhos da secção em falta.

Para que a ferramenta reconheça estas vizinhanças, é necessário conhecer os disjuntores responsáveis por tais conexões. Neste trabalho, as conexões que conectam os equipamentos adjacentes à vizinhança de uma secção são chamadas de disjuntores adjacentes.

Este tipo de informação quando adicionada aos padrões de eventos e alarmes, permite um estudo mais abrangente das faltas. É possível, por exemplo, estabelecer uma linha de estudo para desligamentos em cascata e falha de atuações de uma ou mais proteções.

Baseado no primeiro sistema teste, a Figura 3.3 apresenta dois exemplos com disjuntores principais (em cinza) e de disjuntores adjacentes (em azul).

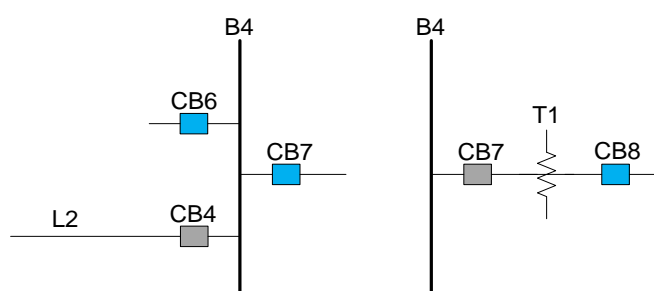


Figura 3.3 – Disjuntores principais e disjuntores adjacentes.

Analisando a conexão que existe entre a linha L2 e a barra B4, tem-se CB4 responsável pela conexão entre L2 e B4, enquanto que CB6 e CB7 são os elos entre B4 e as outras ligações do sistema. Neste primeiro momento não é necessário saber quais são os equipamentos conectados à CB6 e CB7, embora tal informação esteja disponível já que as demais ligações já estão cadastradas. Na conexão entre a barra B4 e o transformador T1, CB7 não é um disjuntor adjacente como no caso anterior. Para esta conexão o dispositivo é o disjuntor principal da conexão, enquanto CB8 é o disjuntor adjacente, responsável por conectar a ligação entre B4 e T1 aos equipamentos adjacentes à T1.

Para que todas estas proteções de retaguarda remotas sejam incluídas nos padrões, o algoritmo gera inicialmente uma base de dados onde é feita uma análise das conexões do sistema, evidenciando os disjuntores que são adjacentes às secções analisadas, e da capacidade de atuação de cada vizinho para faltas externas a ele. Desta forma para cada vizinho de cada equipamento é montada uma pequena relação de causa efeito que depende do tipo de vizinhança e dos disjuntores a estes conectados. É importante ressaltar que o estado dos disjuntores já foi usado no algoritmo, assim são considerados somente os disjuntores fechados e os equipamentos energizados.

No capítulo 2.4 são descritas as filosofias de proteção de retaguarda remota de cada equipamento. Em resumo pode-se dizer que a proteção de retaguarda remota de uma LT atua abrindo o disjuntor contrário à direção da falta, a de um transformador abre ambos os disjuntores e que para os barramentos não há atuação alguma para faltas externas.

A Tabela 3.2 apresenta a base de dados inicial gerada pelo algoritmo para alguns dos equipamentos do sistema elétrico da Figura 3.2. Neste caso são considerados todos os disjuntores do sistema fechados. Os dados apresentados na Tabela 3.2 mostram a vizinhança de cada equipamento e a forma como os mesmos estão dispostos na rede. No caso de falha de abertura do disjuntor principal (elemento de ligação entre os dois equipamentos), é elaborado um conjunto que inclui o tipo de sinalização para proteção de retaguarda remota do equipamento vizinho e os disjuntores adjacentes ao principal.

Tabela 3.2– Padrões iniciais

Equipamento	Direção	Principal	Adjacências	Base de dados	
				Normal	Falha de proteção
Barra B2	Linha L2	CB3	CB4	B2_PS, L2_RR(B2), CB3	B2_PS, L2_RR(B2), CB4
	Linha L1	CB2	CB1	B2_PS, L1_RR(B2), CB2	B2_PS, L1_RR(B2), CB1
Barra B4	Linha L3	CB6	CB5	B4_PS, L3_RR(B4), CB6	B4_PS, L3_RR(B4), CB5
	Linha L2	CB4	CB3	B4_PS, L2_RR(B4), CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB3
	Trafo T1	CB7	CB8	B4_PS, T1_NA, CB7	B4_PS, T1_RR, CB7, CB8

Equipamento	Direção	Principal	Adjacências	Base de dados	
				Normal	Falha de proteção
Barra B5	Trafo T1	CB8	CB7	B5_PS, T1_NA, CB8	B5_PS, T1_RR, CB8, CB7
	Linha L4	CB9	CB10	B5_PS, L4_RR(B5), CB9	B5_PS, L4_RR(B5), CB10
Linha L2	Barra B2	CB3	CB2	L2_PS, B2_NA, CB3	L2_PS, B2_NA, CB2
	Barra B4	CB4	CB6, CB7	L2_PS, B4_NA, CB4	L2_PS, B4_NA, CB6, CB7
Trafo T1	Barra B4	CB7	CB4, CB6	T1_PS, B4_NA, CB7	T1_PS, B4_NA, CB6, CB4
	Barra B5	CB8	CB9	T1_PS, B5_NA, CB8	T1_PS, B5_NA, CB9

No conjunto de atuação Normal da proteção na conexão de B4 e T1, há a sinalização de atuação da proteção seletiva B4_PS, a confirmação de não atuação da proteção do Trafo (T1_NF) e a abertura de CB7. Na elaboração do conjunto de falha de proteção, a confirmação de não atuação da proteção de T1 é substituída pela sinalização de retaguarda remota T1_RR e pelas aberturas dos disjuntores CB7 e CB8, devido à forma de atuação da retaguarda remota do transformador.

Nas conexões em que a retaguarda remota é realizada pela proteção de uma linha de transmissão, a sinalização da Lx_RR é mantida, uma vez que há a sensibilização da mesma em ambos os casos. Porém no conjunto de falha de proteção o alarme de disjuntor principal é substituído pelo disjuntor adjacente à conexão. No caso de B5 e L4, os conjuntos de atuação normal e de falha de proteção são bastante semelhantes, diferenciando-se apenas pelos alarmes CB9 e CB10.

É importante ressaltar que alguns dos conjuntos as informações ainda não mostram exatamente a forma como a proteção do sistema atua, mostrando somente a direção na qual a falta se propagará no caso de falha da proteção principal.

3.5 Cruzamento de informações

Até o presente momento, foram feitas somente análises individuais para cada conexão de uma secção. É necessário unir todas estas informações para que a vizinhança de cada secção seja composta e aí sim elaborar os padrões finais de eventos e alarmes. Para tal, é necessário cruzar as informações contidas nos

conjuntos da base de dados inicial dos equipamentos. É feita então a união dos conjuntos de atuações normais do equipamento e em seguida a falha de atuação de um vizinho com a atuação normal dos outros. Desta forma são elaborados conjuntos contendo a falha de um dispositivo de proteção por vez, além do conjunto que representa as sinalizações esperadas na atuação correta de todos os dispositivos.

A Tabela 3.3 apresenta seis conjuntos simbólicos (A, B, C, D, E e F), enquanto que a Tabela 3.4 a forma como é feita a união destes conjuntos considerando as falhas dos disjuntores. Considere os disjuntores CBa, CBb e CBc como disjuntores principais das conexões A, B e C respectivamente.

Tabela 3.3 – Conjuntos

Conjuntos	
Normal	Falha de proteção
A	D
B	E
C	F

Tabela 3.4 – União de conjuntos

Atuação	Cruzamento
Normal	A, B, C
Falha CBa	D, B, C
Falha CBb	E, A, C
Falha CBc	F, A, B

Os conjuntos simbólicos representam a forma como são cruzadas as informações a fim de elaborar os padrões considerando a falha de um dispositivo de proteção por vez, enquanto todos os outros atuam corretamente. É feita sempre a alteração de um dos conjuntos por vez. Ao comparar o padrão de atuação Normal na Tabela 3.4 com os três padrões de Falhas notamos que há a substituição de somente um dos conjuntos A, B ou C por vez, dando espaço para o conjunto de falha de proteção D, E e F, respectivamente.

Considerando as informações da Tabela 3.2, a Tabela 3.5 mostra os cruzamentos feitos para a barra B4, linha de transmissão L2 e transformador T1.

É importante ressaltar que tais conjuntos não demonstram como a proteção do sistema atua no caso de uma falta no equipamento, mas sim a forma com que os equipamentos estão interligados no momento pré-falta. Desta forma, os conjuntos de falha de disjuntores, não demonstram todas as retaguardas remotas atuando, nem a abertura correta dos disjuntores, mas mostra quais equipamentos estão conectados e os possíveis responsáveis por eliminar a falta neste caso.

Tabela 3.5 – Cruzamento dos padrões iniciais do sistema teste

Equip	Atuação	Cruzamento
B4	Normal	B4_PS, L3_RR(B4), CB6, B4_PS, L2_RR(B4), CB4, B4_PS, T1_NA, CB7
	Falha CB6	B4_PS, L3_RR(B4), CB5, B4_PS, L2_RR(B4), CB4, B4_PS, T1_NA, CB7
	Falha CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB3, B4_PS, L3_RR(B4), CB6, B4_PS, T1_NA, CB7
	Falha CB7	B4_PS, T1_RR, CB7, CB8, B4_PS, L3_RR(B4), CB6, B4_PS, L2_RR(B4), CB4
L2	Normal	L2_PS, B2_NA, CB3, L2_PS, B4_NA, CB4
	Falha CB3	L2_PS, B2_NA, CB2, L2_PS, B4_NA, CB4
	Falha CB4	L2_PS, B4_NA, CB6, CB7, L2_PS, B2_NA, CB3
T1	Normal	T1_PS, B4_NA, CB7, T1_PS, B5_NA, CB8
	Falha CB7	T1_PS, B4_NA, CB6, CB4, T1_PS, B5_NA, CB8
	Falha CB8	T1_PS, B5_NA, CB9, T1_PS, B4_NA, CB7

3.5.1 Mudanças na topologia

Para exemplificar a forma com a qual o estado dos disjuntores altera a topologia e, conseqüentemente, os conjuntos e padrões elaborados, um exemplo onde CB5 e CB6 são considerados abertos é apresentado. A Figura 3.4 mostra mudança na topologia devido a abertura dos disjuntores CB5 e CB6 (em verde).

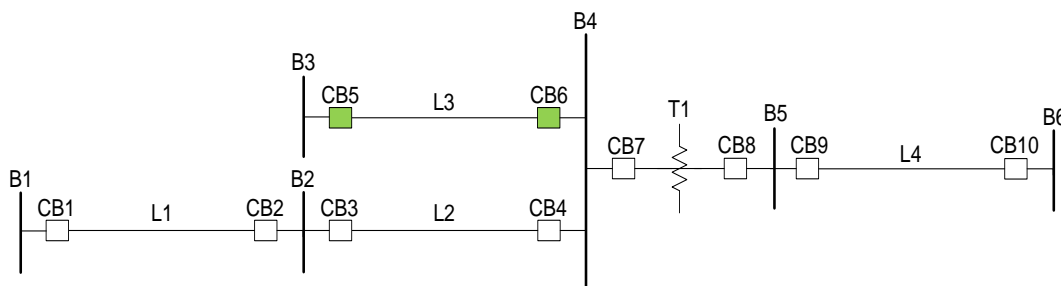


Figura 3.4 – Sistema teste com disjuntores CB5 e CB6 abertos.

A Tabela 3.6 mostra como ficaria o passo a passo da geração de padrões para os equipamentos B4, L2, e T1, considerando a topologia apresentada na Figura 3.3.

Tabela 3.6 – Geração de eventos para CB5 e CB6 abertos

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB1	Barra B1	Linha L1
CB2	Barra B2	Linha L1
CB3	Barra B2	Linha L2
CB4	Barra B4	Linha L2
CB7	Barra B4	Trafo T1
CB8	Barra B5	Trafo T1
CB9	Barra B5	Linha L4
CB10	Barra B6	Linha L4

(a)

Equipamento	Direção	Principal	Adjacências	Base de dados	
				Normal	Falha de proteção
Barra B2	Linha L2	CB3	CB4	B2_PS, L2_RR(B2), CB3	B2_PS, L2_RR(B2), CB4
	Linha L1	CB2	CB1	B2_PS, L1_RR(B2), CB2	B2_PS, L1_RR(B2), CB1
Barra B4	Linha L2	CB4	CB3	B4_PS, L2_RR(B4), CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB3
	Trafo T1	CB7	CB8	B4_PS, T1_NA, CB7	B4_PS, T1_RR, CB7, CB8
Barra B5	Trafo T1	CB8	CB7	B5_PS, T1_NA, CB8	B5_PS, T1_RR, CB8, CB7
	Linha L4	CB9	CB10	B5_PS, L4_RR(B5), CB9	B5_PS, L4_RR(B5), CB10
Linha L2	Barra B2	CB3	CB2	L2_PS, B2_NA, CB3	L2_PS, B2_NA, CB2
	Barra B4	CB4	CB7	L2_PS, B4_NA, CB4	L2_PS, B4_NA, CB7
Trafo T1	Barra B4	CB7	CB4	T1_PS, B4_NA, CB7	T1_PS, B4_NA, CB4
	Barra B5	CB8	CB9	T1_PS, B5_NA, CB8	T1_PS, B5_NA, CB9

(b)

Equipamento	Atuação	Cruzamento
B4	Normal	B4_PS, L2_RR(B4), CB4, B4_PS, T1_NA, CB7
	F. CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB3, B4_PS, T1_NA, CB7
	F. CB7	B4_PS, T1_RR, CB7, CB8, B4_PS, L2_RR(B4), CB4
L2	Normal	L2_PS, B2_NA, CB3, L2_PS, B4_NA, CB4
	F. CB3	L2_PS, B2_NA, CB2, L2_PS, B4_NA, CB4
	F. CB4	L2_PS, B4_NA, CB7, L2_PS, B2_NA, CB3
T1	Normal	T1_PS, B4_NA, CB7, T1_PS, B5_NA, CB8
	F. CB7	T1_PS, B4_NA, CB4, T1_PS, B5_NA, CB8
	F. CB8	T1_PS, B5_NA, CB9, T1_PS, B4_NA, CB7

(c)

A Tabela 3.6 (a) representa a topologia do sistema com eliminação dos dados referentes aos disjuntores abertos, (b) os padrões gerados inicialmente para a dada topologia e (c) o resultado do cruzamento dos padrões iniciais para os conjuntos dos equipamentos B4, L2 e T1.

A forma como são feitos os padrões iniciais e o cruzamentos dos conjuntos que representam as situações normais e de falhas de cada um dos disjuntores é sempre a mesma. A mudança dos dados de entrada é o que resulta na adaptação do gerador para as diferentes topologias. A utilização de um mesmo procedimento permite ao mesmo algoritmo gerar padrões para as mais diferentes topologias do sistema elétrico. Assim os padrões são adaptados no caso de manobras nas subestações, manutenção de linhas de transmissão, inclusão de novos equipamentos ao sistema e sequências de faltas no sistema com a desenergização de equipamentos.

3.6 Importação de alarmes

Uma vez representada a topologia e a forma como os equipamentos estão dispostos no sistema, é necessário ainda analisar o comportamento da proteção de cada vizinhança. Da mesma forma com a qual eletricamente uma barra representa

um nó no sistema de potência, é possível assumir que seus conjuntos de padrões são nós nos padrões de eventos e alarmes. Desta forma informações quanto a atuações de proteções remotas para faltas na barra podem ser analisadas e estendidas para todos os vizinhos da mesma.

Informações quanto atuação ou sensibilização de relés de proteção de retaguarda remota contidas nos conjuntos das barras pode ser incluída nas suas vizinhanças. Nos conjuntos de alarmes dos equipamentos, os alarmes que representam a confirmação de Não atuação da proteção da barra, da forma Bx_NA, são utilizados para importar informações das retaguardas remotas dos barramentos. Desta forma cada Bx_NA serve como elo, trazendo para sua vizinhança todos os alarmes de proteção de retaguarda remota contida nos conjuntos de falha de proteção de seus padrões.

A Tabela 3.7 apresenta as sinalizações de atuação de retaguardas remotas dos padrões das barras do sistema teste da Figura 3.2.

Tabela 3.7 – Importação de sinalizações de retaguardas remotas

Equipamento	Base de dados	
	Conjunto	Atuação de retaguardas remotas
Barra B2	B2_PS, L2_RR(B2), CB3 B2_PS, L1_RR(B2), CB2	L2_RR(B2), L1_RR(B2)
Barra B4	B4_PS, L3_RR(B4), CB6 B4_PS, L2_RR(B4), CB4 B4_PS, T1_NA, CB7	L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA
Barra B5	B5_PS, T1_NA, CB8 B5_PS, L4_RR(B5), CB9	T1_NA, L4_RR(B5)

Como apresentado na Tabela 3.7 as sinalizações B2_NA de todos os equipamentos vizinhos a B2 são substituídas pelos alarmes L2_RR(B2) e L1_RR(B2). A sinalização B4_NA é substituída pelos alarmes L3_RR(B4), L2_RR(B4) e T1_NA. Os conjuntos a serem importados são montados analisando os conjuntos de falha de atuação dos disjuntores principais das barras, desconsiderando somente o alarme de confirmação da barra em falta.

Como dito anteriormente, as sinalizações dos disjuntores adjacentes são usadas simplesmente como elementos de ligação entre vizinhanças e não são necessariamente os elementos que abrem no caso de falhas na abertura do

disjuntor principal. Desta forma, é necessário ainda substituir as sinalizações dos disjuntores adjacentes contidos nos padrões pelas sinalizações dos dispositivos atuantes.

Os alarmes de disjuntores adjacentes são então substituídos por parte dos conjuntos de falha de proteção da base de dados inicial nos padrões das barras. Como os disjuntores principais das barras a conectam a equipamentos protegidos por relés de retaguarda remota usa-se essa conexão para importar as reais sinalizações disparadas. A Tabela 3.8 mostra os conjuntos de alarmes substitutos pelas sinalizações de disjuntores adjacentes.

Tabela 3.8 – Importação de sinalizações de disjuntores adjacentes

Equip.	Principal	Base de dados		Substituição para CB's adjacentes
		Normal	Falha de proteção	
Barra B2	CB3	B2_PS, L2_RR(B2), CB3	B2_PS, L2_RR(B2), CB4	L2_RR(B2), CB4
	CB2	B2_PS, L1_RR(B2), CB2	B2_PS, L1_RR(B2), CB1	L1_RR(B2), CB1
Barra B4	CB6	B4_PS, L3_RR(B4), CB6	B4_PS, L3_RR(B4), CB5	L3_RR(B4), CB5
	CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB3	L2_RR(B4), CB3
	CB7	B4_PS, T1_NA, CB7	B4_PS, T1_RR, CB7, CB8	T1_RR, CB7, CB8
Barra B5	CB8	B5_PS, T1_NA, CB8	B5_PS, T1_RR, CB8, CB7	T1_RR, CB8, CB7
	CB9	B5_PS, L4_RR(B5), CB9	B5_PS, L4_RR(B5), CB10	L4_RR(B5), CB10

Os conjuntos que são utilizados na importação de alarmes são subconjuntos do conjunto de falha de proteção das barras. Nos padrões iniciais de B2 para o disjuntor principal CB3, o conjunto que a ser importado quando CB3 for o disjuntor adjacente será L2_RR(B2) e CB4. Desta forma a sinalização de CB3 é usada como um elo (disjuntor adjacente à ligação), dando lugar a L2_RR(B2) e CB4, uma vez que o dispositivo a ser aberto é CB4 através da PRR de L2.

Para exemplificar a importação de alarmes, será realizada a importação de alarmes para os conjuntos de padrões da Tabela 3.5. A Tabela 3.9 apresenta a forma como os alarmes são importados para os padrões de B4, L2 e T1. Em azul estão os alarmes importados pelas proteções de retaguarda remota que atuam nas

barras (através de BX_NA) e em verde os alarmes que irão substituir os disjuntores não principais à secção (disjuntores adjacentes).

Tabela 3.9 – Processo de importação de alarmes

Equip	CBs pp	CBs adj	Atuação	Cruzamento
B4	CB6, CB4, CB7	CB5, CB3, CB8	Normal	B4_PS, L3_RR(B4), CB6, B4_PS, L2_RR(B4), CB4, B4_PS, T1_NA, CB7
			F. CB6	B4_PS, L3_RR(B4), CB5, B4_PS, L2_RR(B4), CB4, B4_PS, T1_NA, CB7
			F. CB4	B4_PS, L2_RR(B4), CB3, B4_PS, L3_RR(B4), CB6, B4_PS, T1_NA, CB7
			F. CB7	B4_PS, T1_RR, CB7, CB8, B4_PS, L3_RR(B4), CB6, B4_PS, L2_RR(B4), CB4
L2	CB3, CB4	CB2, CB6, CB7	Normal	L2_PS, B2_NA (L2_RR(B2), L1_RR(B2)), CB3, L2_PS, B4_NA (L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA), CB4
			F. CB3	L2_PS, B2_NA (L2_RR(B2), L1_RR(B2)), CB2 (L1_RR(B2), CB1), L2_PS, B4_NA (L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA), CB4
			F. CB4	L2_PS, B4_NA (L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA), CB6 (L2_RR(B4), CB3), CB7 (T1_RR, CB7, CB8), L2_PS, B2_NA (L2_RR(B2), L1_RR(B2)), CB3
T1	CB7, CB8	CB4, CB6, CB9	Normal	T1_PS, B4_NA (L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA), CB7, T1_PS, B5_NA (T1_NA, L4_RR(B5)), CB8
			F. CB7	T1_PS, B4_NA (L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA), CB6 (L3_RR(B4), CB5), CB4 (L2_RR(B4), CB3), T1_PS, B5_NA (T1_NA, L4_RR(B5)), CB8
			F. CB8	T1_PS, B5_NA (T1_NA, L4_RR(B5)), CB9 (L4_RR(B5), CB10), T1_PS, B4_NA (L3_RR(B4), L2_RR(B4), T1_NA), CB7

As colunas referentes aos disjuntores principais (CBs pp) e disjuntores adjacentes (CBs adj) são usadas como referência para identificar as sinalizações de disjuntores aos quais deve ser aplicado o processo de substituição pelos conjuntos de falha de abertura do disjuntor de barras. Nos padrões das barras os disjuntores pertencentes a ambos os grupos (pp e adj) devem ser mantidos. É necessário manter estas sinalizações nos conjuntos, pois os disjuntores principais são abertos pela proteção principal da barra, enquanto que os adjacentes são operados pelas proteções de retaguarda remota de seus vizinhos, não havendo necessidade de substituição dos conjuntos de alarmes.

No caso de haver vizinhanças entre duas barras, como nas barras de manobra em subestações, o processo de importação de alarmes para os disjuntores conectados à barra adjacente permanece o mesmo. Neste caso há a necessidade da importação, pois a barra vizinha não possui proteção de retaguarda remota (PRR) capaz de atuar na falha de abertura do disjuntor de interligação. Assim, o

processo se repete para linhas de transmissão e transformadores, buscando pelos subconjuntos dos conjuntos de falha de abertura da barra vizinha.

Nos padrões da linha L2 são importados os alarmes L1_RR(B2), L2_RR(B4), L3_RR(B4) e T1_NA através dos alarmes B2_NA e B4_NA. Desta forma são incluídas as informações referentes às sensibilizações dos relés de distância das linhas L1 e L3, e de não atuação do transformador T1. A inconsistência do alarme L2_RR(B4) será tratada mais adiante, onde serão feitas a eliminação de alguns alarmes. Na falha de abertura de CB4, a falta se propaga na direção da barra B4, cabendo a L3 e T1 eliminarem a falta. A substituição do alarme CB6 pelos alarmes L3_RR(B4) e CB5, e do alarme CB7 pelos alarmes T1_RR, CB7 e CB8 caracterizam tal evento. Assim os alarmes CB6 e CB7, usados como indicações das ligações nos conjuntos iniciais dão espaço para os conjuntos reais de sinalizações. O mesmo vale no caso de falha de abertura de CB3, onde a sinalização CB2 é removida e L1_RR(B2) e CB1 são adicionados, dando informações quanto à abertura de CB1 e sensibilização do relé de distância da linha L1 para uma falta na direção P.

Nos padrões de T1 o conjunto referente a falha de abertura do disjuntor CB7 existem dois alarmes de disjuntores adjacentes para serem substituídos, CB4 e CB6. Estes dão lugar à L3_RR(B4), CB5, L2_RR(B4) e CB3. Assim, no caso de falha na abertura de CB4, as proteções de L2 e L3 atuam abrindo CB3 e CB5 respectivamente. Para as proteções de retaguardas remotas importadas através das sinalizações das barras B4_NA e B5_NA tem-se L3_RR(B4), L2_RR(B4) e L4_RR(B5), adicionando a informação quanto a sensibilização da proteção de retaguarda remota das três linhas vizinhas.

3.7 Eliminação de alarmes redundantes

Após o processo de importação de alarmes, os padrões já refletem a realidade de atuação da proteção. Porém é necessário ainda refinar os conjuntos, a fim de eliminar algumas inconsistências geradas nos conjuntos de padrões. Alarmes redundantes podem surgir durante os passos de cruzamento e de importação. No caso de redundância de alarmes, as sinalizações repetidas são eliminadas, mantendo no conjunto somente um dos alarmes, enquanto que no caso de

inconsistência de alarmes é necessário fazer uma análise do alarme que deve permanecer no conjunto.

As redundâncias de alarmes são originadas quando uma ou mais sinalizações importam o mesmo alarme, pode-se notar que na Tabela 3.9 alguns alarmes aparecem repetidamente. Diversos equipamentos trazem o mesmo alarme por diferentes motivos (cruzamento de conjuntos, importação de alarmes, equipamentos em paralelo no sistema). As redundâncias são simplesmente eliminadas dos conjuntos, havendo somente a necessidade da permanência de um destes alarmes no evento gerado.

Alarmes que indiquem diferentes atuações da proteção de um mesmo equipamento tornam o padrão inconsistente. Assim algum destes alarmes deve ser eliminado para que o evento se aproxime ao máximo das ocorrências do sistema. Como uma mesma proteção não pode atuar de diferentes formas para uma mesma falta, é utilizada uma lista de prioridade de alarmes para decidir qual alarme deve ser eliminado, conforme a seguir:

$$BX_PS > BX_NA \quad (3.1)$$

$$TX_PS > TX_RR > TX_NA \quad (3.2)$$

$$LX_PS > LX_RR(B1) \wedge LX_RR(B2) \quad (3.3)$$

Nos eventos de L2 da Tabela 3.9 aparecem repetidamente as sinalizações L2_PS e L2_RR(B2), indicando atuação da proteção de retaguarda remota e principal da linha L2. Seguindo a equação 3.3, eliminam-se os alarmes do tipo L2_RR(B2), permanecendo no conjunto somente a sinalização L2_PS. A Tabela 3.10 mostra os padrões dos equipamentos B4, L2 e T1 após a eliminação dos alarmes redundantes e inconsistentes.

Tabela 3.10 – Eliminação de alarmes redundantes e inconsistentes

Equip	Atuação	Cruzamento
B4	Normal	B4_PS, L2_RR(B4), L3_RR(B4), T1_NA, CB4, CB6, CB7
	F. CB6	B4_PS, L2_RR(B4), L3_RR(B4), T1_NA, CB4, CB5, CB7
	F. CB4	B4_PS, L2_RR(B4), L3_RR(B4), T1_NA, CB3, CB6, CB7
	F. CB7	B4_PS, L2_RR(B4), L3_RR(B4), T1_RR, CB4, CB6, CB7, CB8

Equip	Atuação	Cruzamento
L2	Normal	L2_PS, B2_NA, B4_NA, L1_RR(B2), L3_RR(B4), T1_NA, CB3, CB4
	F. CB3	L2_PS, B2_NA, B4_NA, L1_RR(B2), L3_RR(B4), T1_NA, CB1, CB4
	F. CB4	L2_PS, B2_NA, B4_NA, L1_RR(B2), L3_RR(B4), T1_RR, CB3, CB7, CB8
T1	Normal	T1_PS, B5_NA, B4_NA, L2_RR(B4), L3_RR(B4), L4_RR(B5), CB7, CB8
	F. CB7	T1_PS, B5_NA, B4_NA, L2_RR(B4), L3_RR(B4), L4_RR(B5), CB3, CB5, CB8
	F. CB8	T1_PS, B5_NA, B4_NA, L2_RR(B4), L3_RR(B4), L4_RR(B5), CB7, CB10

Após a eliminação dos alarmes redundantes e inconsistentes os padrões gerados estão prontos para serem utilizados pela ferramenta de estimação da secção em falta.

3.8 Considerações finais

Este capítulo abordou a complexidade envolvida na elaboração de padrões de eventos e alarmes. Foi demonstrado que os conjuntos dependem não somente da filosofia de proteção dos equipamentos do sistema, mas também da topologia do sistema de potência.

Um estimador de secções em falta deve ser capaz de lidar com as mais diferentes ocorrências de falta em um sistema elétrico de potência. Para isso, a base de padrões que relaciona estas ocorrências com as sinalizações esperadas deve ser o mais fiel possível ao que acontece nos centros de controle. Deve-se assim tornar os padrões os mais completos quanto possível, agregando informações quanto a dispositivos de proteção de retaguarda remotas sensíveis o suficiente para fornecer informações sobre determinadas faltas.

Incluir informações de sensibilizações de retaguardas remotas não é uma tarefa fácil, uma vez que qualquer mudança na topologia invalida os padrões gerados. Mudar a forma como os equipamentos estão dispostos no sistema, muda também os equipamentos vizinhos e, conseqüentemente, as retaguardas remotas que atuam para determinadas faltas.

Para lidar com os problemas de elaboração de padrões foi proposto um modo de gerar automaticamente as relações entre eventos e alarmes. A ferramenta parte de um cadastro das ligações do sistema elétrico e da leitura dos estados dos

disjuntores do sistema elétrico de potência. Os padrões gerados são capazes de fornecer informações quanto a atuações corretas de proteções e de falha dos dispositivos de proteção dos equipamentos do sistema elétrico.

O uso de uma ferramenta capaz de gerar tais padrões torna viável o uso de estimadores de secção em falta na proporção dos sistemas elétricos de potência reais. O gerador mantém as relações de causa efeito utilizadas sempre atualizadas sem que haja necessidade de o operador refazer todos os padrões para cada mudança da topologia ou da filosofia de proteção de um equipamento.

4 ESTIMAÇÃO DA SEÇÃO EM FALTA

4.1 Considerações gerais

Técnicas computacionais capazes de realizarem o processamento de alarmes vêm sendo estudadas e propostas nos últimos anos, tais como as redes de Petri (Lo, et al., 1999), redes neurais (RODRIGUEZ et al., 1996; MACHADO et al., 2009; CARDOSO Jr et al., 2004), algoritmos genéticos (WEN & CHANG, 1995; FRITZEN et al. 2010) e lógica fuzzy (SOUZA et al. 2004; Chang, C. S et al., 1997; XIAO & WEN, 2007). Técnicas heurísticas têm mostrado eficiência na tarefa de processamento de alarmes. Porém tais técnicas apresentam problemas como dificuldade para escapar de mínimos locais, ajuste de parâmetros, treinamento e incerteza de convergência que acabam por criar barreiras ao serem implementadas em um sistema real.

Atualmente, com os avanços no desempenho de resolvidores genéricos para problemas de programação inteira, tornou-se viável utilizar formulações analíticas para solucionar o problema de processamento de alarmes. Este capítulo propõe um modelo matemático com variáveis binárias para resolução do problema de processamento de alarmes. Tal metodologia é menos dependente de ajustes de parâmetros do que heurísticas e meta-heurísticas, o que torna fácil a sua aplicação numa grande gama de instâncias do problema em questão.

4.2 Programação Inteira Binária

Um problema de Programação Inteira é um caso particular de problemas de otimização no qual as variáveis só podem assumir valores inteiros (discretos); um problema de Programação Inteira Mista é outro caso particular no qual apenas uma parte das variáveis está restrita a valores inteiros. Um subconjunto desta classe de problemas ocorre quando as variáveis do problema estão restritas a apenas dois valores (zero e um, por exemplo), constituindo a programação binária ou zero-um.

Existem diferentes abordagens para resolução de problemas de programação inteira. Entre os métodos exatos de resolução estão *branch-and-bound*, programação dinâmica, métodos baseados em relaxação lagrangeana, e métodos

baseados em programação linear, tais como *branch-and-cut*, *branch-and-price* e *branch-and-cut-and-price*. Grande parte destas técnicas é projetada para serem flexíveis e independentes de domínio, a fim de serem aplicáveis a uma grande variedade de problemas práticos sem a necessidade de desenvolvimento de estratégias específicas. De fato, em ambientes reais, flexibilidade é frequentemente um fator crítico para responder prontamente às trocas de requisitos.

Muitos dos métodos citados são implementados em resolvidores (*solvers*) de otimização como CPLEX, Lindo, XPRESS e Gurobi. Atualmente esses aplicativos conseguem tratar, de forma eficiente, instâncias de problemas de programação inteira com dimensões suficientemente grandes para serem úteis em aplicações práticas. O livro do autor Jünger et al. (2010) apresenta uma coletânea de estudos que testemunham a evolução destes métodos nos últimos 50 anos.

4.3 Modelos de programação inteira

Um problema de Programação Linear Inteira (PLI) é um problema de Programação Linear (PL) em que todas ou alguma(s) das suas variáveis são discretas (só podem assumir valores inteiros). Quando todas as variáveis estão sujeitas à condição de integralidade tem-se um problema de Programação Linear Inteira Pura (PLIP); se apenas algumas variáveis estão sujeitas à condição de integralidade trata-se de um problema de Programação Linear Inteira Mista (PLIM). A Programação Inteira (PI) também inclui a Programação Não-Linear Inteira, mas o estudo desta está fora do escopo deste trabalho.

Os modelos de PLI são semelhantes aos modelos de PL, sujeitos a restrições adicionais de domínio discreto, conforme exemplo apresentado a seguir:

$$\begin{array}{l|l}
 & \max \quad Z = 4x_1 + 5x_2 \\
 & \text{s.a.} \\
 \text{PI} & 2x_1 + 3x_2 \leq 8 \\
 & 5x_1 + 2x_2 \leq 11 \\
 & x_1, x_2 \geq 0 \text{ e inteiras}
 \end{array}$$

Quando as variáveis inteiras podem apenas assumir os valores 0 (zero) e 1 (um), o modelo diz-se de Programação Inteira Binária (PIB). As variáveis binárias são extremamente úteis para exprimir situações dicotômicas (sim ou não).

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{se a escolha } j \text{ for sim} \\ 0 & \text{se a escolha } j \text{ for não} \end{cases}$$

De uma forma geral, os modelos de PI podem ser representados na forma que segue.

$$\begin{aligned} & \max cx + dy \\ & s. a. \\ & Ax + Gy \leq b \\ & x \geq 0 \text{ e inteiro, } y \geq 0 \end{aligned}$$

Em que x são variáveis inteiras e y são variáveis contínuas. As matrizes A e G correspondem aos coeficientes das restrições relativas às variáveis inteiras e contínuas, respectivamente.

De acordo com a representação geral de um PI, um PIB pode ser expresso como:

$$\begin{aligned} & \max dx \\ & s. a. \\ & Ax \leq b \\ & x \in \{0,1\}^* \end{aligned}$$

É de interesse para o presente trabalho a classe de problemas de programação binária conhecidos como problema de cobertura, particionamento e empacotamento.

$$\min c^T x \quad (4.1)$$

$$Ax \geq \text{ou} = \text{ou} \leq 1 \quad (4.2)$$

$$x \in \{0,1\}^n \quad (4.3)$$

Assim, dependendo da desigualdade ou igualdade selecionada na restrição 4.2, três problemas distintos podem ser definidos: cobertura, empacotamento e partição.

Para exemplificar considere um conjunto $S = \{1,2,3,4,5\}$ e seus subconjuntos $S_1=\{1,2,3\}$, $S_2=\{3,4,5\}$, $S_3=\{2\}$, $S_4=\{1,4\}$, $S_5=\{3,5\}$.

Um problema de cobertura para S requer que a união dos subconjuntos seja igual a S . Desta forma uma cobertura para S seria $S_1 \cup S_2 = S$, conforme a Figura 41.

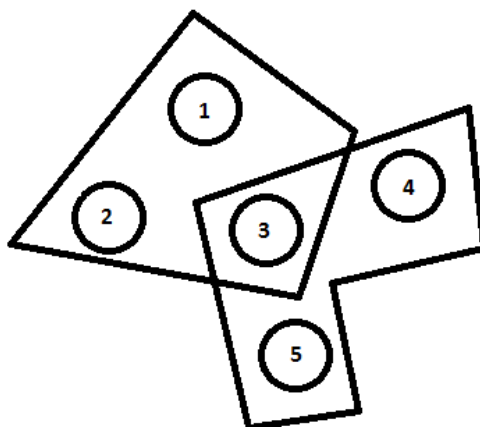


Figura 4.1 - União de Subconjuntos

Todos os elementos são selecionados por ao menos um dos dois subconjuntos, não importando possíveis intersecções, como $S_1 \cap S_2 = \{3\}$ no exemplo em questão.

Os modelos de cobertura seguem a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \min c^T x \\ Ax \geq 1 \\ x \in \{0,1\}^n \end{aligned}$$

Um empacotamento de S envolve a união de subconjuntos disjuntos, por exemplo, S_2 e S_3 , onde $S_2 \cap S_3 = \emptyset$ conforme a Figura 4.2.

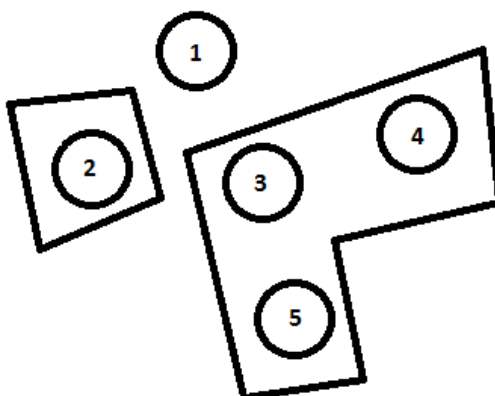


Figura 4.2- Subconjuntos disjuntos

Os modelos de empacotamento seguem a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \max c^T x \\ Ax \leq 1 \\ x \in \{0,1\}^n \end{aligned}$$

Uma partição de S é uma cobertura e um empacotamento com relação a S . Os subconjuntos S_3 , S_4 e S_5 são uma partição de S pois $S_3 \cup S_4 \cup S_5 = S$ e $S_3 \cap S_4 \cap S_5 = \emptyset$, conforme a Figura 4.3.

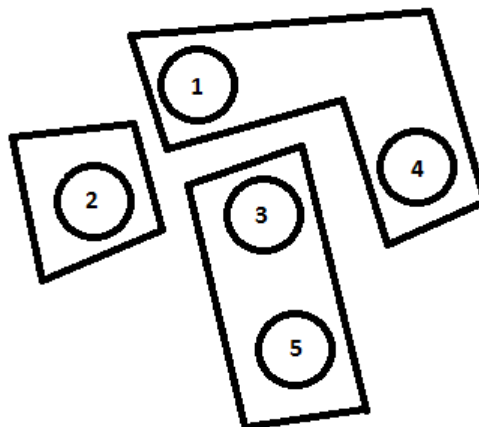


Figura 4.3 – Empacotamento de subconjuntos

Os modelos de partição seguem a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \min c^T x \\ Ax = 1 \\ x \in \{0,1\}^n \end{aligned}$$

4.4 Métodos de resolução

Devido ao número finito de possíveis soluções, uma das formas de se obter uma solução ótima de um problema de programação inteira seria usar uma busca exaustiva. Esta busca é denominada enumeração completa, onde é calculado o valor de função objetivo para todas as soluções factíveis, e é escolhido o maior ou menor valor dependendo se é uma função de maximização ou de minimização. No pior caso, em um problema com n variáveis teríamos 2^n possíveis soluções para um o problema (ARENALES et al., 2007). A Figura 4.4 mostra a enumeração completa dos estados possíveis para quatro variáveis.

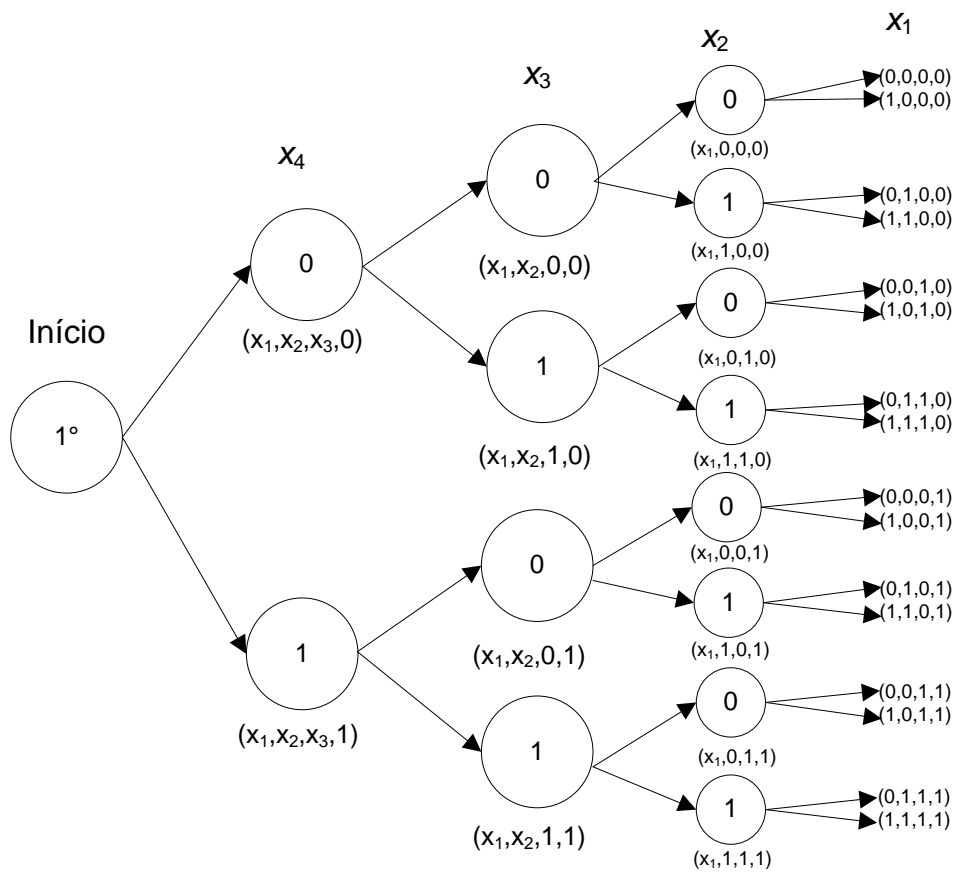


Figura 4.4 – Enumeração completa para quatro variáveis.

No entanto, só é possível enumerar todas as soluções, e dentre estas achar o melhor valor de função objetivo, para problemas de dimensões reduzidas, pouco representativos para situações reais. Assim, foram criados métodos capazes de reduzir o espaço de busca e tornar aplicável a PI para problemas reais, como o problema em estudo. Dentre os métodos estão o de arredondamento e a enumeração implícita, conhecida também como método *branch-and-bound*.

4.4.1 Método de arredondamento

A técnica de arredondamento é, de certa forma, ingênua e sugere resolver o problema de programação inteira relaxando as restrições que determinam as variáveis como inteiras. Por fim, se a resposta satisfizer às restrições de domínio inteiro a solução é uma solução ótima para a PI, caso contrário sugere o arredondamento das variáveis não inteiras. O exemplo a seguir exemplifica o funcionamento do arredondamento.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 21x_1 + 11x_2 \\ \text{Sujeito a} \\ 7x_1 + 4x_2 &\leq 13 \\ x_1 \text{ e } x_2 &\text{ inteiros não negativos.} \end{aligned}$$

A relaxação considera a substituição da restrição “ x_1 e x_2 inteiros e não negativos” por “ x_1 e $x_2 \geq 0$ ”. Relaxando o problema de PI para um problema de PL, a melhor solução é $x_1=13/7$ e $x_2=0$, com $Z=39$. Fazendo o arredondamento da variável x_1 para que possa ser analisada a resposta para um problema de PI tem-se:

$x_1 = 2$ e $x_2=0$, é uma solução inviável, pois $Z=14$ (não respeita a restrição de valor $Z \leq 13$).

$x_1 = 1$ e $x_2=0$, com $Z= 21$ é uma solução factível.

A solução ótima neste caso é dada por $x_1=0$, $x_2=3$ e $Z=33$, diferente do resultado factível obtido pelo arredondamento. Mesmo que o método funcione para alguns casos, é fácil perceber que não é possível garantir uma solução ótima. Em alguns casos, pode ser muito difícil obter uma solução factível.

4.4.2 Método de branch-and-bound

O método *branch-and-bound* considera uma busca em árvore com enumeração implícita, no qual os nós são podados de acordo com limites superiores e inferiores calculados a partir de relaxações lineares do problema original com restrições adicionais. Este tipo de estratégia também é conhecido por “dividir para conquistar”, onde se divide o problema original em pequenos problemas de resolução mais fácil.

A poda de um nó da árvore pode ocorrer devido a três situações: (i) o problema relaxado é infactível (infactibilidade); (ii) a solução ótima do problema relaxado é inteira (otimalidade); e o valor de qualquer solução factível do problema relaxado é pior que o valor da melhor solução factível atual (qualidade).

A seguir é apresentado um exemplo desta técnica para um problema de maximização.

$$\text{Max } Z=9x_1+5x_2+6x_3+4x_4$$

Sujeito a

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$-x_2 + x_4 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \in \{0, 1\}$$

No nó raiz, primeiramente substitui-se a última restrição por $0 \leq x_j \leq 1$, $j \in \{1, 2, 3, 4\}$, e resolve-se assim o correspondente PL, cuja solução ótima é $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (5/6, 1, 0, 1)$ com $Z = 16 \frac{1}{2}$. Observe que a solução ótima do problema original é limitada por $Z \leq 16$, uma vez que todos os coeficientes da função objetivo são inteiros e o problema de PI está contido no problema de PL.

O segundo passo consiste em escolher uma das variáveis com valor não inteiro e criar dois subproblemas nos quais são incluídas restrições para obrigar a variável escolhida a assumir valor 0 e 1, respectivamente. Neste exemplo, considera-se a variável x_1 e os respectivos subproblemas:

Subproblema 1

$$\text{Max } Z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

Sujeito a

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$-x_2 + x_4 \leq 0$$

$$x_1 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

Subproblema 2

$$\text{Max } Z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

Sujeito a

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$\begin{aligned}
 -x_2 + x_4 &\leq 0 \\
 x_1 &\geq 1 \\
 x_1, x_2, x_3, x_4 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Limites encontrados para os subproblemas 1 e 2:

Subproblema1=(x_1, x_2, x_3, x_4)=(0,1,0,1) com $Z=9$

Subproblema2=(x_1, x_2, x_3, x_4)=(1,4/5,0,4/5) com $Z=16\frac{1}{5}$

A resolução do subproblema 1 fornece um solução inteira e um limitante inferior igual a 9, que passa a ser utilizado para as podas de qualidade e qualquer subproblema com $Z \leq 9$ é eliminado. Esta solução é candidata a ótimo global (solução incumbente). O subproblema 2 não apresenta solução inteira e não é podado por qualidade, logo é necessário escolher uma variável para criar dois novos subproblemas. É importante observar que existe uma extensa bibliografia sobre métodos de seleção de variável a ser ramificada, bem como o ramo a ser explorado. A forma como a variável é selecionada pode influenciar na velocidade de convergência do algoritmo, porém aqui a simples escolha pela variável de menor índice será feita, no caso x_2 , conforme apresentado a seguir:

Subproblema 3

$$\text{Max } Z=9x_1+5x_2+6x_3+4x_4$$

Sujeito a

$$\begin{aligned}
 6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 &\leq 10 \\
 x_3 + x_4 &\leq 1 \\
 -x_1 + x_3 &\leq 0 \\
 -x_2 + x_4 &\leq 0 \\
 x_1 &\geq 1 \\
 x_2 &\leq 0 \\
 x_1, x_2, x_3, x_4 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Subproblema 4

$$\text{Max } Z=9x_1+5x_2+6x_3+4x_4$$

Sujeito a

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$-x_2 + x_4 \leq 0$$

$$x_1 \geq 1$$

$$x_2 \geq 1$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

Obtém os seguinte seguintes limites para os subproblemas 3 e 4:

Subproblema 3: $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 0, 4/5, 1)$ com $Z = 13 \frac{4}{5}$, então $Z \leq 13$

Subproblema 4: $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 1/2)$ com $Z = 16$, então $Z \leq 16$

Dado que os dois subproblemas não apresentam solução inteira e não podem ser podados por qualidade, será utilizada como estratégia a escolha do subproblema com maior valor de função objetivo, pois é considerado como o melhor candidato a fornecer uma solução ótima. Fixando o valor de x_3 obtém-se a próxima iteração:

$$\text{Subproblema 5 Max } Z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

Sujeito a

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$-x_2 + x_4 \leq 0$$

$$x_1 \geq 1$$

$$x_2 \geq 1$$

$$x_3 \leq 0$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

$$\text{Subproblema 6 = Max } Z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

Sujeito a

$$6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$\begin{aligned}
 & -x_2 + x_4 \leq 0 \\
 & x_1 \geq 1 \\
 & x_2 \geq 1 \\
 & x_3 \geq 1 \\
 & x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0
 \end{aligned}$$

Obtendo os seguintes limites para os subproblemas 5 e 6:

Subproblema 5: $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 1/2)$ com $Z = 16$, então $Z \leq 16$

Subproblema 6: infactível.

A última iteração então é baseada no subproblema 5, com a escolha da variável x_4 para ramificação, tem-se:

Subproblema 7: $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 0)$ e $Z = 14$

Subproblema 8: $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 1)$ e $Z = 18$, infactível devido à $18 \geq 16$.

Logo, com a resposta do subproblema 7 tem-se um novo limitante superior $Z^* = 14$, e o nó é podado por otimalidade. Com esse novo limitante o subproblema 3 é podado por qualidade, uma vez que apresenta limite máximo de $13 \frac{4}{5}$. Desta forma foi encontrado o ótimo global com $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1, 1, 0, 1)$ do problema de PIB através do método *branch and bound*. A Figura 4.5 mostra a árvore de solução final com a PL inicial e cada uma das variáveis fixadas em cada iteração.

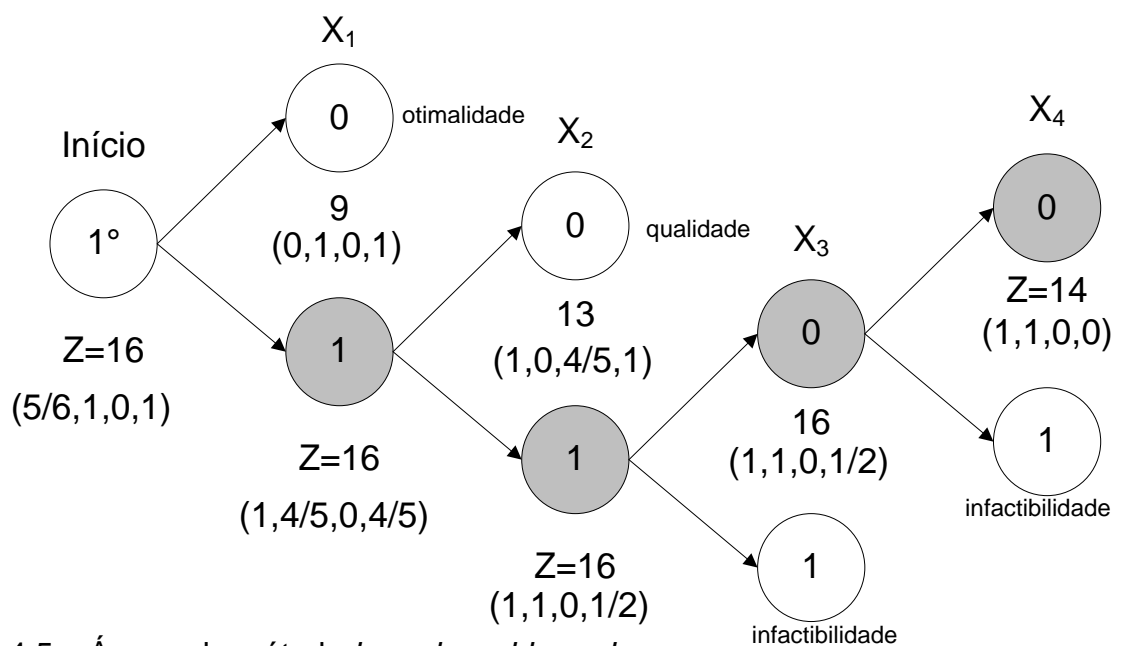


Figura 4.5 – Árvore do método *branch-and-bound*.

Na árvore de *branch-and-bound* fica clara a forma de convergência do método. O critério de poda na variável x_1 para o valor de 0 foi o de otimalidade da solução, uma vez que para 0 a solução relaxada do problema é inteira (0,1,0,1). Em x_2 o critério de qualidade podou o nó de valor 0, ramificando novamente o nó em que a variável tem o valor de 1. Nas variáveis x_3 e x_4 a poda ocorreu devido ao critério de infactibilidade da solução.

4.5 Formulação do problema

O modelo matemático apresentado a seguir é utilizado para realizar o processamento de alarmes através da teoria de parcimônia, o mesmo é baseado em um modelo para o problema de recobrimento de conjuntos. A ideia subjacente reside em encontrar uma combinação de padrões da base de dados, a partir dos alarmes recebidos, que apresente o menor número de alarmes falsos, falhos e eventos ocorridos.

Modelo:

$$\text{Min} \left\{ W1 \sum_{j \in J} s_j + W2 \sum_{j \in J} f_j + W3 \sum_{i \in I} e_i \right\} \quad (4.4)$$

s.a.

$$s_j + \sum_{i \in E(j)} e_i \geq a_j \quad \forall j \in J \quad (4.5)$$

$$e_i \leq a_j + f_j \quad \forall i \in I, \forall j \in A(i) \quad (4.6)$$

$$e_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.7)$$

$$s_j, f_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4.8)$$

Conjuntos:

I = conjunto dos índices dos eventos;

J = conjunto dos índices dos alarmes;

$E(j)$ = conjunto dos índices dos eventos associados ao alarme j ;

$A(i)$ = conjunto dos índices dos alarmes associados ao evento i .

Parâmetros

$$a_j = \begin{cases} 1 & \text{se o alarme } j \text{ é acionado} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Variáveis

$$e_i = \begin{cases} 1 & \text{se o evento } i \text{ for escolhido} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$s_j = \begin{cases} 1 & \text{se o acionamento do alarme } j \text{ é falso} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$f_j = \begin{cases} 1 & \text{se o acionamento do alarme } j \text{ falhou} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A função objetivo é definida em (4.4), onde W_1 , W_2 e W_3 representam os pesos para alarmes falsos, alarmes falhos e eventos, respectivamente. Esta função objetivo é semelhante à proposta por Wen, Chang, Srinivasan (1995). O critério que reflete as exigências para resolver o problema de estimação da seção em falta é fundamentado na teoria da parcimônia, ou seja, a hipótese mais simples capaz de explicar os alarmes recebidos deve ser a solução. Daí o uso de um critério minimizador para uma função objetivo cujas parcelas que possuem constantes de multiplicação maior estão relacionadas com a menor probabilidade das respectivas variáveis aparecerem na solução ótima. Assim, a ferramenta busca por hipóteses com o menor número de eventos múltiplos, alarmes falhos e falsos para achar uma causa para o conjunto de alarmes recebido.

A restrição (4.5) determina que cada alarme deve estar associado a um evento ou, caso contrário, é considerado falso. Os alarmes falhos são determinados pela restrição (4.6). Observe que um dado evento só pode ser considerado na solução se todos os alarmes associados a este forem considerados ativos ou falhos. As restrições (4.7) e (4.8) correspondem à condição de binariedade das variáveis.

Para um melhor entendimento, é apresentado um exemplo com quatro eventos e três alarmes. Os eventos e seus respectivos alarmes são representados pela matriz M , conforme segue.

$$M = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 \\ e_1 & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ e_2 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ e_3 & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ e_4 & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Para esta configuração o modelo assume a forma:

$$\text{Min } W_1(s_1 + s_2 + s_3) + W_2(f_1 + f_2 + f_3) + W_3(e_1 + e_2 + e_3 + e_4)$$

s.a.

$$s_1 + e_1 + e_3 \geq a_1$$

$$s_2 + e_2 + e_3 \geq a_2$$

$$s_3 + e_4 \geq a_3$$

$$e_1 \leq a_1 + f_1$$

$$e_2 \leq a_2 + f_2$$

$$e_3 \leq a_1 + f_1$$

$$e_3 \leq a_2 + f_2$$

$$e_4 \leq a_3 + f_3$$

$$e_1, e_2, e_3, e_4 \in \{0,1\}$$

$$s_1, s_2, s_3, f_1, f_2, f_3 \in \{0,1\}$$

Se todos os alarmes são recebidos, ou seja, $a_1 = a_2 = a_3 = 1$ e $w_1 \gg w_2 \gg w_3 > 0$, a solução ótima é dada por $e_3 = e_4 = 1$.

Múltiplas soluções ótimas são facilmente identificadas, uma vez que, em geral, os resolvedores que utilizam o método de *branch-and-bound* podem ser adaptados para tal finalidade. Caso o pacote de programação linear inteira em uso não forneça essa opção, é possível introduzir uma restrição iterativamente no modelo para cortar a última solução encontrada. Para tanto, basta considerar os n eventos que compõem uma dada solução que se deseja cortar e inserir a restrição dada pela expressão (4.9).

$$\sum_{i=1}^n e_i \leq n - 1 \quad (4.9)$$

No exemplo, basta incluir a restrição (4.10) para eliminar a primeira solução, e forçar o modelo a encontrar a outra solução com menor valor de função objetivo possível. Desta forma, se a nova solução possui o mesmo valor de função objetivo, esta deve ser considerada uma resposta tão boa quanto a anterior. Este processo pode ser iterado até que todas as soluções ótimas sejam encontradas.

$$e_3 + e_4 \leq 1 \quad (4.10)$$

Com a adição da restrição 4.10, o modelo fica impossibilitado de selecionar simultaneamente os eventos e_3 e e_4 . Desta forma, uma nova combinação de eventos será selecionada para justificar o recebimento dos alarmes a_1 , a_2 e a_3 .

A identificação de alarmes falsos e falhos pelo modelo é discutida a seguir.

Assumindo o recebimento de um grupo diferente de alarmes, os alarmes a_2 e a_3 , e avaliando como a possível causa dos disparos o evento e_3 , tem-se as seguintes restrições para avaliação dos possíveis alarmes falhos:

$$s_1 + 0 + 1 \geq 0$$

$$s_2 + 0 + 1 \geq 1$$

$$s_3 + 0 \geq 1$$

É possível ver que considerado como resposta o evento e_3 tem-se na primeira restrição $s_1 + 1 \geq 0$, como a igualdade já é satisfeita, s_1 assume valor nulo na solução ótima devido ao custo associado a esta variável. A segunda restrição também é satisfeita, $s_2 + 1 \geq 1$, e s_2 mantêm-se em 0. Já na terceira restrição tem-se $s_3 + 0 \geq 1$, assim s_3 assume o valor 1, para que a restrição seja satisfeita, tornando $1 \geq 1$. Desta forma se o evento e_3 for escolhido como resposta para os alarmes recebidos o alarme a_3 passa a ser considerado falso.

A relação entre os alarmes falsos e a seleção de eventos é conflitante, uma vez que restrição determina que para um dado alarme recebido a_j (parâmetro) a correspondente variável s_j deve se tornar 1 ou um dos eventos que é composto por a_j deve ser definido em 1. Este critério torna possível a avaliação dos dados ruidosos proveniente de falhas de comunicação e que poderiam criar diagnósticos errôneos de sinistros no sistema. A avaliação errada do modo de disparo da proteção ou falhas de comunicação pode afastar a convergência da ferramenta do real acontecimento, levando a seleção de um número maior de seções/eventos.

O segundo grupo de restrições avalia quais alarmes são falhos, assim para o evento e_3 , somente, tem-se:

$$0 \leq 0 + f_1$$

$$0 \leq 1 + f_2$$

$$1 \leq 0 + f_1$$

$$1 \leq 1 + f_2$$

$$0 \leq 1 + f_3$$

Analisando as restrições é possível notar que todas as restrições são satisfeitas, com exceção da terceira na qual $1 \leq 0 + f_1$ necessita mudança de valor da variável f_1 para que a igualdade seja mantida, assim f_1 deve assumir o valor 1, tornando $1 \leq 0 + 1$ verdadeiro. Desta forma, se o evento e_3 for escolhido como resposta aos alarmes recebidos, a variável s_1 recebe o valor 1, diagnosticando o alarme a_1 como falho. Obviamente estas soluções não são ótimas, mas exemplificam perfeitamente como os alarmes falhos e falsos são considerados pelo modelo.

Pode-se dizer que existe uma relação direta entre alarmes falhos e eventos múltiplos, pois a seleção de um número maior de eventos implica necessariamente na avaliação de um número maior de alarmes falhos. É simples verificar que quando se adicionam eventos ao conjunto de possíveis causas a um distúrbio, adiciona-se um grupo de alarmes ao conjunto que tenta cobrir os alarmes recebidos. Desta forma a cada evento adicionado elenca-se os possíveis alarmes falhos, uma vez que nas restrições do PIB as restrições de alarmes falhos dependem necessariamente de f_j ou a_j serem definidos em 1 para que um evento possa ser selecionado como solução para um dado distúrbio.

O valor final da função objetivo para o evento e_3 como resposta aos alarmes a_2 e a_3 é:

$$\begin{aligned} W_1(s_1 + s_2 + s_3) + W_2(f_1 + f_2 + f_3) + W_3(e_1 + e_2 + e_3 + e_4) \\ W_1(0 + 0 + 1) + W_2(1 + 0 + 0) + W_3(0 + 0 + 1 + 0) \\ 1 \times W_1 + 1 \times W_2 + 1 \times W_3 \end{aligned}$$

4.6 Software para a resolução de problemas de programação inteira

Para resolução do modelo de programação inteira mista foi utilizado o *solver* comercial *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio* versão 12.4. O *solver* aplica diversas técnicas aprimorar o desempenho de métodos determinísticos para a solução de problemas de programação inteira binária. Dentre as diversas técnicas estão as já citadas *branch-and-cut*, *branch-and-price* e *branch-and-cut-and-price*. A

utilização do *CPLEX* permite inclusive armazenamento de múltiplas respostas ótimas, sem que seja necessário aplicar novas restrições como a Equação 4.9.

O *CPLEX* possui diversos parâmetros que podem ser ajustados pelo usuário a fim de se adequar ao problema em questão, e assim alcançar o máximo desempenho. Nessa dissertação, optou-se pela utilização dos valores padrões para a obtenção dos resultados.

4.7 Considerações finais

Este capítulo apresentou o método proposto para localização da secção em falta. O modelo de programação inteira binária é um método matemático, modelado a partir de restrições impostas por desigualdades, que determinam os possíveis estados de variáveis binárias, realizando desta forma o processamento dos alarmes de uma forma determinística. Uma vez definidos os valores das constantes da função objetivo e dados os conjuntos de eventos e alarmes, não há necessidade de mudança no modelo para o sistema.

Foi apresentado um conjunto de eventos e alarmes, e então exemplificada a interpretação de uma solução ótima global para um dado conjunto de alarmes recebidos. Além da solução ótima, ainda foram apresentadas algumas possíveis respostas e os motivos pelos quais tais eventos não compõem a resposta ótima.

Os pesos empregados nas constantes que avaliam alarmes falhos, falsos e eventos múltiplos determinam a forma como o modelo irá convergir à solução final. É importante lembrar que os pesos utilizados nas constantes do modelo são relativos, desta forma não importa o valor utilizado, mas sim a relação entre estes. Se uma constante tiver um custo muito alto em relação às outras constantes, trocar o estado da variável em questão pode se tornar proibitiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Considerações gerais

Este capítulo apresentará os dois sistemas testes utilizados para validação da metodologia. O primeiro foi abordado por Wen e Han (1995) e será utilizado para validação da ferramenta de geração de padrões. Serão simuladas mudanças de topologia para verificação da coerência dos novos padrões gerados.

Um segundo sistema teste será usado para validação da ferramenta de estimação da seção em falta. O sistema é parte da área de concessão da Companhia Estadual de Energia elétrica (CEEE-GT). Serão realizadas 9 simulações de faltas, visando analisar os diversos aspectos da metodologia de otimização. Os testes avaliarão o processador de alarmes quanto à capacidade de identificação de alarmes falsos, falhos e múltiplos eventos.

5.2 Sistema teste WEN e HAN (1995)

O sistema teste de Wen e Han (1995), Figura 5.1, será utilizado para avaliação da qualidade dos conjuntos de padrões gerados pela ferramenta geradora de padrões e a capacidade da mesma de adaptar estes conjuntos à novas topologias. O sistema é constituído por oito transformadores, oito linhas de transmissão, doze barras e quarenta disjuntores. Como discutido no Capítulo 3, são considerados sete diferentes tipos de sinalizações para a operação dos relés de proteção: proteção seletiva do transformador (T_PS), proteção de retaguarda remota do transformador (T_RR), confirmação de atuação da proteção do transformador (T_NA), proteção seletiva de barra (B_PS), confirmação de não atuação da proteção de barra (B_NA), proteção seletiva de linha (L_PS), proteção de retaguarda remota da linha atuando para uma falta externa na direção de uma barra (L_RR(B)).

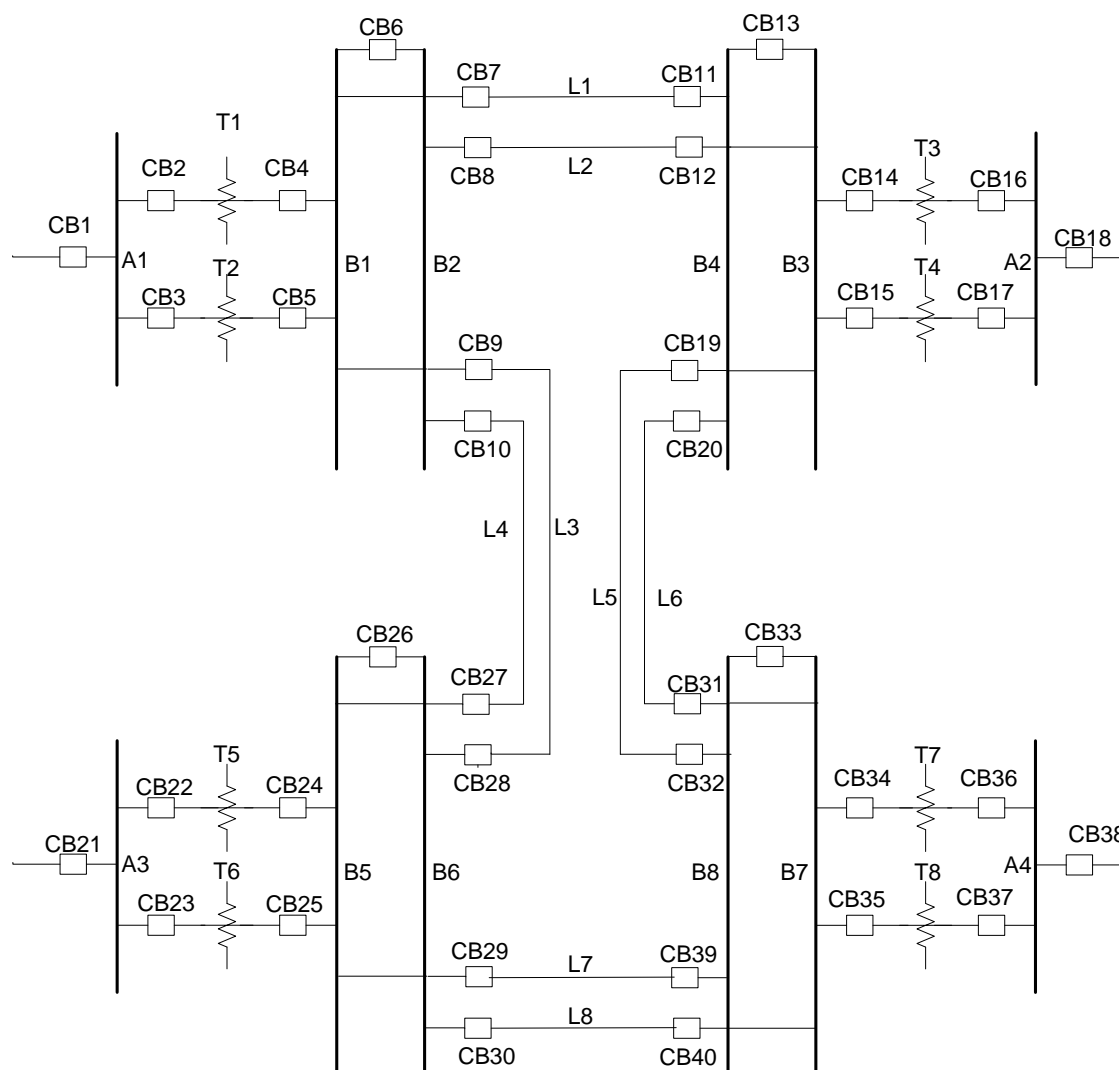


Figura 5.1 - Sistema teste 1.

A utilização de padrões para falhas de dispositivos de proteção viabiliza um diagnóstico sobre a forma como a proteção atuou ou deveria ter atuado no momento da falta. Para falhas em vários equipamentos de proteção, cabe ao processador de alarmes selecionar os eventos que indiquem a falha de tais dispositivos individualmente. A consideração de eventos múltiplos torna possível o diagnóstico de mais de uma falha de abertura ou atuação de proteção. Tal característica é fundamental em eventos onde uma sequência de falhas causa um grande desligamento no sistema. A elaboração de padrões com base em uma falha de abertura de um disjuntor por vez torna simples a elaboração dos padrões, não sendo necessário considerar as inúmeras combinações de falhas de proteções.

5.2.1 Geração de padrões

O algoritmo para geração de padrões de eventos e alarmes desenvolvido foi implementado em linguagem C++. A Tabela 5.1 mostra as entradas usadas no gerador de eventos para o sistema teste 1, Figura 5.1. Inicialmente todos os disjuntores são considerados fechados. Os disjuntores CB1, CB18, CB21 e CB38 são desconsiderados nos conjuntos de entradas por serem disjuntores de fronteira, do contrário acrescentam padrões onde não há informações quanto às PRR.

Tabela 5.1 – Entradas do gerador de padrões para o sistema teste 1

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB2	Barra A1	Transformador T1
CB3	Barra A1	Transformador T2
CB4	Barra B1	Transformador T1
CB5	Barra B1	Transformador T2
CB6	Barra B1	Barra B2
⋮	⋮	⋮
CB39	Barra B8	Linha L7
CB40	Barra B7	Linha L8

Os dados de entrada da Tabela 5.1 são um cadastro dos equipamentos do sistema. São apresentados os disjuntores que interconectam os equipamentos do sistema. Parte dos padrões gerados pelo algoritmo, a partir dos dados de entrada do sistema teste 1, esta na Tabela 5.2. Para exemplificar são apresentados os conjuntos gerados para três diferentes seções do sistema, a barra (B1), a linha de transmissão (L1) e o transformador (T1). Para todos os equipamentos do sistema teste o algoritmo gerou 100 eventos, contendo 112 diferentes alarmes. Todos os padrões gerados estão no Apêndice A.

Tabela 5.2 – Padrões de eventos gerados para o sistema teste 1

Seção	Atuação	Padrão
B1	OK	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB4	B1_PS, T1_RR, CB2, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
Seção	Atuação	Padrão
B1	Falha CB5	B1_PS, CB4, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB6	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27
	Falha CB7	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB9	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB28, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
L1	OK	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_NA, T2_NA, B2_NA, L3_RR(B1), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), L4_RR(B2)
	Falha CB7	L1_PS, B1_NA, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27, L3_RR(B1), CB28, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB11	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L6_RR(B4), CB31, T1_NA, T2_NA, B2_NA, L3_RR(B1), L4_RR(B2)
T1	OK	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, CB4, T2_NA, B2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1), L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB2	T1_PS, A1_NA, B1_NA, CB4, B2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1), T2_RR, CB3, CB5, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB4	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28

Analisando os conjuntos de alarmes, percebem-se sinalizações oriundas de toda a adjacência da seção em falta. Assim os conjuntos de alarmes não se restringem aos dispositivos de proteção associados somente seção sob falta, mas sim a toda a vizinhança da mesma. Este tipo de análise permite um estudo mais detalhado das possíveis ocorrências do sistema, como falhas em cascata de dispositivos de proteção.

Os padrões de B1 apresentam a abertura de todos os disjuntores conectados à barra, atuação da proteção seletiva de barra e sinalizações das linhas

de transmissões adjacentes capazes de “enxergar” a falta. A atuação das proteções de retaguarda remota (PRR) dos transformadores T1 e T2 acontece somente quando por algum motivo há a falha na abertura dos disjuntores que os conectam ao sistema. No evento que representa uma falha na abertura de CB6 é possível notar a omissão de B2 quanto a eliminação da falta, cabendo às linhas L2 e L4 abrirem CB12 e CB27 para eliminar a falta. Pode-se assim notar que os conjuntos gerados consideram a capacidade dos equipamentos de atuarem para faltas externas aos mesmos.

Nos padrões de L1 a atuação de sua proteção seletiva realiza a abertura dos dois disjuntores principais (CB7 e CB11). Na falha de cada um dos disjuntores os equipamentos adjacentes às barras vizinhas eliminam a falta. Uma atenção especial deve ser dada à PRR de L2, que atua diferentemente para cada falha de abertura dos disjuntores. Para a falha de CB7 a PRR de L2 atua na direção de B2 abrindo CB12, já na falha de CB11 a PRR atua na direção de B3 abrindo CB8.

Nos padrões do transformador T1, a proteção seletiva abre os disjuntores principais CB2 e CB4. As PRR das linhas de transmissão são sensibilizadas por estarem conectadas às barras B1 e B2. Para uma falta em T1 com falha de abertura de CB4 há a atuação de várias PRR abrindo um número maior de disjuntores. Neste caso ao invés de haver somente o desligamento do transformador T1, ocorre também o desligamento dos equipamentos T2, L1, L2, L3, L4, B1 e B2, com abertura dos disjuntores CB2, CB3, CB5, CB11, CB12, CB27 e CB28. A Figura 5.2 representa este cenário (disjuntor que falhou em amarelo e os disjuntores abertos em verde).

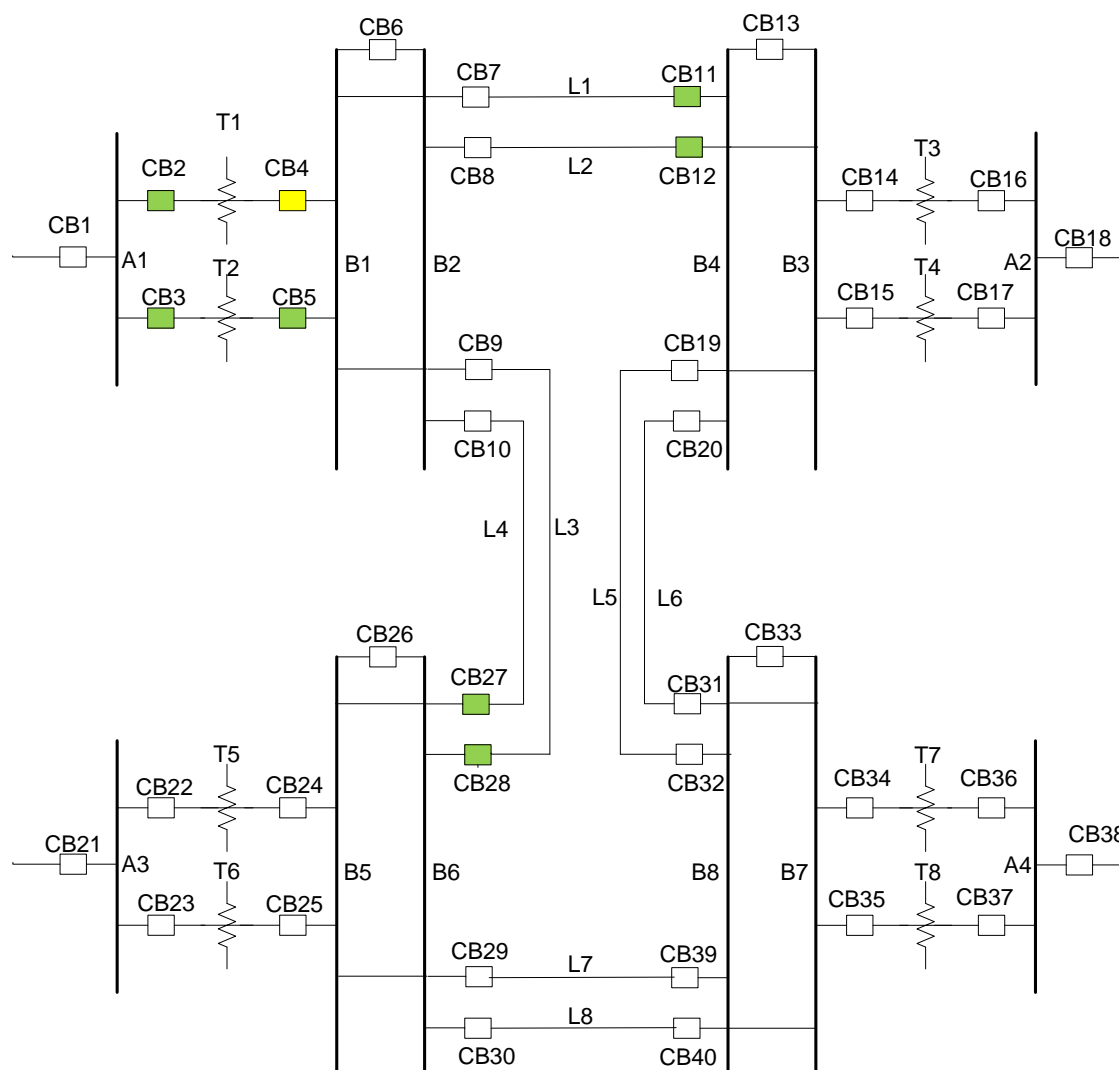


Figura 5.2 - Desligamentos devido a uma falta em T1 com falha na abertura de CB4.

5.2.2 Mudanças na topologia

Uma característica importante das proteções de retaguarda é serem capazes de cobrir mais do que o equipamento primário. Para isso a análise da topologia em tempo real é necessária para formação das regras que envolvem as faltas e as análises de atuação de proteções principais e retaguarda remota (MU, 2012). Para cada mudança feita na topologia, retaguardas remotas podem deixar de fazer parte dos conjuntos de alarmes de um evento, sendo necessário reavaliar os conjuntos de entrada da ferramenta de geração de padrões.

Para um melhor entendimento da forma com a qual a ferramenta lida com as mudanças topológicas, será considerado uma manutenção no disjuntor CB6 do sistema teste 1, de forma que todos os disjuntores permanecem fechados, com

exceção de CB6 que será aberto, conforme a Figura 5.3. As entradas consideradas para o sistema teste 2 estão na Tabela 5.3

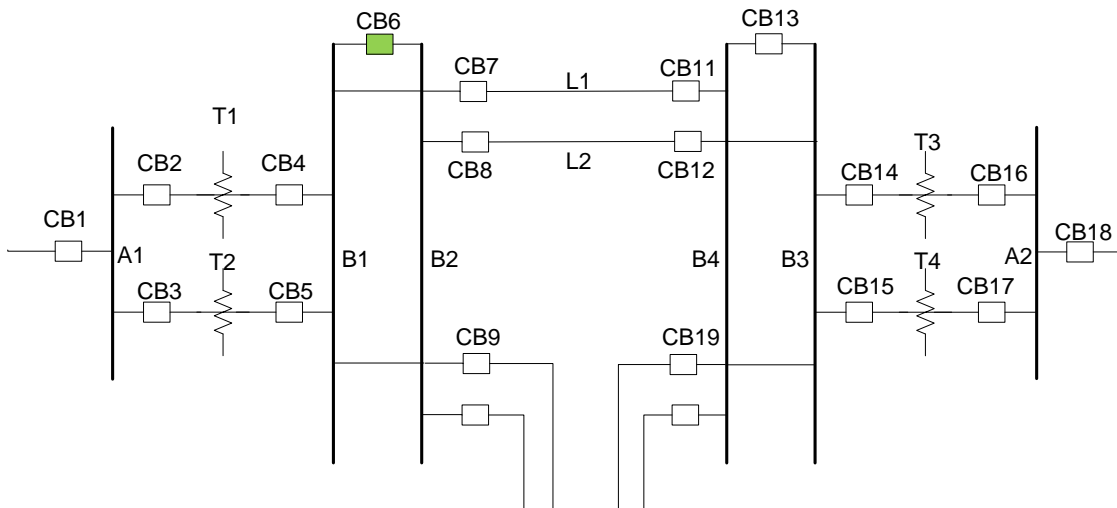


Figura 5.3 - Sistema teste 2.

Tabela 5.3 – Entradas usadas no gerador de padrões para o sistema teste 2

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB2	Barra A1	Transformador T1
CB3	Barra A1	Transformador T2
CB4	Barra B1	Transformador T1
CB5	Barra B1	Transformador T2
CB7	Barra B1	Linha L1
⋮	⋮	⋮
CB39	Barra B8	Linha L7
CB40	Barra B7	Linha L8

Como o disjuntor CB6 não é considerado no conjunto de entradas da geração dos eventos, as vizinhanças e alarmes antes relacionados a tal conexão, deixam de existir. A Tabela 5.4 mostra os padrões gerados para o segundo sistema teste.

Tabela 5.4 – Parte dos padrões de eventos gerados para o sistema teste 2

Seção	Atuação	Padrão
B1	OK	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB4	B1_PS, T1_RR, CB2, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB5	B1_PS, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB7	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB9	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB28
L1	OK	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_NA, T2_NA, L3_RR(B1), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB7	L1_PS, B1_NA, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L3_RR(B1), CB28, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB11	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L6_RR(B4), CB31, T1_NA, T2_NA, L3_RR(B1)
T1	OK	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, CB4, T2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
	Falha CB2	T1_PS, A1_NA, B1_NA, CB4, L1_RR(B1), L3_RR(B1), T2_RR, CB3, CB5
	Falha CB4	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28

Neste cenário as faltas que antes se propagavam para um número elevado de equipamentos deixaram de afetar tantos equipamentos, havendo um desligamento menor no caso de falha de operação dos dispositivos de proteção. Ao mesmo tempo em que todos os conjuntos passaram a contar com um número menor de alarmes, já que algumas vizinhanças deixaram de existir.

Ao se considerar a mesma falta em T1, na qual CB4 falha em abrir, é possível notar um número menor de equipamentos afetados: T1, T2, L1, L3 e B1. Com abertura dos disjuntores (em verde) CB2, CB3, CB5, CB11 e CB28, conforme a Figura 5.4.

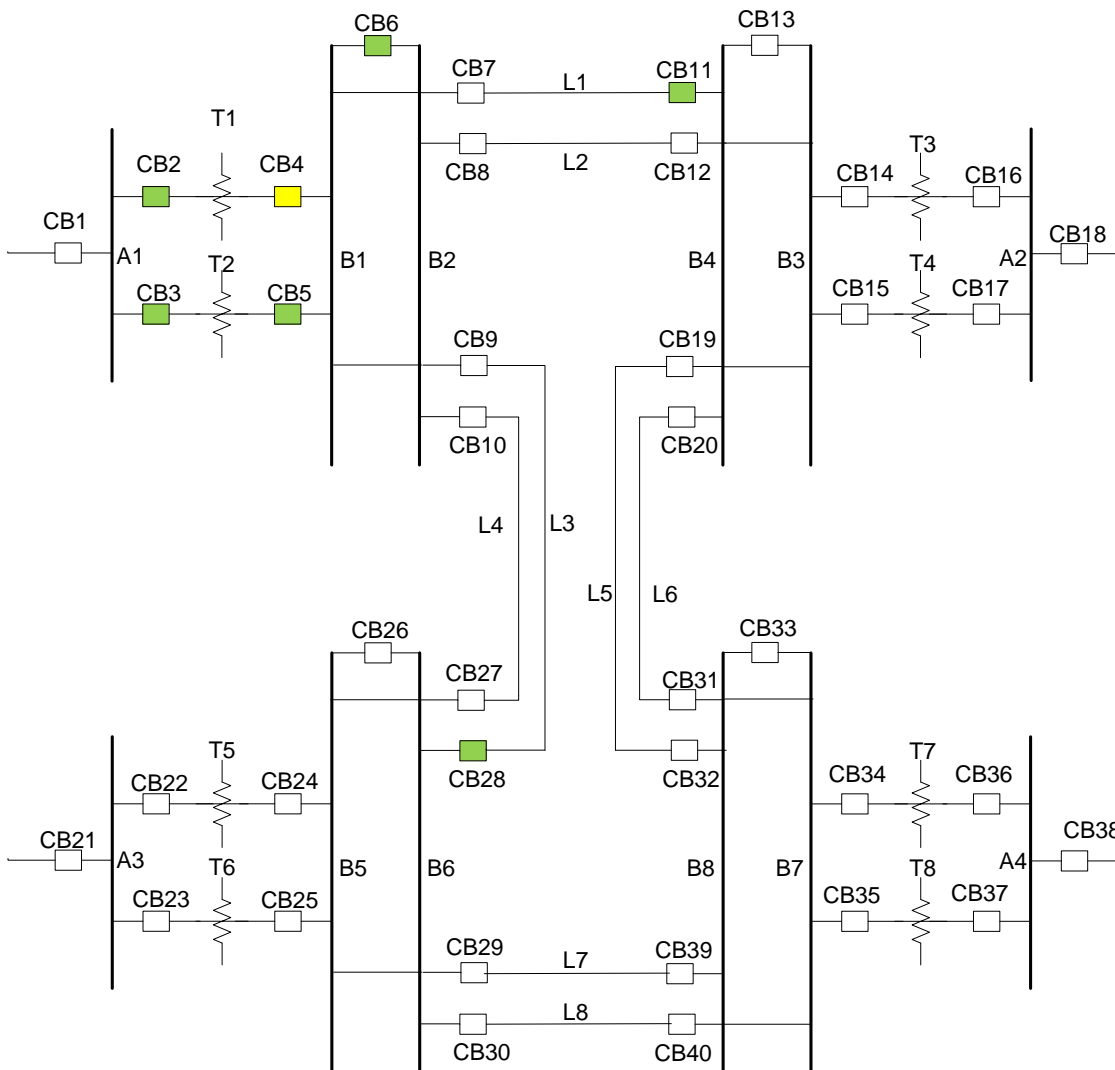


Figura 5.4 - Desligamentos devido a uma falha em T1 com falha na abertura de CB4 (CB6 aberto antes da falha).

Um gerador de eventos torna-se extremamente útil em aplicações de ferramentas de estimação de seção em falta para grandes sistemas elétricos. Os sistemas elétricos de potência são dinâmicos, montar padrões de causas e efeitos para todas as possíveis topologias é impraticável. Enquanto que elaborar padrões pobres, onde não são consideradas as falhas dos dispositivos de proteção nem alarmes de vizinhanças, dificilmente levará uma ferramenta de estimação a bons resultados.

5.2.3 Falhas consecutivas

Um problema raramente abordado na bibliografia é a ocorrência de falhas consecutivas em um mesmo sistema de potência. Este tipo de ocorrência, apesar de

não ser rotineira, poderia facilmente tornar obsoleta a relação de causa efeito usada pelo estimador de seção em falta. No caso de uma falta com desligamento de equipamentos, a topologia de um sistema de potência pode mudar consideravelmente. Em consequência de tal mudança, diversos dispositivos de proteção, antes capazes de fornecer informações ou até mesmo de atuarem para determinadas faltas, deixam de fornecer as sinalizações específicas, pois as vizinhanças relacionadas deixaram de existir após o desligamento.

Analisando o segundo sistema teste, onde CB6 estava em manutenção, teria-se para B4 os padrões de eventos e alarmes apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Padrões de eventos de B4 gerados para o sistema teste 2

Seção	Atuação	Padrão
B4	OK	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB11	B4_PS, L1_RR(B4), CB7, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB13	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB20	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB31, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)

Na ocorrência anterior, durante a manutenção de CB6 houve uma falta em T1 com falha na abertura de CB4, ocasionando o desligamento dos equipamentos T1, T2, L1, L3 e B1, ocorrendo variações no estado de diversos disjuntores. Analisando a Tabela 5.5 nota-se a presença alarmes referentes a estes equipamentos, agora desenergizados. Assim caso houvesse uma segunda ocorrência, agora em B4, mesmo que o estimador fosse capaz de encontrar a seção correta, inúmeros alarmes seriam diagnosticados como falhos.

É imprescindível que os padrões usados por um estimador de seção em falta sejam atualizados para cada pequena mudança no sistema. O uso de um algoritmo gerador de eventos em tempo real contorna tais situações, tornando os padrões usados pelo modelo de estimação da seção em falta tão dinâmicos quanto os sistemas de potência. Neste caso, os disjuntores CB2, CB3, CB5, CB6, CB11, CB28 deixariam de fazer parte do conjunto de entradas do gerador, fornecendo os padrões apresentados na Tabela 5.6 para as faltas em B4.

Tabela 5.6– Padrões de eventos gerados para B4, após falta em T1

Seção	Atuação	Padrão
B4	OK	B4_PS, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB13	B4_PS, B3_NA, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB20	B4_PS, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB31, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)

Neste novo conjunto de padrões para B4 nota-se a ausência do evento referente à falha de abertura do disjuntor CB11, visto que tal disjuntor havia sido aberto pela PRR da Linha L1. Eventos relacionados a dispositivos desenergizados ou abertos deixam de ser gerados, uma vez que não fazem parte mais do conjunto de entradas. Alarmes referentes às PRR dos equipamentos desenergizados (L1 e L3) também deixam de fazer parte do conjunto de padrões. Desta forma também são desconsideradas às ações de dispositivos de proteções desenergizados.

Este tipo de atualização nos conjuntos de padrões após desligamentos aproxima os padrões da realidade do sistema, uma vez que supre a necessidade de remover os alarmes que não mais são esperados no caso de uma nova falta. Desta forma promove-se uma melhor resposta por parte do estimador da seção em falta, pois mesmo que a seção em falta fosse encontrada usando os antigos padrões, diversas falhas na aquisição de dados seriam relatadas, estas consequências de um padrão mal elaborado e não de erros dos equipamentos de comunicação ou falhas de operação.

5.3 Sistema teste Companhia Estadual de Energia elétrica (CEEE)

Para validar a metodologia proposta, utilizando informações relativas a sistemas reais, será usado o sistema de geração e transmissão sob concessão da Companhia Estadual de Energia elétrica (CEEE-GT), no Rio Grande do Sul. O sistema é composto por 73 subestações, apresentadas na Figura 5.5. São 8 subestações de 500 kV, 54 subestações de 230kV e 4 subestações de 138kV. O sistema ainda conta com 7 usinas geradoras que não serão abordadas aqui por não fazerem parte dos equipamentos considerados no restante do trabalho.

O sistema ainda é composto por 99 linhas de 230 kV, (pertencente à ELETROSUL) 5 linhas de 138 kV, num total de 116 LTs. O sistema contém 14 transformadores trifásicos de 525/230 kV e 6 transformadores trifásicos de 230/138 kV, num total de 20 transformadores de potência.

A concessão da CEEE-GT corresponde apenas aos sistemas de geração e transmissão de 138 e 230 kV. As subestações de 525 kV pertencem a rede básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), sob responsabilidade da Eletrosul Centrais Elétricas S.A.. O SCADA da CEEE supervisiona alguns pontos da rede da Eletrosul que podem influenciar de maneira indireta na operação do seu sistema de potência. Por esse motivo, a rede de 525 kV não foi considerada na validação da metodologia proposta.

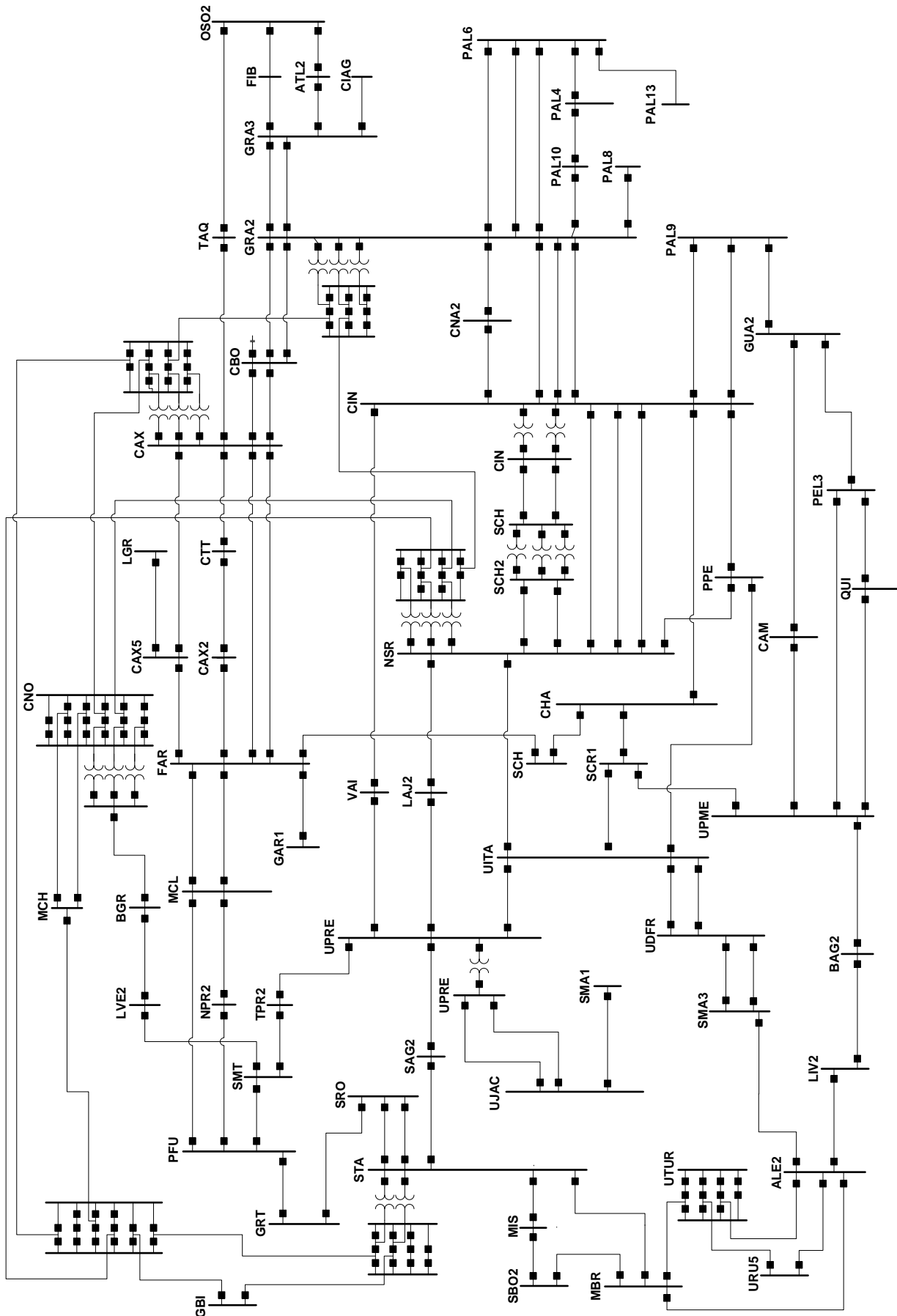


Figura 5.5 – Sistema de geração e transmissão CEEE.

5.3.1 Esforço computacional da geração de eventos

Usando a ferramenta de geração automática de padrões e acessando o banco de dados fornecido pela CEEE-GT foi possível gerar padrões causa efeito para todo o sistema de potência da Figura 5.5.

Para avaliar o esforço computacional envolvido no processo de geração dos padrões, foram considerados todos os disjuntores do banco de dados como fechados, fugindo da lógica de funcionamento do sistema, porém forçando a ferramenta a lidar com o maior volume de informações possível. Para os 343 disjuntores de 138, 230 e 535 kV encontrados no banco de dados, foram gerados mais de 1000 eventos, compostos por mais de 10000 alarmes em pouco menos de 1 segundo. Os resultados foram obtidos utilizando um computador Intel Core 2 Duo, 2.1 GHz, com 4 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 7.

O teste aplicado não reproduz de forma alguma a topologia do sistema real, uma vez que todos os disjuntores do banco de dados foram considerados fechados. Porém serve para demonstrar o baixo esforço computacional necessário para que novos padrões sejam gerados a cada nova entrada fornecida ao algoritmo.

O baixo esforço computacional envolvido no processo de geração de padrões viabiliza o uso da ferramenta em tempo real. Assim sempre que detectada uma modificação na topologia é possível gerar novos padrões automaticamente. Cabendo ao operador ou a um critério de avaliação decidir o momento correto de atualizar os padrões de causa e efeito.

5.4 Estimação da seção em falta

Devido à dimensão do sistema CEEE e a inviabilidade de fazer uma análise prática da estimação da seção em falta para um sistema deste porte, este trabalho irá utilizar parte deste sistema de potência. O sistema teste 3, apresentado na Figura 5.6, é a seção do sistema de potência da CEEE escolhido para avaliação do estimador da seção em falta.

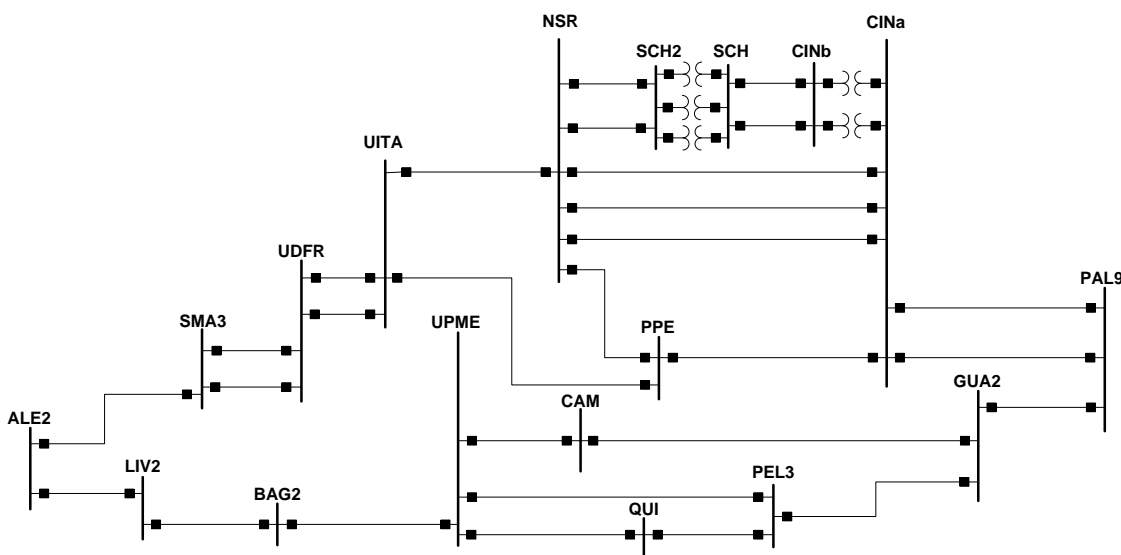


Figura 5.6 – Sistema teste 3.

Os disjuntores usados foram retirados do banco de dados fornecidos pela CEEE, e os equipamentos foram nomeados conforme o nome das subestações à que pertencem. No apêndice H são apresentadas as entradas usadas no gerador de padrões, este composto por 66 disjuntores, 28 linhas, 5 transformadores e 18 barras. Todos os padrões gerados e utilizados na estimação da seção em falta para o sistema teste 3 também estão nos apêndices. Para as 51 seções passíveis de falta e os 202 alarmes foram gerados 183 eventos, compostos por um total de 1926 alarmes.

Os coeficientes positivos de pesos, que definem a importância de cada termo do modelo de PIB foram estabelecidos como 9, 3 e 1 para alarmes falsos (W_3), falhos (W_2) e múltiplos eventos (W_1), respectivamente, sendo estes determinados por meio de busca exaustiva. A menor função objetivo possível para um conjunto de alarmes recebidos é 1, onde todos os alarmes recebidos são corretamente justificados por um evento. Durante o estudo foi verificado que a variação destes valores de forma ponderada e mantendo a relação $w_1 \gg w_2 \gg w_3 > 0$ não leva a mudanças nas respostas obtidas. A relação entre estes pesos é suficiente para reproduzir a frequência de ocorrência de tais variáveis em sistemas reais de potência.

Para avaliar o modelo de estimação da seção em falta foram montados 11 cenários de faltas. As ocorrências foram elaboradas de forma a testar os critérios usados na função objetivo para situações reais enfrentadas nos centros de controle

dos sistemas elétricos de potência. O modelo de programação inteira binária foi resolvido pelo programa comercial *CPLEX*.

As faltas simuladas são descritas a seguir

- Teste 1 - falta na LT_(UPME_BAG2);
- Teste 2 - falta na LT_(UPME_BAG2) com falha na abertura do disjuntor UPMEBAG21XCBR5212;
- Teste 3 - falta na LT_(GUA2_CAM-) com falha na aquisição de dados;
- Teste 4 - falta na LT_(GUA2_CAM-) com falha na aquisição de dados (2);
- Teste 5 - falta no T2(SCH-) com falhas na aquisição de dados;
- Teste 6 - falta na barra CINA com falha de dispositivo de proteção;
- Teste 7 - falta na LT_(UPME_BAG2) com falha de dispositivo de proteção;
- Teste 8 - falta no transformador T2(CIN) com falha de dispositivo de proteção e falha na aquisição de dados;
- Teste 9 – múltiplas faltas, ocorrências em CINA e em UPME;
- Teste 10 – Falta na barra CINA, com múltiplas falhas de dispositivos de proteção;
- Teste 11 - falta na barra CINA com falha dispositivos de proteção.

Para cada uma das ocorrências, são apresentadas as seguintes informações:

- Área do sistema afetada pelo distúrbio, logo após a falta ser totalmente eliminada do sistema. As seções desconectadas do sistema podem ser identificadas nas respectivas figuras pelos disjuntores abertos (quadrados brancos);
- A lista de alarmes reportados durante a ocorrência. A coluna “**Equip**” apresenta o tipo de componente ao qual ao alarme se refere. A coluna “**Proteção**” equivale a forma como a proteção do equipamento atuou. Se tiver direção, esta informação é evidenciada na coluna “**Direção**”.
- A Solução obtida pela otimização com a identificação da secção em falta, dispositivos de proteção falhos e o valor da função objetivo (FO) alcançado.

5.4.1 Teste 1 - Falta em LT_(UPME_BAG2)

Esse caso simula uma falta na linha de transmissão que liga a Usina termelétrica de Presidente Médice (UPME) e a subestação Bagé 2. Os equipamentos envolvidos no estudo estão na Figura 5.7. Neste cenário há a atuação correta de todos os dispositivos de proteção e não existem falhas na aquisição de dados. A Tabela 5.7 apresenta a relação de alarmes recebidos durante a ocorrência. A Tabela 5.8 mostra a solução obtida pelo modelo, que é uma ocorrência simples no sistema, onde todos os dispositivos atuaram da forma esperada, sendo um evento do conjunto de padrões capaz de cobrir todos os alarmes recebidos.

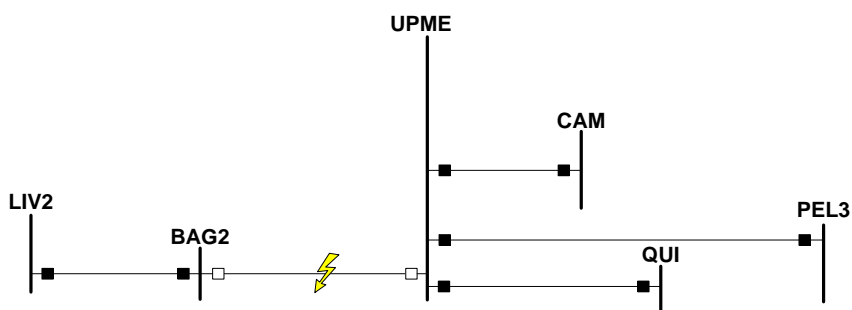


Figura 5.7 – Cenário pós-falta no teste 1.

Tabela 5.7 – Alarmes reportados no teste 1

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
48	LT_(UPME_BAG2)_PS	Linha	Prototeção seletiva	-
3	BAG2_NA	Barra	Não atuou	-
139	BAG2UPME1XCBR5203	Disjuntor	Abertura	-
134	UPME_NA	Barra	Não atuou	-
197	UPMEBAG21XCBR5212	Disjuntor	Abertura	-
53	LT_(UPME_CAM-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
56	LT_(UPME_PEL3)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
59	LT_(UPME QUI-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
31	LT_(LIV2_BAG2)_RR(BAG2)	Linha	Retaguarda remota	BAG2

Tabela 5.8 – Resposta do modelo de PIB para o teste1

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
LT_(UPME_BAG2)	16	0	0	1

A linha LT_(UPME_BAG2) foi devidamente identificada como em falta, através do evento padrão 16. O recebimento dos alarmes LT_(LIV2_BAG2)_RR(BAG2), LT_(UPME_CAM-)_RR(UPME),

LT_(UPME_PEL3)_RR(UPME) e LT_(UPME_QUI-)_RR(UPME) são referente às sensibilizações das proteções de retaguarda remotas destas LTs na direção da usina termelétrica de Presidente Médice.

5.4.2 Teste 2 - Falta em LT_(UPME_BAG2), falha de disjuntor

O segundo estudo de caso novamente simula uma falta na linha de transmissão LT_(UPME_BAG2), porém desta vez com uma falha na abertura em um de seus disjuntores. Os equipamentos envolvidos no estudo de caso estão na Figura 5.8. A Tabela 5.9 apresenta os alarmes reportados durante a falta. A Tabela 5.10 apresenta a resposta do modelo para a ocorrência 2.

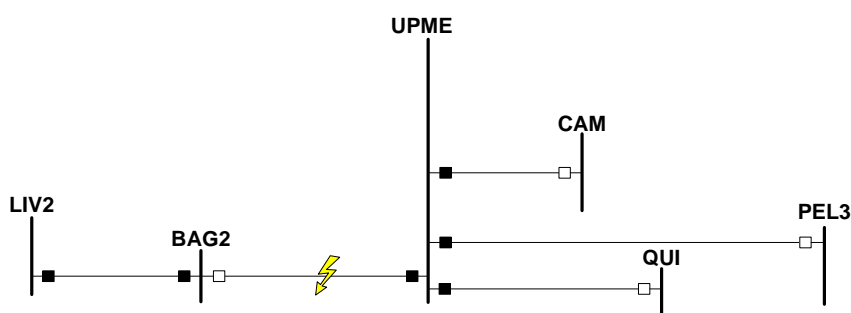


Figura 5.8 – Cenário pós-falta no teste 2.

Tabela 5.9 – Alarmes reportados no teste 2

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
48	LT_(UPME_BAG2)_PS	Linha	Proteção seletiva	-
3	BAG2_NA	Barra	Não atuou	-
139	BAG2UPME1XCBR5203	Disjuntor	Abertura	-
134	UPME_NA	Barra	Não atuou	-
53	LT_(UPME_CAM-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
141	CAM-UPME1XCBR5203	Disjuntor	Abertura	-
56	LT_(UPME_PEL3)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
170	PEL3UPME1XCBR5201	Disjuntor	Abertura	-
59	LT_(UPME_QUI-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
175	QUI-UPME1XCBR5201	Disjuntor	Abertura	-
31	LT_(LIV2_BAG2)_RR(BAG2)	Linha	Retaguarda remota	UPME

Tabela 5.10 – Resposta do modelo de PIB para o teste 2

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
LT_(UPME_BAG2), falha de abertura UPMEBAG21XCBR5212	18	0	0	1

A falha de abertura do disjuntor UPMEBAG21XCBR5212, que liga a linha de transmissão à barra de Bagé 2 durante a falta na LT_(UPME_BAG2) foi corretamente identificada através do evento 18. Como resultado da falha de abertura do disjuntor, todas as linhas conectadas a barra UPME atuaram pela PRR abrindo os disjuntores CAM-UPME1XCBR5203, PEL3UPME1XCBR5201 e QUI-UPME1XCBR5201.

5.4.3 Teste 3 - Falta em LT_(GUA2_CAM-), falha na aquisição de dados

O terceiro teste realizado foi aplicado no intuito de testar a capacidade do modelo de trabalhar com conjuntos de alarmes distintos aos padrões contidos na sua base de dados. Para isso é simulada uma falta na linha de transmissão que interliga as subestações Guaíba 2 e Camaquã (LT_(GUA2_CAM-)). Durante a ocorrência foi considerado que a linha que interliga a SE Camaquã à termelétrica de Presidente Médice e a que interliga SE Guaíba 2 a SE Pelotas 3 não foram sensibilizadas pela falta.

A parte do sistema afetada é apresentada na Figura 5.9. A Tabela 5.11 apresenta o conjunto de alarmes recebidos durante a ocorrência. O resultado obtido pelo modelo de PIB é apresentado na Tabela 5.12.

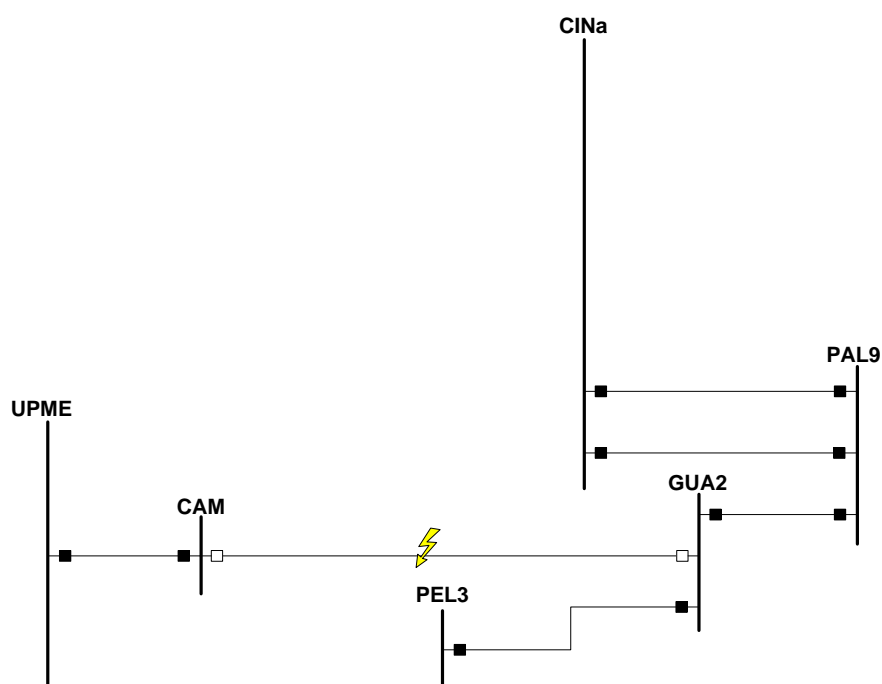


Figura 5.9 – Cenário pós-falta no teste 3.

Tabela 5.11 – Alarmes reportados no teste 3

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
18	LT_(GUA2_CAM-)_PS	Linha	Proteção Seletiva	-
5	CAM-_NA	Barra	Não atuou	-
140	GUA2_NA	Barra	Não atuou	-
11	GUA2CAM-1XCBR5202	Disjuntor	Abertura	-
154	LT_(GUA2_PAL9)_RR(GUA2)	Linha	Retaguarda remota	GUA2
22	UPMECAM-1XCBR5211	Disjuntor	Abertura	-

Tabela 5.12 – Resposta do modelo de PIB para o teste 3

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
LT_(GUA2_CAM-), Atuação correta	22	52, 25	0	7

Os dois alarmes falhos foram identificados pelo modelo, o qual selecionou o evento 22 da base de padrões para representar o conjunto de alarmes recebidos, produzindo um valor ótimo de função objetivo igual a 7. Os alarmes 52 e 25, identificados como falhos pelo modelo, são os alarmes LT_(UPME_CAM-)_RR(CAM-) e LT_(GUA2_PEL3)_RR(GUA2), referentes à sensibilização das PRRs das LTs nas direções de CAM e GUA2, respectivamente.

5.4.4 Teste 4 - Falta em LT_(GUA2_CAM-), falha na aquisição de dados (2)

Este teste é muito semelhante ao anterior, porém ao invés de não terem sido reportados alguns alarmes, agora foi adicionado um alarme (falso) no conjunto de alarmes recebidos. Este teste visa avaliar a capacidade do modelo em detectar alarmes falsos, que se não detectados corretamente poderiam levar o modelo a selecionar um número maior de eventos na tentativa de justificar o recebimento de tal alarme.

Os equipamentos envolvidos no teste estão representados na Figura 5.10, os alarmes recebidos na Tabela 5.13 e o resultado da otimização na Tabela 5.14.

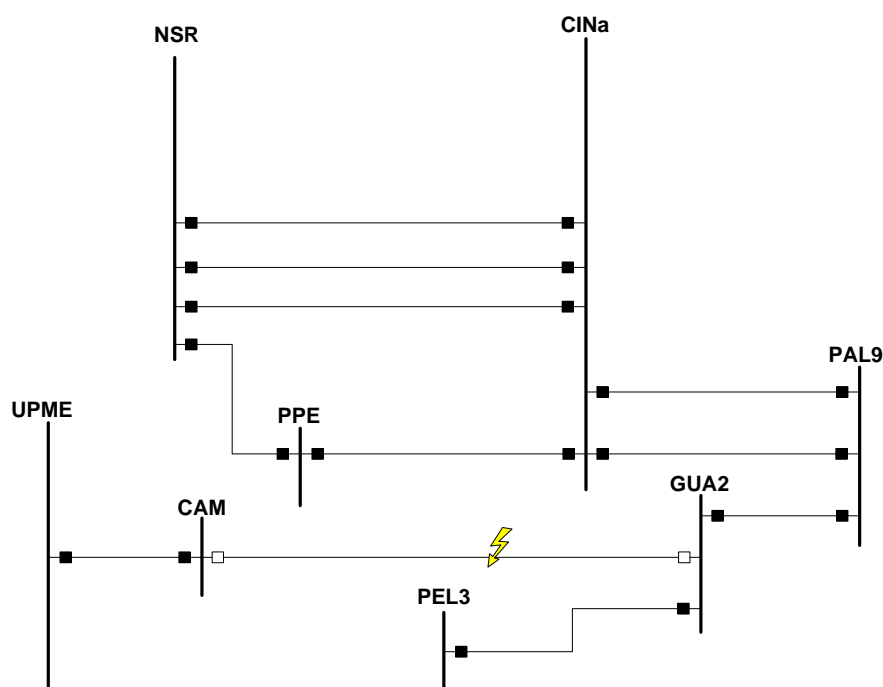


Figura 5.10 – Cenário pós-falta no teste 4.

Tabela 5.13 – Alarmes reportados no teste 4

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
18	LT_(GUA2_CAM-)_PS	Linha	Proteção Seletiva	-
5	CAM-_NA	Barra	Não atuou	-
140	GUA2_NA	Barra	Não atuou	-
11	GUA2CAM-1XCBR5202	Disjuntor	Abertura	-
154	LT_(GUA2_PAL9)_RR(GUA2)	Linha	Retaguarda remota	GUA2
22	LT_(GUA2_PEL3)_RR(GUA2)	Linha	Retaguarda remota	GUA2
25	LT_(UPME_CAM-)_RR(CAM-)	Linha	Retaguarda remota	CAM-
52	UPMECAM-1XCBR5211	Disjuntor	Abertura	-
35	LT_(PPE-_NSR-)_RR(PPE-)	Linha	Retaguarda remota	PPE-

Tabela 5.14 – Resposta do modelo de PIB para o teste 4

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
LT_(GUA2_CAM-), Atuação correta	22	0	35	10

O modelo identificou corretamente o alarme 35 como falso, selecionando novamente o evento 22 como melhor resposta à ocorrência. O alarme 35 (LT_(PPE-_NSR-)_RR(PPE-)) é referente a sensibilização da PRR da LT(PPE-_NSR-), a qual interliga o Pólo Petroquímico à Nova Santa Rita.

O modelo identificou facilmente o alarme falso por não haverem informações suficientes que justificassem uma falta na direção da barra PPE. Dessa forma, é possível notar que seria muito custoso para FO selecionar um número elevado de alarmes falhos a fim de encontrar um evento envolvendo a atuação PRR.

5.4.5 Teste 5- Falta em T2(SCH) com falha na aquisição de dados

Uma falta no transformador T2 da subestação de Scharlau (SCH) é simulada no teste 5. A falta é devidamente eliminada pela proteção seletiva do transformador que abre corretamente os disjuntores SCH2TF2-2XCBR5207 e SCH-TF2-1XCBR5240. As sinalizações das linhas adjacentes à falta são também recebidas no conjunto de alarmes sinalizados devido à ocorrência. As confirmações de não sensibilização das PRR dos transformadores não foram recebidas no conjunto de alarmes reportados.

Os equipamentos envolvidos são apresentados na Figura 5.11, os alarmes recebidos no sistema supervisor são na Tabela 5.15 e o resultado do modelo para o teste 5 está na Tabela 5.16.

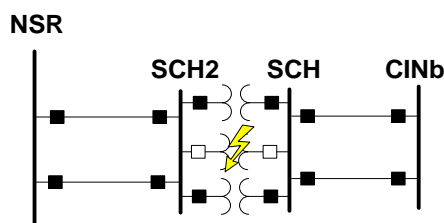


Figura 5.11 – Cenário pós-falta no teste 5.

Tabela 5.15 – Alarmes reportados no teste 5

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
125	T2(SCH-)_PS	Trafo	Proteção Seletiva	-
111	SCH2_NA	Barra	Não atuou	-
179	SCH2TF2-2XCBR5207	Disjuntor	Abertura	-
109	SCH-_NA	Barra	Não atuou	-
184	SCH-TF2-1XCBR5240	Disjuntor	Abertura	-
68	LT1(SCH-_CINb)_RR(SCH-)	Linha	Retaguarda remota	SCH-
86	LT2(SCH-_CINb)_RR(SCH-)	Linha	Retaguarda remota	SCH-
71	LT1(SCH2_NSR-)_RR(SCH2)	Linha	Retaguarda remota	SCH2
89	LT2(SCH2_NSR-)_RR(SCH2)	Linha	Retaguarda remota	SCH2

Tabela 5.16 – Resposta do modelo de PIB para o teste 5

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
T2(SCH), Atuação correta	138	120, 129	0	7

O modelo diagnosticou o conjunto de alarmes recebidos como contendo dois alarmes falhos e o evento 138 como resposta ao teste 5. O evento selecionado pelo modelo representa uma falta interna em T2(SCH) com a atuação correta dos dispositivos de proteção. Os alarmes falhos 120 e 129, são referentes à não sensibilização das proteções dos outros dois transformadores de Scharlau,.

5.4.6 Teste 6 - Falta na CINa, falha no dispositivo de proteção

Uma falha de abertura de um dos disjuntores da barra CINa de Cidade Industrial durante uma falta é simulado na sexta ocorrência. A falta neste cenário é no próprio barramento, e o disjuntor falha em abrir mesmo após a segunda tentativa de abertura realizada pela PRR do transformador T2(CIN). Os alarmes recebidos na ocorrência estão na Tabela 5.17 e o resultado da otimização na Tabela 5.18. A Figura 5.12 apresenta os equipamentos envolvidos na falta.

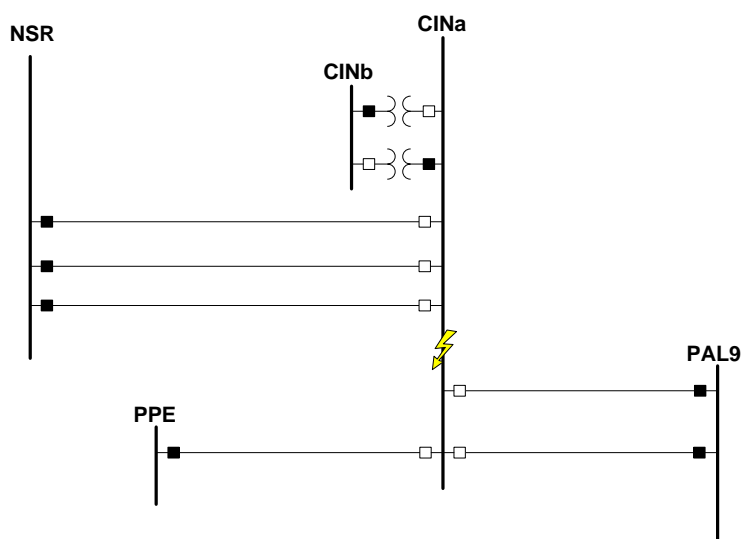


Figura 5.12 – Cenário pós-falta no teste 6.

Tabela 5.17 – Alarmes reportados no teste 6

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
8	CINa_PS	Barra	Proteção Seletiva	-
143	CINaAT1-2XCBR5204	Disjuntor	Abertura	-
123	T2(CIN-)_RR	Trafo	Retaguarda remota	-
144	CINbAT2-1XCBR5218	Disjuntor	Abertura	-
61	LT1(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
146	CINaNSR-1XCBR5229	Disjuntor	Abertura	-
79	LT2(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
147	CINaNSR-2XCBR5225	Disjuntor	Abertura	-
97	LT3(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
148	CINaNSR-3XCBR5208	Disjuntor	Abertura	-
64	LT1(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
149	CINaPAL91XCBR5227	Disjuntor	Abertura	-
82	LT2(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
150	CINaPAL92XCBR5230	Disjuntor	Abertura	-
16	LT_(CINa_PPE-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
151	CINaPPE-1XCBR5226	Disjuntor	Abertura	-

Tabela 5.18 – Resposta do modelo de PIB para o teste 6

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
CINa , Falha de CINaAT2-2XCBR5205	38	145	0	1

O modelo diagnosticou corretamente o alarme 145, referente à abertura do disjuntor CINaAT2-2XCBR5205, como falho. A diferença entre os conjuntos de alarmes do evento padrão e os recebidos é devido a falha de abertura do disjuntor se repetir mesmo após a atuação da PRR do transformador T2(CIN). Nesta ocorrência a falta foi devidamente isolada, porém o disjuntor CINaAT2-2XCBR5205, diferentemente do esperado, permaneceu fechado. Caberia ao operador do centro de operação analisar o ocorrido para avaliar o estado real do disjuntor, utilizando como auxílio à informação fornecida pelo otimizador.

5.4.7 Teste 7- Falta na proteção seletiva da LT_(UPME_BAG2)

A ocorrência simulada é feita no intuito de analisar a consequência da falha da atuação da proteção seletiva da linha de transmissão que interliga a Usina termelétrica Presidente Médice a SE de Bagé 2. A falta é simulada na LT_(UPME_BAG2) onde a proteção seletiva falha, cabendo a todos os equipamentos adjacentes eliminarem a falta. Os equipamentos afetados são apresentados na Figura 5.13, os alarmes recebidos na Tabela 5.19, e a resposta da PIB na Tabela 5.20.

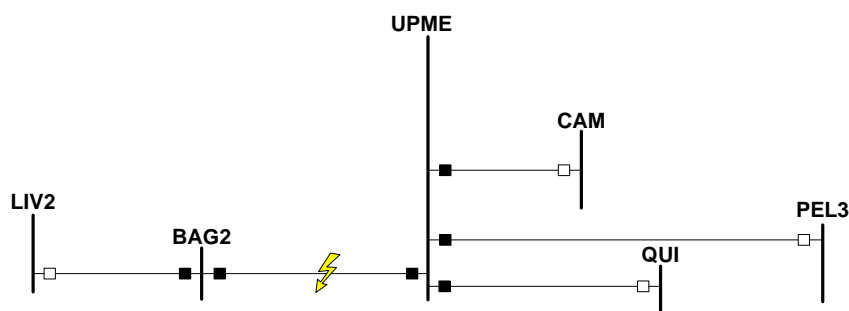


Figura 5.13 – Cenário pós-falta no teste 7.

Tabela 5.19 – Alarmes reportados no teste 7

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
3	BAG2_NA	Barra	Não atuação	-
134	UPME_NA	Barra	Não atuação	-
53	LT_(UPME_CAM-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
141	CAM-UPME1XCBR5203	Disjuntor	Abertura	-
170	PEL3UPME1XCBR5201	Disjuntor	Abertura	-
175	QUI-UPME1XCBR5201	Disjuntor	Abertura	-
56	LT_(UPME_PEL3)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
59	LT_(UPME QUI-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
31	LT_(LIV2_BAG2)_RR(BAG2)	Linha	Retaguarda remota	BAG2
158	LIV2BAG21XCBR5212	Disjuntor	Abertura	-

Tabela 5.20 – Resposta do modelo de PIB para o teste 7

Seção e diagnóstico	Eventos	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
LT_(UPME_BAG2), falha na abertura de BAG2UPME1XCBR5203 UPMEBAG21XCBR5212	17, 18	48, 139, 197	0	11

Como os padrões gerados não cobrem falhas na proteção seletiva, o modelo encontrou como ótimo a ocorrência de múltiplos eventos. Os eventos selecionados, 17 e 18, representam a falha de abertura de ambos os disjuntores da LT, de forma que coube às PRRs dos equipamentos adjacentes eliminarem a falta. O alarme 48 (LT_(UPME_BAG2)_PS) evidencia a falha da atuação da PS, sendo este diagnosticado como falho.

Os alarmes 139 e 197 também diagnosticados como falhos são decorrentes da seleção de múltiplos eventos, e referem-se à abertura dos disjuntores BAG2UPME1XCBR5203 e UPMEBAG21XCBR5212, respectivamente. Como o evento padrão que representa a falha de abertura de um disjuntor contém em seu

conjunto de alarmes a sinalização de abertura do outro disjuntor, a seleção dos dois eventos ocasiona dois alarmes conflitantes.

Apesar dos padrões não cobrirem a falha da atuação da proteção seletiva dos equipamentos do sistema, o modelo é capaz de contemplar tais ocorrências através da seleção de múltiplos eventos. Caberia ao operador nestes casos interpretar os eventos recebidos e os alarmes falhos para concluir que os eventos são resultado da falha da proteção seletiva.

5.4.8 Teste 8- Falta no transformador T2(CIN) falhas de dispositivo de proteção e na aquisição de dados

Neste evento é simulada a ocorrência de diversas falhas durante uma falta em um dos transformadores da subestação Cidade Industrial. O evento simula uma falta no transformador T2(CIN), onde um dos disjuntores falha em abrir e alarmes falhos e falsos são recebidos pelo sistema supervisor. A Figura 5.14 apresenta os componentes envolvidos no teste, na Tabela 5.21 está o conjunto de alarmes recebidos e na Tabela 5.22 está o resultado da PIB.

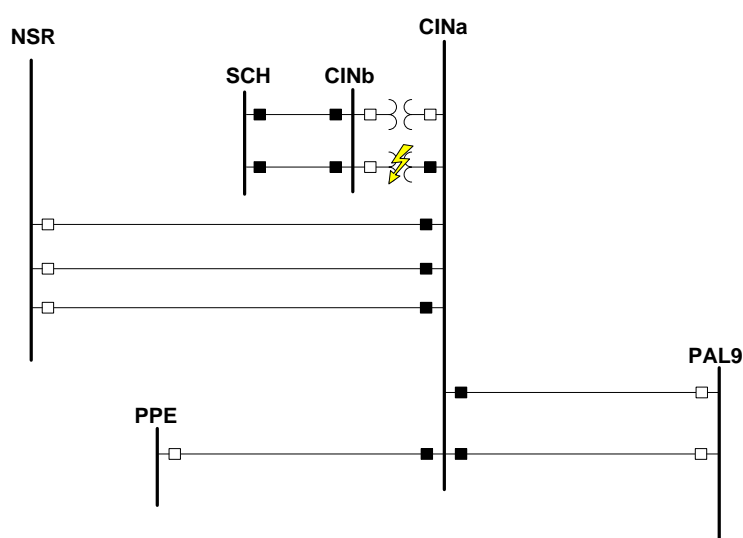


Figura 5.14 – Cenário pós-falta no teste 8.

Tabela 5.21 – Alarmes reportados no teste 8

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
122	T2(CIN-)_PS	Trafo	Proteção Seletiva	-
9	CINb_NA	Barra	Não atuou	-
144	CINbAT2-1XCBR5218	Disjuntor	Abertura	-
7	CINa_NA	Barra	Não atuou	-
117	T1(CIN-)_RR	Trafo	Retaguarda remota	-
142	CINbAT1-1XCBR5213	Disjuntor	Abertura	-
143	CINaAT1-2XCBR5204	Disjuntor	Abertura	-
61	LT1(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
159	NSR-CINa1XCBR5210	Disjuntor	Abertura	-
79	LT2(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
160	NSR-CINa2XCBR5211	Disjuntor	Abertura	-
97	LT3(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
161	NSR-CINa3XCBR5212	Disjuntor	Abertura	-
64	LT1(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
165	PAL9CINa1XCBR5201	Disjuntor	Abertura	-
82	LT2(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
166	PAL9CINa2XCBR5202	Disjuntor	Abertura	-
16	LT_(CINa_PPE-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
171	PPE-CINa1XCBR5205	Disjuntor	Abertura	-
164	NSR-SCH22XCBR-872	Disjuntor	Abertura	-

Tabela 5.22 – Resposta do modelo de PIB para o teste 8

Seção e diagnóstico	Evento	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
T2(CIN) falha na abertura do disjuntor CINaAT2-2XCBR5205	47	67, 85	164	16

Os alarmes 67 e 85, referentes as sinalizações das PRRs de duas das três linhas que ligam a SE Scharlau a barra CINb da SE Cidade Industrial foram identificados como falhos. A resposta fornecida é correta uma vez que apesar do não recebimento dos mesmos, o restante dos alarmes justifica a abertura dos disjuntores das LTs.

O alarme 164, relativo à abertura do disjuntor NSR-SCH22XCBR-872, foi identificado como falso, uma vez que não houve sensibilização nem recebimento de alarme referente alguma proteção capaz de abri-lo. Além disso, o restante dos alarmes recebidos não fazem parte de nenhum cenário possível que possa envolver esta linha de transmissão.

O evento 47 da base de padrões esclarece o restante dos alarmes, onde a falha na abertura do disjuntor CINaAT2-2XCBR5205 durante uma falta no transformador T2(CIN) ocasionou desligamento do transformador T1(CIN), paralelo à T2(CIN), e das diversas linhas de transmissão conectadas à CINa.

5.4.9 Teste 9 - Falta simultânea em CINa e UPME

Esse caso simula faltas simultâneas em duas barras do sistema teste. Os equipamentos em falta são as barras das subestações da Cidade Industrial e da Usina termelétrica de Presidente Médice. Os alarmes são todos recebidos simultaneamente, sendo processados pelo modelo de PIB. A parte do sistema envolvida na falta é apresentada na Figura 5.15. O conjunto de alarmes recebidos é relacionado na Tabela 5.23 e a resposta do modelo para estes alarmes na Tabela 5.24.

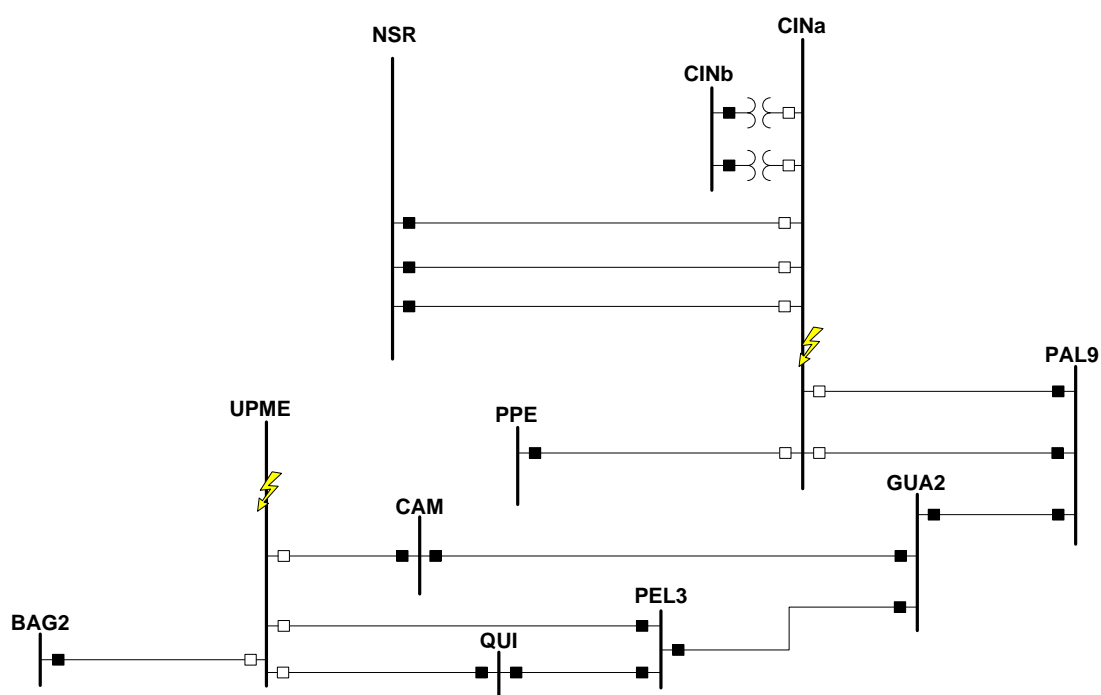


Figura 5.15 – Cenário pós-falta no teste 9.

Tabela 5.23 – Alarmes reportados no teste 9

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
8	CINa_PS	Barra	Proteção seletiva	-
115	T1(CIN-)_NA	Trafo	Não atuou	-
143	CINaAT1-2XCBR5204	Disjuntor	Abertura	-
121	T2(CIN-)_NA	Trafo	Não atuou	-
145	CINaAT2-2XCBR5205	Disjuntor	Abertura	-
61	LT1(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
146	CINaNSR-1XCBR5229	Disjuntor	Abertura	-
79	LT2(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
147	CINaNSR-2XCBR5225	Disjuntor	Abertura	-
97	LT3(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
148	CINaNSR-3XCBR5208	Disjuntor	Abertura	-
64	LT1(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
149	CINaPAL91XCBR5227	Disjuntor	Abertura	-

82	LT2(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
150	CINaPAL92XCBR5230	Disjuntor	Abertura	-
16	LT_(CINa_PPE-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
151	CINaPPE-1XCBR5226	Disjuntor	Abertura	-
135	UPME_PS	Barra	Proteção seletiva	-
50	LT_(UPME_BAG2)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
197	UPMEBAG21XCBR5212	Disjuntor	Abertura	-
53	LT_(UPME_CAM-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
198	UPMECAM-1XCBR5211	Disjuntor	Abertura	-
56	LT_(UPME_PEL3)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
199	UPMEPEL31XCBR5210	Disjuntor	Abertura	-
59	LT_(UPME_QUI-)_RR(UPME)	Linha	Retaguarda remota	UPME
200	UPMEQUI-1XCBR5205	Disjuntor	Abertura	-

Tabela 5.24 – Resposta do modelo de PIB para o teste 9

Seção e diagnóstico	Eventos	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
CINa e UPME em falta	36 e 179	0	0	2

Os alarmes recebidos foram facilmente interpretados pelo modelo, pois esses refletem exatamente o esperado, não havendo alarmes falhos ou falsos. Os alarmes recebidos dos dispositivos que atuaram eliminando a falta são referentes as aberturas dos disjuntores e atuação da proteção seletiva de ambas as barras. As sinalizações das PRRs das LTs adjacentes as faltas são somente sensibilizações, não havendo atuação de nenhuma destas na ocorrência.

5.4.10 Teste 10 - Falhas simultâneas em CINa

Esse caso simula falha na abertura de 3 dos disjuntores da barra CINa da SE Cidade industrial durante uma falta na mesma. Na ocorrência a eliminação da falta somente acontece após a atuação da PRR dos dois transformadores da SE Cidade Industrial e da LT(CINa_NSR-).

A parte do sistema envolvida na falta é apresentada na Figura 5.16. O conjunto de alarmes recebidos é relacionado na Tabela 5.25e a resposta do modelo para estes alarmes na Tabela 5.26.

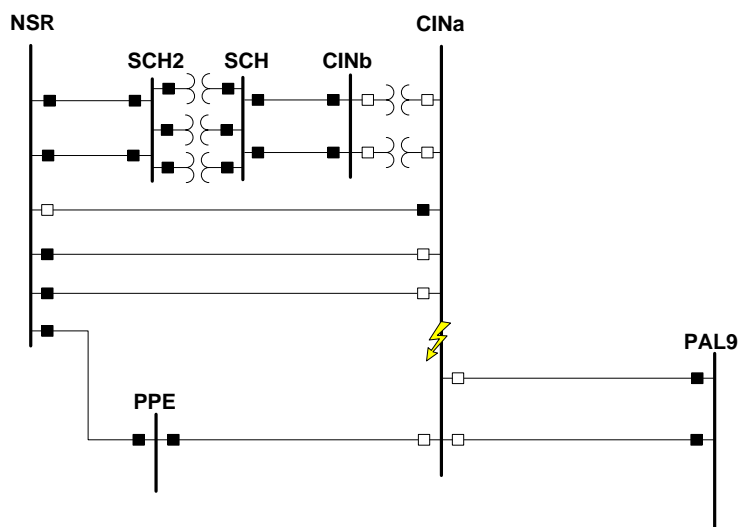


Figura 5.16 – Cenário pós-falta no teste 10.

Tabela 5.25 – Alarmes reportados no teste 10

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
8	CINa_PS	Barra	Proteção Seletiva	-
117	T1(CIN-)_RR	Trafo	Retaguarda remota	-
123	T2(CIN-)_RR	Trafo	Retaguarda remota	-
142	CINbAT1-1XCBR5213	Disjuntor	Abertura	-
143	CINaAT1-2XCBR5204	Disjuntor	Abertura	-
144	CINbAT2-1XCBR5218	Disjuntor	Abertura	-
145	CINaAT2-2XCBR5205	Disjuntor	Abertura	-
147	CINaNSR-2XCBR5225	Disjuntor	Abertura	-
148	CINaNSR-3XCBR5208	Disjuntor	Abertura	-
149	CINaPAL91XCBR5227	Disjuntor	Abertura	-
150	CINaPAL92XCBR5230	Disjuntor	Abertura	-
151	CINaPPE-1XCBR5226	Disjuntor	Abertura	-
159	NSR-CINa1XCBR5210	Disjuntor	Abertura	-
16	LT_(CINa_PPE-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
61	LT1(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
64	LT1(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
79	LT2(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
82	LT2(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
97	LT3(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa

Tabela 5.26 – Resposta do modelo de PIB para o teste 10

Seção e diagnóstico	Eventos	Alarmes falsos	Alarmes falsos	F.O.
CINa, falha na abertura dos disjuntores: CINaAT1-2XCBR5204 CINaAT2-2XCBR5205 CINaNSR-1XCBR5229	37, 38, 39	115, 121, 146	0	12

Os eventos selecionados pelo modelo retratam exatamente o esperado. Cada um dos eventos indica a falha de abertura de um dos disjuntores, necessitando a

atuação das PRR dos transformadores da SE Cidade Industrial e da LT que interliga Scharlau a barra CINa da SE Cidade industrial. Os alarmes diagnosticados como falhos são referentes às confirmações de não atuação da proteção dos transformadores T1(CIN-) e T2(CIN-) e abertura do disjuntor CINaNSR-1XCBR5229. Estes alarmes falhos são conflitos oriundos da combinação dos 3 eventos, os quais consideram apenas a falha de um dispositivo de proteção por vez.

5.4.11 Teste 11 - Falta na barra principal CINa com falha na proteção seletiva

A ocorrência simulada visa permitir analisar a consequência da falha da proteção seletiva de barra. A falta é simulada na barra CINa da subestação de Cidade Industrial, onde a proteção seletiva falha em atuar, cabendo a todos os equipamentos adjacentes eliminarem a falta. Os equipamentos afetados são apresentados na Figura 5.17, os alarmes recebidos na Tabela 5.27, e a resposta da PIB na Tabela 5.8

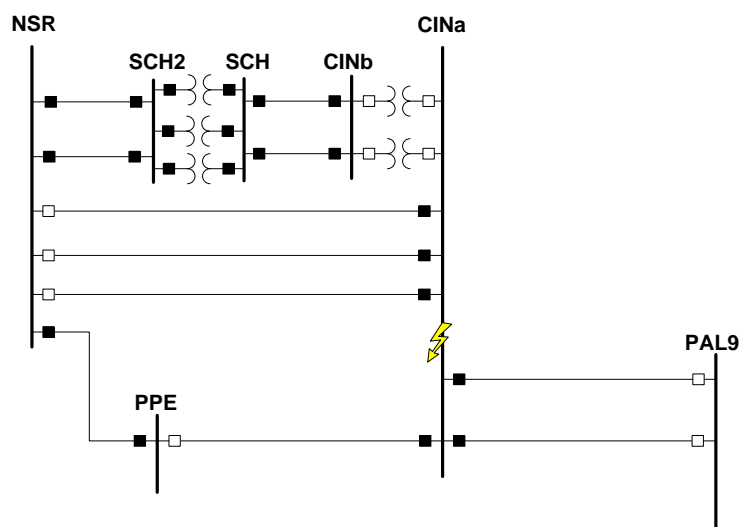


Figura 5.17 – Cenário pós-falta no teste 11.

Tabela 5.27 – Alarmes reportados no teste 11

Índice	Alarme	Equip	Proteção	Direção
7	CINa_NF	Barra	Não atuação	-
9	CINb_NF	Barra	Não atuação	-
117	T1(CIN-)_RR	Trafo	Retaguarda remota	-
142	CINbAT1-1XCBR5213	Disjuntor	Abertura	-
143	CINaAT1-2XCBR5204	Disjuntor	Abertura	-
123	T2(CIN-)_RR	Trafo	Retaguarda remota	-
144	CINbAT2-1XCBR5218	Disjuntor	Abertura	-

145	CINaAT2-2XCBR5205	Disjuntor	Abertura	-
61	LT1(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
159	NSR-CINa1XCBR5210	Disjuntor	Abertura	-
79	LT2(CINa_NSR-)_RR(CINa),	Linha	Retaguarda remota	CINa
160	NSR-CINa2XCBR5211,	Disjuntor	Abertura	-
97	LT3(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
161	NSR-CINa3XCBR5212	Disjuntor	Abertura	-
64	LT1(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
165	PAL9CINa1XCBR5201	Disjuntor	Abertura	-
82	LT2(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
166	PAL9CINa2XCBR5202	Disjuntor	Abertura	-
16	LT_(CINa_PPE-)_RR(CINa)	Linha	Retaguarda remota	CINa
171	PPE-CINa1XCBR5205	Disjuntor	Abertura	-

Tabela 5.28 – Resposta do modelo de PIB para o teste 11

Seção e diagnóstico	Eventos	Alarmes falhos	Alarmes falsos	F.O.
T1(CIN-) falha CINaAT1-2XCBR5204 T2(CIN-) falha CINaAT2-2XCBR5205	35 e 47	67, 85, 116, 122	0	14

Como os padrões gerados não cobrem falhas na proteção seletiva, o modelo encontrou resposta diferente da esperada, no lugar dos eventos que representam a falha de abertura dos disjuntores foram encontrados como melhor solução os eventos 35 e 47. Estes dois eventos representam faltas simultâneas nos transformadores de Cidade Industrial, onde ambos os disjuntores que os conectam ao sistema falharam em abrir.

A identificação dos alarmes 67 e 85 como falhos são resultados da escolha do estimador pelos eventos 35 e 47, os quais esperavam a sensibilização dos relés de PRR das LTs que interligam Scharlau à barra CINb da SE da Cidade Industrial. Cada um destes eventos contém, em seu conjunto de alarmes, a sinalização referente à não atuação da proteção do outro transformador, novamente um conflito gerado devido a seleção de eventos que representam faltas em equipamentos vizinhos.

O modelo, baseado nos eventos gerados, achou uma solução melhor do que a combinação da falha de abertura de todos os disjuntores da barra. O valor da função objetivo para a ocorrência das múltiplas falhas de disjuntores seria de 8 eventos e 9 alarmes falhos, resultando num valor de 35. Os 8 eventos seriam referentes aos 8 eventos padrões de falha de abertura de disjuntores. Dos 9 alarmes falhos, 6 seriam referentes às aberturas dos disjuntores das LTs, 2 referentes às não atuações das proteções dos transformadores T1(CIN-) e T2(CIN-), todos oriundos de conflitos devido aos múltiplos eventos. O ultimo alarme falho é relativo a não

sensibilização da proteção seletiva da barra C1Na da SE Cidade Industrial, uma vez que esta não atuou para a falta interna à barra.

5.5 Considerações finais

Neste capítulo foram apresentados alguns resultados experimentais do uso de uma ferramenta geradora de padrões de causa e efeito aliada à um estimador de seção em falta. Os resultados foram extraídos em duas etapas diferentes.

Em uma primeira etapa um sistema teste retirado da bibliografia foi utilizado para avaliar a capacidade do gerador de padrões de interpretar mudanças topológicas. O algoritmo foi capaz de adaptar os padrões fornecidos facilmente, dependendo somente dos dados de entrada. A adaptação dos dados de entrada, uma vez realizado o cadastro, depende somente do estado dos disjuntores do sistema.

Na segunda etapa, parte do sistema elétrico de transmissão e geração da CEEE foi interpretado pelo gerador de eventos, que forneceu a base de conhecimento utilizada pelo estimador da seção em falta. O modelo de PIB encontrou o ótimo para todas as simulações realizadas, inclusive durante a ocorrência de múltiplos eventos e falhas nos dispositivos de proteção. No último teste aplicado, os padrões gerados inviabilizaram o diagnóstico esperado, uma vez que o modelo foi capaz de encontrar uma resposta mais plausível ao conjunto de alarmes recebidos.

Devido à utilização de padrões de eventos e alarmes gerados em tempo real, a metodologia é capaz de se adaptar às mudanças de topologias dos sistemas elétricos de potência. Além disso, por utilizar um modelo de PIB resolvido de forma determinística, a ferramenta tem garantia de respostas ótimas para o modelo.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho propôs uma nova abordagem para a estimação da secção em faltas em sistemas elétricos de potência. A ferramenta proposta é composta por dois módulos principais. Um é responsável por gerar os padrões de eventos e alarmes enquanto o outro estima a secção em falta através do processamento dos alarmes recebidos no sistema SCADA.

Através do cadastro das conexões do sistema de potência e da leitura dos estados dos disjuntores, fornecidos pelo sistema supervisório, a topologia é interpretada. Uma vez conhecida a topologia, o algoritmo analisa as adjacências de cada seção e gera os padrões de causas e efeitos, compostos por sinalizações de proteções seletivas, retaguardas remotas e aberturas de disjuntores. Estes padrões são usados como base de conhecimento pelo processador de alarmes. A estimação da secção em falta é realizada por um modelo de programação inteira binária fundamentada nos princípios de recobrimento parcimonioso de conjuntos. Prescindido de ajuste de parâmetros, o modelo converge de forma determinística ao ótimo do modelo.

O uso de um algoritmo gerador de padrões de causa e efeito em tempo real fornece flexibilidade à ferramenta de estimação da secção em falta. Modificações na configuração da topologia são facilmente interpretadas pela ferramenta, que adapta a base de conhecimento do estimador da seção em falta para situações inéditas no sistema elétrico. Além de criar padrões complexos que envolvem os possíveis disparos de toda a vizinhança da seção em falta, lida com o volume de informações inerente ao problema.

Para validação da metodologia foram realizados diversos testes nos dois módulos. Três sistemas testes avaliaram a eficácia do gerador de padrões, o qual foi capaz de lidar com as diferentes abordagens realizadas em cada sistema teste. Para testar e validar o processador de alarmes proposto foi utilizada parte de um sistema de potência real. Simulações de faltas em vários pontos do sistema teste mostraram a eficácia do modelo em detectar falhas em dispositivos de proteção, problemas na aquisição de dados e múltiplas ocorrências. Os resultados obtidos mostram a dinamicidade e robustez da ferramenta, essenciais para aplicação em sistemas reais.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros na área, são apresentadas as seguintes sugestões:

- Inclusão de unidades geradoras tanto na geração de padrões quanto na estimação da seção em falta.
- Após a análise dos resultados, é evidente a necessidade da inclusão de padrões que considerem a falha de atuação da proteção seletiva no gerador de eventos. Tais padrões evitariam que a avaliação de uma falha da proteção seletiva fosse relegado ao operador de centros de controle juntamente com a resposta fornecida pelo procedimento de otimização. A inclusão também evitaria diagnósticos errôneos, que podem acontecer quando existe um numero maior de eventos a serem combinados devido a falha de abertura de muitos disjuntores, como na falha de atuação de proteção seletiva de barras. Assim a resposta do modelo de otimização ficaria mais precisa e correta.
- Um método capaz de avaliar a forma de atuação da proteção de cada equipamento poderia complementar este trabalho. Uma ferramenta de reconhecimento de padrões poderia analisar os disparos dos relés e fornecer um diagnóstico local sobre cada seção do sistema de potência. A inclusão de tal ferramenta tornaria possível a consideração não somente dos relés principais de um equipamento como também das informações fornecidas pelos relés auxiliares.
- Elaborar padrões ainda mais complexos, nos quais, além da estimação da seção em falta, fosse também realizado o diagnóstico sobre a provável causa da ocorrência. Assim, a detecção das falhas de atuações de dispositivos de proteção e comunicação seria complementada com o provável motivo destas falhas.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, P. M. **Power System Protection**. 1. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1999. 1307 p.
- ARENALES, M. N. et al; **Pesquisa Operacional**. Editora Campus/Elsevier, ISBN 85-352-1454-3, Rio de Janeiro, 2007, 523 p.
- CAMINHA, A. C. Introdução à Proteção dos sistemas elétricos. 6ª re-impressão. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- 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**. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- CARDOSO Jr., G.; ROLIM, J. G.; ZÜRN, H. H. Identifying the Primary Fault Section after Contingencies in Bulk Power Systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 23, n. 3, p. 1335–1342, jul. 2008.
- CARDOSO Jr., G.; ROLIM, J. G.; ZÜRN, H. H. Application of Neural-Network Modules to Electric Power System Fault Section Estimation. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 19, n. 3, p. 1034–1041, jul. 2004.
- CARDOZO, E.; TALUKDAR, S. N.; A distributed expert system for fault diagnosis. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 3, n. 2, p. 641–646, May, 1988.
- CHANG, C. S.; CHEN, J. M.; SRINIVASAN, D; Fuzzy logic approach in power system fault section identification. **IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.**, Vol. 144, No. 5 (Sept.), 1997 p. 406-414.
- CHEN, W. H. Fault Section Estimation Using Fuzzy Matrix-Based Reasoning Methods. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol. 26, No. 1, p. 205-213, jan. 2011.
- COUTTO FILHO, M. B. DO; RODRIGUES, M. A. P.; SOUZA, J. C. S. et al. Localização de defeitos em sistemas de energia elétrica utilizando sistemas inteligentes. **XV SNPTEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Paraná, Brasil, p. 1-7 out. 1999.
- DAVIDSON, E. M. et al. Applying Multi-Agent System Technology in Practice: Automated Management and Analysis of SCADA and Digital Fault Recorder Data. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 21, n. 2, p. 559–567, mai. 2006.
- DIAZ, A. F. et al. **Optimización Heurística y Redes Neuronales**. Editorial Paraninfo, Madrid, 1996.

DYLIACCO, T. E.; KRAYNAK, T. J. Processing by logic programming of circuit breaker and protective relaying information. **IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems**, Vol. PAS-88, No. 2, Feb 1969.

DONG, X.; HAN, H.; SHU, M. Research of bus protection based on artificial neural network. **7th World Congress on Intelligent Control and Automation**, 4261–4264, 2008.

FONSECA, W. A. S. et al. Simultaneous Fault Section Estimation and Protective Device Failure Detection Using Percentage Values of the Protective Devices Alarms. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 28, n. 1, p. 170-180, fev. 2013.

FRITZEN, P. C. et al. Alarm Processing and Fault Diagnosis in Power Systems Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms. **IEEE International Conference on Industrial Technology- ICIT**, Vina del Mar, p. 1-6, 2010.

FRITZEN, P. C.; CARDOSO Jr, G.; ZAUK, J. M.; MORAIS, A. P. Sistema Híbrido Fundamentado nas Redes GRNN e nos Algoritmos Genéticos para a Solução dos Problemas de Diagnóstico de Falhas e Processamento de Alarmes em Sistemas de Potência. **VIII CLAGTEE, Congresso Latino Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica**. Ubatuba, SP. 2009.

FU, S. et al. An Expert System for On-Line Diagnosis of System Faults and Emergency Control to Prevent a Blackout. **IFAC Control of Power Plants and Power Systems – SIPOWER'95**, p. 303-308, 1995.

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

GLOVER, F. Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. **Computers and Operations Research**, v. 5, p. 553-549, 1986.

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

GOMES, N. S. et al. SAPNET - Sistema de Análise de Perturbações da CEMIG. **XV SNPTEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Paraná, Brasil. p. 1-5, out 1999.

HANDSCHIN, E.; KUHLMANN, D.; HOFFMANN, W.; **System Fault Diagnosis**. **University of Dortmund**. Edited by M. A. El-Sharkawi and Dagmar Niebur, Chapter 11. p. 138-149, 1996.

HE, Z. et al. Fault Section Estimation in Power Systems Based on Improved Optimization Model and Binary Particle Swarm Optimization. **IEEE Power & Energy Society General Meeting**, p. 1–8, 2009.

HOLBACH, J.; Comparison Between High Impedance and low Impedance Bus Differential Protection Comparison, **Power Systems Conference 2009 Advanced**

Metering, Protection, Control, Communication and Distributed Resources 2st edition conference 1–16. Clemson, SC, USA, mar. 2009

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.

HUANG, S. ; LIU, X. Z. Application of Enhanced Honey-Bee Mating Optimization Algorithm to Fault Section Estimation in Power Systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 28, n. 3, p. 1944–1951, jul. 2013.

JÜNGER M., et al.; **Eds.: 50 Years of Integer Programming 1958-2008: From the Early Years to the State-of-the-Art**, 2010, Springer Heidelberg.

KEZUNOVIC, M. & GUAN, Y. Intelligent Alarm Processing: From Data Intensive to Information Rich, **42nd Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS '09**, p. 1–8. 2009.

KIRSCHEN, D. S.; WOLLENBERG, B. F., “**Intelligent Alarm Processing in Power Systems**”, Proceedings of the IEEE, Vol. 80, N° 5, May, 1992, pp. 663–672.

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 Congresso Brasileiro de Automática**, Salvador, BA, Brasil, 2006.

LEÃO, F. B.; PEREIRA, R. A. F.; MANTOVANI, J. R. S. Fault Section Estimation in Electric Power Systems Using an Optimization Immune Algorithm. **Electric Power Systems Research**, v. 80, n. 11, p. 1341–1352, nov. 2010.

LO, K. L.; NG, H. S.; GRANT, D. M.; TRECAT, 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. da G. **The Parameter-Less Genetic Algorithm: Rational and automated parameter selection for simplified genetic algorithm operation**. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia do Ambiente) — Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, Portugal, 2000.

MACHADO, T. M. et al. Análise comparativa do desempenho de várias arquiteturas de redes neurais artificiais aplicadas ao processamento de alarmes. **IX CBRN. Congresso Brasileiro de Redes Neurais**. Ouro Preto, MG, Brasil, 2009.

MARIOTTO L. **Avaliação da Segurança da Operação de Sistemas Elétricos de Potência Considerando os Limites de Estabilidade Angular e de Tensão**. 169 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

MASON, C. R. **The art and science of protective relaying**. 5th Edition. New York: John Wiley, 1956.

MEZA, E. 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, jan 2006.

MEZA, E. M.; Exploring fuzzy relations for alarm processing and fault location in electrical Power systems. **Proceedings of 2001 IEEE Power Tech**, v. 3, Porto, Portugal, 10-13 set. 2001.

MU, J. et al. An Online Intelligent Alarm-Processing System Based on Abductive Reasoning Network. **Power and Energy Society General Meeting, IEEE**, p. 1–5, jul. 2012.

NEGNEVITSKY, M.; PAVLOVSKY, V. Neural Networks Approach to Online Identification of Multiple Failures of Protection Systems. **IEEE Transaction on Power Delivery**, vol. 20, no. 2, p. 588–594, abr. 2005.

OLIVEIRA A L.; **Proposta de Uma Metodologia para o Tratamento de Alarmes e Diagnóstico de Falta em Centros de Operação e Controle de Sistemas de Potência**. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PARK, D. Y. et al. Dealing Uncertainties in the Fault Diagnosis System. **Intelligent System Application to Power Systems ISAP'99** Rio de Janeiro, Brazil. p. 273-277, Abr. 4-8, 1999.

PENG, Y.; REGGIA, J. A. Plausibility of Diagnostic Hypotheses: The Nature of Simplicity. **Proceedings of the 5th National Conference on AI (AAAI-86)**, p. 140-145, 1986.

RABNIK, T.; GUBINA, F.; Fast transformer fault classification by means of recorded protection signals. **Proceedings of 2001 IEEE Power Tech**, 6p. vol. 3, Porto, Portugal, 10-13 set. 2001.

REEVES C. R (Ed.). **Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems**. Blackwell Scientific Publishing, Oxford, England, 1993.

RIFAAT, R. et al. **Bus and Breaker Fail Protection for Industrial and Commercial Power Systems Part I: Introduction and Bus Protection Summary** - Working Group Report, p. 890–897, 2007

RODRIGUES, M. A. M. et al. Novas Tendências Para Análise Automática De Faltas E Distúrbios Em Sistemas De Potência. **X STPC - Seminário Técnico De Proteção E Controle**, Recife, 2010.

SÖRENSEN, K. Metaheuristics – The Exposed Metaphors Considered Harmful. **Matheuristics – 4th International Workshop on Model-Based Metaheuristics**, set. 2012.

SOUZA, J.; MEZA, E.; SCHILLING, M.; FILHO, M. D. C.; "Alarm processing in electrical power systems through a neuro-fuzzy approach". **IEEE Transaction on Power Delivery**, vol. 19, no. 2, Apr., pp. 537–544, 2004.

STÜTZLE T. Local Search Algorithms for Combinatorial Problems - Analysis, Algorithms and New Applications. **DISKI - Dissertationen zur Kunstlik " en Intelligenz. inx, Sankt Augustin**, Alemanha, 1999.

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

TOLLER, B. M. **Proposta de um sistema Híbrido composto por redes neurais artificiais a algoritmos genéticos para o tratamento de alarmes e o diagnóstico de faltas em sistemas elétricos de potência**. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

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, Brasil, out. 2009.

WEN, F.; CHANG, C. S.A probabilistic approach to alarm processing in power systems using a refined genetic algorithm. **International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems, ISAP**. Orlando, FL, USA, 1996. v. 1, p. 14–19.

WEN, F.; HAN, Z., Fault Section Estimation In Power Systems Using A Genetic Algorithm. **Electric Power Systems Research**, v. 34, n. 3, p. 165-172, fev. 1995.

WEN, F. S.; CHANG, C. S. Possibilistic-diagnosis theory for fault-section estimation and state identification of unobserved protective relays using tabu-search method. **IEE Proceedings - Generation Transmission and Distribution**, Vol. 145, No. 6 , p. 722-730, 8 jan. 1998.

WEN, F. S.; CHANG, C.S.; SRINIVASAN, D. **Alarm Processing in Power Systems Using a Genetic Algorithm**. **IEEE International Conference on Evolutionary Computation**. Vol. 1, 29 Nov.-1 Dec., p. 27-32, 1995.

XIAO, Jian; WEN, Fushuan. Combined Use of Fuzzy Set-Covering Theory and Mode Identification Technique for Fault Diagnosis in Power Systems. **IEEE Power Engineering Society General Meeting**. p. 1 – 5, 2007.

ZAUK, J. M.; FRITZEN, P. C.; CARDOSO JR, G.; ARAÚJO, O. B.; SANTOS, E. M. dos; CORRÊA, R. Análise Crítica de Técnicas Computacionais Utilizadas na Classificação de Eventos com Base no Disparo de Relés de Proteção. **IEEE/PES T&D . Proc. Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America**. São Paulo, SP, Brasil, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Padrões gerados para o sistema teste 1 Cap 3.

Equip	Atuação	Padrões gerador
B1	OK	B1_PS, LT1_RR(B1), CB1
	Falha CB1	B1_PS, LT1_RR(B1), CB2
LT1	OK	LT1_PS, B1_NA, CB1, B2_NA, CB2, LT2_RR(B2)
	Falha CB1	LT1_PS, B1_NA, B2_NA, CB2, LT2_RR(B2)
	Falha CB2	LT1_PS, B1_NA, CB1, B2_NA, LT2_RR(B2), CB4
B2	OK	B2_PS, LT1_RR(B2), CB2, LT2_RR(B2), CB3
	Falha CB2	B2_PS, LT1_RR(B2), CB1, LT2_RR(B2), CB3
	Falha CB3	B2_PS, LT1_RR(B2), CB2, LT2_RR(B2), CB4
LT2	OK	LT2_PS, B2_NA, CB3, B4_NA, CB4, LT3_RR(B4), T1_NA, LT1_RR(B2)
	Falha CB3	LT2_PS, B2_NA, B4_NA, CB4, LT3_RR(B4), T1_NA, LT1_RR(B2), CB1
	Falha CB4	LT2_PS, B2_NA, CB3, B4_NA, LT3_RR(B4), CB5, T1_RR, CB7, CB8, LT1_RR(B2)
B4	OK	B4_PS, LT2_RR(B4), CB4, LT3_RR(B4), CB6, T1_NA, CB7
	Falha CB4	B4_PS, LT2_RR(B4), CB3, LT3_RR(B4), CB6, T1_NA, CB7
	Falha CB6	B4_PS, LT2_RR(B4), CB4, LT3_RR(B4), CB5, T1_NA, CB7
	Falha CB7	B4_PS, LT2_RR(B4), CB4, LT3_RR(B4), CB6, T1_RR, CB7, CB8
B3	OK	B3_PS, LT3_RR(B3), CB5
	Falha CB5	B3_PS, LT3_RR(B3), CB6
LT3	OK	LT3_PS, B3_NA, CB5, B4_NA, CB6, LT2_RR(B4), T1_NA
	Falha CB5	LT3_PS, B3_NA, B4_NA, CB6, LT2_RR(B4), T1_NA
	Falha CB6	LT3_PS, B3_NA, CB5, B4_NA, LT2_RR(B4), CB3, T1_RR, CB7, CB8
T1	OK	T1_PS, B4_NA, CB7, B5_NA, CB8, LT4_RR(B5), LT2_RR(B4), LT3_RR(B4)
	Falha CB7	T1_PS, B4_NA, B5_NA, CB8, LT4_RR(B5), LT2_RR(B4), CB3, LT3_RR(B4), CB5
	Falha CB8	T1_PS, B4_NA, CB7, B5_NA, LT4_RR(B5), CB10, LT2_RR(B4), LT3_RR(B4)
B5	OK	B5_PS, T1_NA, CB8, LT4_RR(B5), CB9
	Falha CB8	B5_PS, T1_RR, CB7, CB8, LT4_RR(B5), CB9
	Falha CB9	B5_PS, T1_NA, CB8, LT4_RR(B5), CB10
LT4	OK	LT4_PS, B5_NA, CB9, B6_NA, CB10, T1_NA
	Falha CB9	LT4_PS, B5_NA, B6_NA, CB10, T1_RR, CB7, CB8
	Falha CB10	LT4_PS, B5_NA, CB9, B6_NA, T1_NA
B6	OK	B6_PS, LT4_RR(B6), CB10
	Falha CB10	B6_PS, LT4_RR(B6), CB9

APÊNDICE B – Padrões gerados para o sistema teste 2 Cap 3.

Equip	Atuação	Padrões gerador
B1	OK	B1_PS, LT1_RR(B1), CB1
	Falha CB1	B1_PS, LT1_RR(B1), CB2
LT1	OK	LT1_PS, B1_NA, CB1, B2_NA, CB2, LT2_RR(B2)
	Falha CB1	LT1_PS, B1_NA, B2_NA, CB2, LT2_RR(B2)
	Falha CB2	LT1_PS, B1_NA, CB1, B2_NA, LT2_RR(B2), CB4
B2	OK	B2_PS, LT1_RR(B2), CB2, LT2_RR(B2), CB3

Equip	Atuação	Padrões gerador
LT2	Falha CB2	B2_PS, LT1_RR(B2), CB1, LT2_RR(B2), CB3
	Falha CB3	B2_PS, LT1_RR(B2), CB2, LT2_RR(B2), CB4
	OK	LT2_PS, B2_NA, CB3, B4_NA, CB4, T1_NA, LT1_RR(B2)
B4	Falha CB3	LT2_PS, B2_NA, B4_NA, CB4, T1_NA, LT1_RR(B2), CB1
	Falha CB4	LT2_PS, B2_NA, CB3, B4_NA, T1_RR, CB7, CB8, LT1_RR(B2)
	OK	B4_PS, LT2_RR(B4), CB4, T1_NA, CB7
T1	Falha CB4	B4_PS, LT2_RR(B4), CB3, T1_NA, CB7
	Falha CB7	B4_PS, LT2_RR(B4), CB4, T1_RR, CB7, CB8
	OK	T1_PS, B4_NA, CB7, B5_NA, CB8, LT4_RR(B5), LT2_RR(B4)
B5	Falha CB7	T1_PS, B4_NA, B5_NA, CB8, LT4_RR(B5), LT2_RR(B4), CB3
	Falha CB8	T1_PS, B4_NA, CB7, B5_NA, LT4_RR(B5), CB10, LT2_RR(B4)
	OK	B5_PS, T1_NA, CB8, LT4_RR(B5), CB9
LT4	Falha CB8	B5_PS, T1_RR, CB7, CB8, LT4_RR(B5), CB9
	Falha CB9	B5_PS, T1_NA, CB8, LT4_RR(B5), CB10
	OK	LT4_PS, B5_NA, CB9, B6_NA, CB10, T1_NA
B6	Falha CB9	LT4_PS, B5_NA, B6_NA, CB10, T1_RR, CB7, CB8
	Falha CB10	LT4_PS, B5_NA, CB9, B6_NA, T1_NA
	OK	B6_PS, LT4_RR(B6), CB10
	Falha CB10	B6_PS, LT4_RR(B6), CB9

APÊNDICE C – Entradas utilizadas para sistema teste 1 Cap. 5

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB2	A1	T1
CB3	A1	T2
CB4	B1	T1
CB5	B1	T2
CB6	B1	B2
CB7	B1	L1
CB8	B2	L2
CB9	B1	L3
CB10	B2	L4
CB11	B4	L1
CB12	B3	L2
CB13	B3	B4
CB14	B3	T3
CB15	B3	T4
CB16	A2	T3
CB17	A2	T4
CB19	B3	L5
CB20	B4	L6
CB22	A3	T5
CB23	A3	T6
CB24	B5	T5
CB25	B5	T6
CB26	B5	B6
CB27	B5	L4

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB28	B6	L3
CB29	B5	L7
CB30	B6	L8
CB31	B7	L6
CB32	B8	L5
CB33	B7	B8
CB34	B7	T7
CB35	B7	T8
CB36	A4	T7
CB37	A4	T8
CB39	B8	L7
CB40	B7	L8

APÊNDICE D – Padrões gerados para sistema teste 1 Cap. 5

Equip	Atuação	Padrões gerador
A1	OK	A1_PS, T1_NA, CB2, T2_NA, CB3
	Falha CB2	A1_PS, T1_RR, CB2, CB4, T2_NA, CB3
	Falha CB3	A1_PS, CB2, T2_RR, CB3, CB5
T1	OK	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, CB4, T2_NA, B2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1), L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB2	T1_PS, A1_NA, B1_NA, CB4, B2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1), T2_RR, CB3, CB5, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB4	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28
T2	OK	T2_PS, A1_NA, CB3, B1_NA, CB5, T1_NA, B2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1), L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB3	T2_PS, A1_NA, B1_NA, CB5, B2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1), T1_RR, CB2, CB4, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB5	T2_PS, A1_NA, CB3, B1_NA, T1_RR, CB2, CB4, B2_NA, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28
B1	OK	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB4	B1_PS, T1_RR, CB2, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB5	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB6	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27
	Falha CB7	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB9, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
	Falha CB9	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, B2_NA, CB6, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB28, L2_RR(B2), L4_RR(B2)
B2	OK	B2_PS, B1_NA, CB6, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB10, T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
	Falha CB6	B2_PS, B1_NA, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB10, T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28
	Falha CB8	B2_PS, B1_NA, CB6, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB10, T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
	Falha CB10	B2_PS, B1_NA, CB6, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB27, T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
L1	OK	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_NA, T2_NA, B2_NA, L3_RR(B1), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), L4_RR(B2)
	Falha CB7	L1_PS, B1_NA, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27,

Equip	Atuação	Padrões gerador
		L3_RR(B1), CB28, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
L2	Falha CB11	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L6_RR(B4), CB31, T1_NA, T2_NA, B2_NA, L3_RR(B1), L4_RR(B2)
	OK	L2_PS, B2_NA, CB8, B3_NA, CB12, B4_NA, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), B1_NA, L4_RR(B2), L1_RR(B4), L6_RR(B4), T1_NA, T2_NA, L3_RR(B1)
	Falha CB8	L2_PS, B2_NA, B3_NA, CB12, B4_NA, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), B1_NA, T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28, L4_RR(B2), CB27, L6_RR(B4)
	Falha CB12	L2_PS, B2_NA, CB8, B3_NA, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, B1_NA, L4_RR(B2), T1_NA, T2_NA, L3_RR(B1)
L3	OK	L3_PS, B1_NA, CB9, B6_NA, CB28, B5_NA, L8_RR(B6), T1_NA, T2_NA, B2_NA, L1_RR(B1), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L2_RR(B2)
	Falha CB9	L3_PS, B1_NA, B6_NA, CB28, B5_NA, L8_RR(B6), T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, B2_NA, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB27, L1_RR(B1), CB11, T5_NA, T6_NA, L7_RR(B5)
	Falha CB28	L3_PS, B1_NA, CB9, B6_NA, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39, L8_RR(B6), CB40, T1_NA, T2_NA, B2_NA, L1_RR(B1), L2_RR(B2)
L4	OK	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, CB27, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L7_RR(B5), B1_NA, L2_RR(B2), L3_RR(B6), L8_RR(B6), T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1)
	Falha CB10	L4_PS, B2_NA, B5_NA, CB27, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L7_RR(B5), B1_NA, T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28, L2_RR(B2), CB12, L8_RR(B6)
	Falha CB27	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L7_RR(B5), CB39, B1_NA, L2_RR(B2), T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1)
B4	OK	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB11	B4_PS, L1_RR(B4), CB7, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB13	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB20	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB31, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
B3	OK	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB12	B3_PS, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB13	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31
	Falha CB14	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_RR, CB14, CB16, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB15	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB19	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB32, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
T3	OK	T3_PS, B3_NA, CB14, A2_NA, CB16, T4_NA, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB14	T3_PS, B3_NA, A2_NA, CB16, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB16	T3_PS, B3_NA, CB14, A2_NA, T4_RR, CB15, CB17, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
T4	OK	T4_PS, B3_NA, CB15, A2_NA, CB17, T3_NA, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB15	T4_PS, B3_NA, A2_NA, CB17, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, L5_RR(B3), CB32

Equip	Atuação	Padrões gerador
A2	Falha CB17	T4_PS, B3_NA, CB15, A2_NA, T3_RR, CB14, CB16, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	OK	A2_PS, T3_NA, CB16, T4_NA, CB17
L5	Falha CB16	A2_PS, T3_RR, CB14, CB16, T4_NA, CB17
	Falha CB17	A2_PS, CB16, T4_RR, CB15, CB17
	OK	L5_PS, B3_NA, CB19, B8_NA, CB32, B7_NA, L7_RR(B8), L2_RR(B3), B4_NA, T3_NA, T4_NA, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L1_RR(B4)
L6	Falha CB19	L5_PS, B3_NA, B8_NA, CB32, B7_NA, L7_RR(B8), L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB32	L5_PS, B3_NA, CB19, B8_NA, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, L7_RR(B8), CB29, L2_RR(B3), B4_NA, T3_NA, T4_NA, L1_RR(B4)
	OK	L6_PS, B4_NA, CB20, B7_NA, CB31, B8_NA, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L1_RR(B4), B3_NA, L5_RR(B8), L7_RR(B8), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA
A3	Falha CB20	L6_PS, B4_NA, B7_NA, CB31, B8_NA, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L1_RR(B4), CB7, B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L7_RR(B8)
	Falha CB31	L6_PS, B4_NA, CB20, B7_NA, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, L1_RR(B4), B3_NA, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA
	OK	A3_PS, T5_NA, CB22, T6_NA, CB23
T5	Falha CB22	A3_PS, T5_RR, CB22, CB24, T6_NA, CB23
	Falha CB23	A3_PS, CB22, T6_RR, CB23, CB25
	OK	T5_PS, A3_NA, CB22, B5_NA, CB24, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L3_RR(B6), L8_RR(B6)
T6	Falha CB22	T5_PS, A3_NA, B5_NA, CB24, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), T6_RR, CB23, CB25, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB24	T5_PS, A3_NA, CB22, B5_NA, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
	OK	T6_PS, A3_NA, CB23, B5_NA, CB25, T5_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L3_RR(B6), L8_RR(B6)
B5	Falha CB23	T6_PS, A3_NA, B5_NA, CB25, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), T5_RR, CB22, CB24, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB25	T6_PS, A3_NA, CB23, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
	OK	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB24	B5_PS, T5_RR, CB22, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB25	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB26	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40
B6	Falha CB27	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB29	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB39, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	OK	B6_PS, B5_NA, CB26, L3_RR(B6), CB28, L8_RR(B6), CB30, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	Falha CB26	B6_PS, B5_NA, L3_RR(B6), CB28, L8_RR(B6), CB30, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
L7	Falha CB28	B6_PS, B5_NA, CB26, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB30, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	Falha CB30	B6_PS, B5_NA, CB26, L3_RR(B6), CB28, L8_RR(B6), CB40, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	OK	L7_PS, B5_NA, CB29, B8_NA, CB39, L5_RR(B8), B7_NA, T5_NA, T6_NA,

Equip	Atuação	Padrões gerador
L8	Falha CB29	B6_NA, L4_RR(B5), L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L3_RR(B6) L7_PS, B5_NA, B8_NA, CB39, L5_RR(B8), B7_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA
	Falha CB39	L7_PS, B5_NA, CB29, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L3_RR(B6)
	OK	L8_PS, B6_NA, CB30, B7_NA, CB40, L6_RR(B7), B8_NA, T7_NA, T8_NA, B5_NA, L3_RR(B6), L5_RR(B8), L7_RR(B8), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5)
	Falha CB30	L8_PS, B6_NA, B7_NA, CB40, L6_RR(B7), B8_NA, T7_NA, T8_NA, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39, L3_RR(B6), CB9, L5_RR(B8)
	Falha CB40	L8_PS, B6_NA, CB30, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, B5_NA, L3_RR(B6), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5)
B7	OK	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB31	B7_PS, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB33	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29
	Falha CB34	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_RR, CB34, CB36, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB35	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
B8	Falha CB40	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB30, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	OK	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB32	B8_PS, L5_RR(B8), CB19, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB33	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30
T7	Falha CB39	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB29, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	OK	T7_PS, B7_NA, CB34, A4_NA, CB36, T8_NA, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB34	T7_PS, B7_NA, A4_NA, CB36, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30
T8	Falha CB36	T7_PS, B7_NA, CB34, A4_NA, T8_RR, CB35, CB37, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	OK	T8_PS, B7_NA, CB35, A4_NA, CB37, T7_NA, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB35	T8_PS, B7_NA, A4_NA, CB37, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, L8_RR(B7), CB30
A4	Falha CB37	T8_PS, B7_NA, CB35, A4_NA, T7_RR, CB34, CB36, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	OK	A4_PS, T7_NA, CB36, T8_NA, CB37
	Falha CB36	A4_PS, T7_RR, CB34, CB36, T8_NA, CB37
	Falha CB37	A4_PS, CB36, T8_RR, CB35, CB37

APÊNDICE E – Padrões gerados para sistema teste 2 Cap. 5

Equip	Atuação	Padrões gerador
A1	OK	A1_PS, T1_NA, CB2, T2_NA, CB3
	Falha CB2	A1_PS, T1_RR, CB2, CB4, T2_NA, CB3

Equip	Atuação	Padrões gerador
T1	Falha CB3	A1_PS, CB2, T2_RR, CB3, CB5
	OK	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, CB4, T2_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
T2	Falha CB2	T1_PS, A1_NA, B1_NA, CB4, L1_RR(B1), L3_RR(B1), T2_RR, CB3, CB5
	Falha CB4	T1_PS, A1_NA, CB2, B1_NA, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28
	OK	T2_PS, A1_NA, CB3, B1_NA, CB5, T1_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
B1	Falha CB3	T2_PS, A1_NA, B1_NA, CB5, L1_RR(B1), L3_RR(B1), T1_RR, CB2, CB4
	Falha CB5	T2_PS, A1_NA, CB3, B1_NA, T1_RR, CB2, CB4, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB28
	OK	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
L1	Falha CB4	B1_PS, T1_RR, CB2, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB5	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB7	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB11, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB9	B1_PS, T1_NA, CB4, T2_NA, CB5, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB28
	OK	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_NA, T2_NA, L3_RR(B1), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
B2	Falha CB7	L1_PS, B1_NA, B4_NA, CB11, B3_NA, L6_RR(B4), T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L3_RR(B1), CB28, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB11	L1_PS, B1_NA, CB7, B4_NA, B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L6_RR(B4), CB31, T1_NA, T2_NA, L3_RR(B1)
	OK	B2_PS, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB10
L2	Falha CB8	B2_PS, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB10
	Falha CB10	B2_PS, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB27
	OK	L2_PS, B2_NA, CB8, B3_NA, CB12, B4_NA, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), L4_RR(B2), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
L3	Falha CB8	L2_PS, B2_NA, B3_NA, CB12, B4_NA, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), L4_RR(B2), CB27, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB12	L2_PS, B2_NA, CB8, B3_NA, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L4_RR(B2)
	OK	L3_PS, B1_NA, CB9, B6_NA, CB28, B5_NA, L8_RR(B6), T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
L4	Falha CB9	L3_PS, B1_NA, B6_NA, CB28, B5_NA, L8_RR(B6), T1_RR, CB2, CB4, T2_RR, CB3, CB5, L1_RR(B1), CB11, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	Falha CB28	L3_PS, B1_NA, CB9, B6_NA, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39, L8_RR(B6), CB40, T1_NA, T2_NA, L1_RR(B1)
	OK	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, CB27, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L7_RR(B5), L2_RR(B2), L3_RR(B6), L8_RR(B6)
B4	Falha CB10	L4_PS, B2_NA, B5_NA, CB27, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L7_RR(B5), L2_RR(B2), CB12, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB27	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L7_RR(B5), CB39, L2_RR(B2)
	OK	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
B3	Falha CB11	B4_PS, L1_RR(B4), CB7, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB13	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB20	B4_PS, L1_RR(B4), CB11, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB31, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
B3	OK	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)

Equip	Atuação	Padrões gerador
T3	Falha CB12	B3_PS, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB13	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31
	Falha CB14	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_RR, CB14, CB16, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB15	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB19, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB19	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB32, L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	OK	T3_PS, B3_NA, CB14, A2_NA, CB16, T4_NA, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	Falha CB14	T3_PS, B3_NA, A2_NA, CB16, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB16	T3_PS, B3_NA, CB14, A2_NA, T4_RR, CB15, CB17, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
	T4	OK
Falha CB15		T4_PS, B3_NA, A2_NA, CB17, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, L5_RR(B3), CB32
Falha CB17		T4_PS, B3_NA, CB15, A2_NA, T3_RR, CB14, CB16, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L1_RR(B4), L6_RR(B4)
A2	OK	A2_PS, T3_NA, CB16, T4_NA, CB17
	Falha CB16	A2_PS, T3_RR, CB14, CB16, T4_NA, CB17
	Falha CB17	A2_PS, CB16, T4_RR, CB15, CB17
L5	OK	L5_PS, B3_NA, CB19, B8_NA, CB32, B7_NA, L7_RR(B8), L2_RR(B3), B4_NA, T3_NA, T4_NA, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L1_RR(B4)
	Falha CB19	L5_PS, B3_NA, B8_NA, CB32, B7_NA, L7_RR(B8), L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L1_RR(B4), CB7, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB32	L5_PS, B3_NA, CB19, B8_NA, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, L7_RR(B8), CB29, L2_RR(B3), B4_NA, T3_NA, T4_NA, L1_RR(B4)
L6	OK	L6_PS, B4_NA, CB20, B7_NA, CB31, B8_NA, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L1_RR(B4), B3_NA, L5_RR(B8), L7_RR(B8), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA
	Falha CB20	L6_PS, B4_NA, B7_NA, CB31, B8_NA, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L1_RR(B4), CB7, B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L7_RR(B8)
	Falha CB31	L6_PS, B4_NA, CB20, B7_NA, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, L1_RR(B4), B3_NA, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA
A3	OK	A3_PS, T5_NA, CB22, T6_NA, CB23
	Falha CB22	A3_PS, T5_RR, CB22, CB24, T6_NA, CB23
	Falha CB23	A3_PS, CB22, T6_RR, CB23, CB25
T5	OK	T5_PS, A3_NA, CB22, B5_NA, CB24, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB22	T5_PS, A3_NA, B5_NA, CB24, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), T6_RR, CB23, CB25, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB24	T5_PS, A3_NA, CB22, B5_NA, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
T6	OK	T6_PS, A3_NA, CB23, B5_NA, CB25, T5_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB23	T6_PS, A3_NA, B5_NA, CB25, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), T5_RR, CB22, CB24, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB25	T6_PS, A3_NA, CB23, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39

Equip	Atuação	Padrões gerador
B5	OK	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB24	B5_PS, T5_RR, CB22, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB25	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB26	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40
	Falha CB27	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB29, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
	Falha CB29	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB39, L3_RR(B6), L8_RR(B6)
B6	OK	B6_PS, B5_NA, CB26, L3_RR(B6), CB28, L8_RR(B6), CB30, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	Falha CB26	B6_PS, B5_NA, L3_RR(B6), CB28, L8_RR(B6), CB30, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
	Falha CB28	B6_PS, B5_NA, CB26, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB30, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	Falha CB30	B6_PS, B5_NA, CB26, L3_RR(B6), CB28, L8_RR(B6), CB40, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
L7	OK	L7_PS, B5_NA, CB29, B8_NA, CB39, L5_RR(B8), B7_NA, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), L3_RR(B6)
	Falha CB29	L7_PS, B5_NA, B8_NA, CB39, L5_RR(B8), B7_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L3_RR(B6), CB9, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA
	Falha CB39	L7_PS, B5_NA, CB29, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L3_RR(B6)
L8	OK	L8_PS, B6_NA, CB30, B7_NA, CB40, L6_RR(B7), B8_NA, T7_NA, T8_NA, B5_NA, L3_RR(B6), L5_RR(B8), L7_RR(B8), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5)
	Falha CB30	L8_PS, B6_NA, B7_NA, CB40, L6_RR(B7), B8_NA, T7_NA, T8_NA, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39, L3_RR(B6), CB9, L5_RR(B8)
	Falha CB40	L8_PS, B6_NA, CB30, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, B5_NA, L3_RR(B6), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5)
B7	OK	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB31	B7_PS, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB33	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29
	Falha CB34	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_RR, CB34, CB36, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB35	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB40	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB30, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
B8	OK	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB32	B8_PS, L5_RR(B8), CB19, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB33	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30
	Falha CB39	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB29, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
T7	OK	T7_PS, B7_NA, CB34, A4_NA, CB36, T8_NA, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB34	T7_PS, B7_NA, A4_NA, CB36, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8),

Equip	Atuação	Padrões gerador
T8	Falha CB36	CB19, L7_RR(B8), CB29, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30 T7_PS, B7_NA, CB34, A4_NA, T8_RR, CB35, CB37, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	OK	T8_PS, B7_NA, CB35, A4_NA, CB37, T7_NA, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB35	T8_PS, B7_NA, A4_NA, CB37, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, L8_RR(B7), CB30
	Falha CB37	T8_PS, B7_NA, CB35, A4_NA, T7_RR, CB34, CB36, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
A4	OK	A4_PS, T7_NA, CB36, T8_NA, CB37
	Falha CB36	A4_PS, T7_RR, CB34, CB36, T8_NA, CB37
	Falha CB37	A4_PS, CB36, T8_RR, CB35, CB37

Apêndice F - Entradas utilizadas para sistema teste 2 Cap. 5., após abertura de CB2, CB3, CB5, CB11, CB28.

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
CB4	B1	T1
CB7	B1	L1
CB8	B2	L2
CB9	B1	L3
CB10	B2	L4
CB12	B3	L2
CB13	B3	B4
CB14	B3	T3
CB15	B3	T4
CB16	A2	T3
CB17	A2	T4
CB19	B3	L5
CB20	B4	L6
CB22	A3	T5
CB23	A3	T6
CB24	B5	T5
CB25	B5	T6
CB26	B5	B6
CB27	B5	L4
CB29	B5	L7
CB30	B6	L8
CB31	B7	L6
CB32	B8	L5
CB33	B7	B8
CB34	B7	T7
CB35	B7	T8
CB36	A4	T7
CB37	A4	T8
CB39	B8	L7
CB40	B7	L8

APÊNDICE G – Padrões gerados para sistema teste 2 Cap. 5, após abertura de CB2, CB3, CB5, CB11, CB28.

Equip	Atuação	Padrões gerador
B1	OK	B1_PS, T1_NA, CB4, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB4	B1_PS, T1_RR, CB4, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1), CB9
	Falha CB7	B1_PS, T1_NA, CB4, L1_RR(B1), L3_RR(B1), CB9
	Falha CB9	B1_PS, T1_NA, CB4, L1_RR(B1), CB7, L3_RR(B1)
T1	OK	T1_PS, B1_NA, CB4, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
	Falha CB4	T1_PS, B1_NA, L1_RR(B1), L3_RR(B1)
L1	OK	L1_PS, B1_NA, CB7, T1_NA, L3_RR(B1)
	Falha CB7	L1_PS, B1_NA, T1_RR, CB4, L3_RR(B1)
B2	OK	B2_PS, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB10
	Falha CB8	B2_PS, L2_RR(B2), CB12, L4_RR(B2), CB10
	Falha CB10	B2_PS, L2_RR(B2), CB8, L4_RR(B2), CB27
L2	OK	L2_PS, B2_NA, CB8, B3_NA, CB12, B4_NA, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), L4_RR(B2), L6_RR(B4)
	Falha CB8	L2_PS, B2_NA, B3_NA, CB12, B4_NA, T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3), L4_RR(B2), CB27, L6_RR(B4)
	Falha CB12	L2_PS, B2_NA, CB8, B3_NA, B4_NA, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L4_RR(B2)
L3	OK	L3_PS, B1_NA, CB9, T1_NA, L1_RR(B1)
	Falha CB9	L3_PS, B1_NA, T1_RR, CB4, L1_RR(B1)
L4	OK	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, CB27, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L7_RR(B5), L2_RR(B2), L8_RR(B6)
	Falha CB10	L4_PS, B2_NA, B5_NA, CB27, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L7_RR(B5), L2_RR(B2), CB12, L8_RR(B6)
	Falha CB27	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L8_RR(B6), CB40, L7_RR(B5), CB39, L2_RR(B2)
	Falha CB12	L4_PS, B2_NA, CB10, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L8_RR(B6), CB40, L7_RR(B5), CB39, L2_RR(B2)
B3	OK	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L6_RR(B4)
	Falha CB12	B3_PS, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L6_RR(B4)
	Falha CB13	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L6_RR(B4), CB31
	Falha CB14	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_RR, CB14, CB16, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB19, L6_RR(B4)
	Falha CB15	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB19, L6_RR(B4)
	Falha CB19	B3_PS, L2_RR(B3), CB12, B4_NA, CB13, T3_NA, CB14, T4_NA, CB15, L5_RR(B3), CB32, L6_RR(B4)
B4	OK	B4_PS, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
	Falha CB13	B4_PS, B3_NA, L6_RR(B4), CB20, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB20	B4_PS, B3_NA, CB13, L6_RR(B4), CB31, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA, L5_RR(B3)
T3	OK	T3_PS, B3_NA, CB14, A2_NA, CB16, T4_NA, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L6_RR(B4)
	Falha CB14	T3_PS, B3_NA, A2_NA, CB16, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L6_RR(B4), CB31, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB16	T3_PS, B3_NA, CB14, A2_NA, T4_RR, CB15, CB17, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L6_RR(B4)
T4	OK	T4_PS, B3_NA, CB15, A2_NA, CB17, T3_NA, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L6_RR(B4)

Equip	Atuação	Padrões gerador
A2	Falha CB15	T4_PS, B3_NA, A2_NA, CB17, L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, L5_RR(B3), CB32
	Falha CB17	T4_PS, B3_NA, CB15, A2_NA, T3_RR, CB14, CB16, L2_RR(B3), B4_NA, L5_RR(B3), L6_RR(B4)
	OK	A2_PS, T3_NA, CB16, T4_NA, CB17
	Falha CB16	A2_PS, T3_RR, CB14, CB16, T4_NA, CB17
L5	Falha CB17	A2_PS, CB16, T4_RR, CB15, CB17
	OK	L5_PS, B3_NA, CB19, B8_NA, CB32, B7_NA, L7_RR(B8), L2_RR(B3), B4_NA, T3_NA, T4_NA, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB19	L5_PS, B3_NA, B8_NA, CB32, B7_NA, L7_RR(B8), L2_RR(B3), CB8, B4_NA, L6_RR(B4), CB31, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
L6	Falha CB32	L5_PS, B3_NA, CB19, B8_NA, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, L7_RR(B8), CB29, L2_RR(B3), B4_NA, T3_NA, T4_NA
	OK	L6_PS, B4_NA, CB20, B7_NA, CB31, B8_NA, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), B3_NA, L5_RR(B8), L7_RR(B8), L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA
	Falha CB20	L6_PS, B4_NA, B7_NA, CB31, B8_NA, T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7), B3_NA, L2_RR(B3), CB8, T3_RR, CB14, CB16, T4_RR, CB15, CB17, L5_RR(B3), CB32, L7_RR(B8)
A3	Falha CB31	L6_PS, B4_NA, CB20, B7_NA, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, B3_NA, L2_RR(B3), T3_NA, T4_NA
	OK	A3_PS, T5_NA, CB22, T6_NA, CB23
	Falha CB22	A3_PS, T5_RR, CB22, CB24, T6_NA, CB23
T5	Falha CB23	A3_PS, CB22, T6_RR, CB23, CB25
	OK	T5_PS, A3_NA, CB22, B5_NA, CB24, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L8_RR(B6)
	Falha CB22	T5_PS, A3_NA, B5_NA, CB24, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), T6_RR, CB23, CB25, L8_RR(B6)
T6	Falha CB24	T5_PS, A3_NA, CB22, B5_NA, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
	OK	T6_PS, A3_NA, CB23, B5_NA, CB25, T5_NA, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), L8_RR(B6)
	Falha CB23	T6_PS, A3_NA, B5_NA, CB25, B6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5), T5_RR, CB22, CB24, L8_RR(B6)
B5	Falha CB25	T6_PS, A3_NA, CB23, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, B6_NA, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
	OK	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L8_RR(B6)
	Falha CB24	B5_PS, T5_RR, CB22, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L8_RR(B6)
B6	Falha CB25	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L8_RR(B6)
	Falha CB26	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB29, L8_RR(B6), CB40
	Falha CB27	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB29, L8_RR(B6)
	Falha CB29	B5_PS, T5_NA, CB24, T6_NA, CB25, B6_NA, CB26, L4_RR(B5), CB27, L7_RR(B5), CB39, L8_RR(B6)
L7	OK	B6_PS, B5_NA, CB26, L8_RR(B6), CB30, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
	Falha CB26	B6_PS, B5_NA, L8_RR(B6), CB30, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39
	Falha CB30	B6_PS, B5_NA, CB26, L8_RR(B6), CB40, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5), L7_RR(B5)
L7	OK	L7_PS, B5_NA, CB29, B8_NA, CB39, L5_RR(B8), B7_NA, T5_NA, T6_NA,

Equip	Atuação	Padrões gerador
		B6_NA, L4_RR(B5), L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB29	L7_PS, B5_NA, B8_NA, CB39, L5_RR(B8), B7_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, B6_NA, L8_RR(B6), CB40, L4_RR(B5), CB10, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA
	Falha CB39	L7_PS, B5_NA, CB29, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30, T5_NA, T6_NA, B6_NA, L4_RR(B5)
L8	OK	L8_PS, B6_NA, CB30, B7_NA, CB40, L6_RR(B7), B8_NA, T7_NA, T8_NA, B5_NA, L5_RR(B8), L7_RR(B8), T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5)
	Falha CB30	L8_PS, B6_NA, B7_NA, CB40, L6_RR(B7), B8_NA, T7_NA, T8_NA, B5_NA, T5_RR, CB22, CB24, T6_RR, CB23, CB25, L4_RR(B5), CB10, L7_RR(B5), CB39, L5_RR(B8)
	Falha CB40	L8_PS, B6_NA, CB30, B7_NA, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, B5_NA, T5_NA, T6_NA, L4_RR(B5)
B7	OK	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB31	B7_PS, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB33	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29
	Falha CB34	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_RR, CB34, CB36, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB35	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB40, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB40	B7_PS, L6_RR(B7), CB31, B8_NA, CB33, T7_NA, CB34, T8_NA, CB35, L8_RR(B7), CB30, L5_RR(B8), L7_RR(B8)
B8	OK	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB32	B8_PS, L5_RR(B8), CB19, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
	Falha CB33	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, L7_RR(B8), CB39, L6_RR(B7), CB20, T7_RR, CB34, CB36, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30
	Falha CB39	B8_PS, L5_RR(B8), CB32, B7_NA, CB33, L7_RR(B8), CB29, L6_RR(B7), T7_NA, T8_NA, L8_RR(B7)
T7	OK	T7_PS, B7_NA, CB34, A4_NA, CB36, T8_NA, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB34	T7_PS, B7_NA, A4_NA, CB36, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T8_RR, CB35, CB37, L8_RR(B7), CB30
	Falha CB36	T7_PS, B7_NA, CB34, A4_NA, T8_RR, CB35, CB37, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
T8	OK	T8_PS, B7_NA, CB35, A4_NA, CB37, T7_NA, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
	Falha CB35	T8_PS, B7_NA, A4_NA, CB37, L6_RR(B7), CB20, B8_NA, L5_RR(B8), CB19, L7_RR(B8), CB29, T7_RR, CB34, CB36, L8_RR(B7), CB30
	Falha CB37	T8_PS, B7_NA, CB35, A4_NA, T7_RR, CB34, CB36, L6_RR(B7), B8_NA, L8_RR(B7), L5_RR(B8), L7_RR(B8)
A4	OK	A4_PS, T7_NA, CB36, T8_NA, CB37
	Falha CB36	A4_PS, T7_RR, CB34, CB36, T8_NA, CB37
	Falha CB37	A4_PS, CB36, T8_RR, CB35, CB37

Apêndice H - Entradas do gerador de padrões utilizadas para sistema teste 3 CEEE

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
ALE2LIV21XCBR5206	ALE2	LT_(LIV2_ALE2)
ALE2SMA31XCBR5205	ALE2	LT_(SMA3_ALE2)
BAG2LIV21XCBR5202	BAG2	LT_(LIV2_BAG2)
BAG2UPME1XCBR5203	BAG2	LT_(UPME_BAG2)
CAM-GUA21XCBR5202	CAM-	LT_(GUA2_CAM-)
CAM-UPME1XCBR5203	CAM-	LT_(UPME_CAM-)
CINbAT1-1XCBR5213	CINb	T1(CIN-)
CINaAT1-2XCBR5204	CINa	T1(CIN-)
CINbAT2-1XCBR5218	CINb	T2(CIN-)
CINaAT2-2XCBR5205	CINa	T2(CIN-)
CINaNSR-1XCBR5229	CINa	LT1(CINa_NSR-)
CINaNSR-2XCBR5225	CINa	LT2(CINa_NSR-)
CINaNSR-3XCBR5208	CINa	LT3(CINa_NSR-)
CINaPAL91XCBR5227	CINa	LT1(CINa_PAL9)
CINaPAL92XCBR5230	CINa	LT2(CINa_PAL9)
CINaPPE-1XCBR5226	CINa	LT_(CINa_PPE-)
CINbSCH-1XCBR5216	CINb	LT1(SCH-_CINb)
CINbSCH-2XCBR5217	CINb	LT2(SCH-_CINb)
GUA2CAM-1XCBR5202	GUA2	LT_(GUA2_CAM-)
GUA2PAL91XCBR5205	GUA2	LT_(GUA2_PAL9)
GUA2PEL31XCBR5203	GUA2	LT_(GUA2_PEL3)
LIV2ALE21XCBR5211	LIV2	LT_(LIV2_ALE2)
LIV2BAG21XCBR5212	LIV2	LT_(LIV2_BAG2)
NSR-CINa1XCBR5210	NSR-	LT1(CINa_NSR-)
NSR-CINa2XCBR5211	NSR-	LT2(CINa_NSR-)
NSR-CINa3XCBR5212	NSR-	LT3(CINa_NSR-)
NSR-PPE-1XCBR5205	NSR-	LT_(PPE-_NSR-)
NSR-SCH21XCBR-882	NSR-	LT1(SCH2_NSR-)
NSR-SCH22XCBR-872	NSR-	LT2(SCH2_NSR-)
PAL9CINa1XCBR5201	PAL9	LT1(CINa_PAL9)
PAL9CINa2XCBR5202	PAL9	LT2(CINa_PAL9)
PAL9GUA2-1XCBR5226	PAL9	LT_(GUA2_PAL9)
PEL3GUA21XCBR5205	PEL3	LT_(GUA2_PEL3)
PEL3QUI-1XCBR5202	PEL3	LT_(QUI-_PEL3)
PEL3UPME1XCBR5201	PEL3	LT_(UPME_PEL3)
PPE-CINa1XCBR5205	PPE-	LT_(CINa_PPE-)
PPE-NSR-1XCBR5204	PPE-	LT_(PPE-_NSR-)
PPE-UITA1XCBR5203	PPE-	LT_(UITA_PPE-)
QUI-PEL31XCBR5216	QUI-	LT_(QUI-_PEL3)
QUI-UPME1XCBR5201	QUI-	LT_(UPME_QUI-)
SCH2NSR-1XCBR5203	SCH2	LT1(SCH2_NSR-)
SCH2NSR-2XCBR5202	SCH2	LT2(SCH2_NSR-)
SCH2TF1-2XCBR5208	SCH2	T1(SCH-)
SCH2TF2-2XCBR5207	SCH2	T2(SCH-)
SCH2TF3-2XCBR5206	SCH2	T3(SCH-)

Disjuntor	Equipamento 1	Equipamento 2
SCH-CINb1XCBR5233	SCH-	LT1(SCH-_CINb)
SCH-CINb2XCBR5234	SCH-	LT2(SCH-_CINb)
SCH-TF1-1XCBR5241	SCH-	T1(SCH-)
SCH-TF2-1XCBR5240	SCH-	T2(SCH-)
SCH-TF3-1XCBR5239	SCH-	T3(SCH-)
SMA3ALE21XCBR5202	SMA3	LT_(SMA3_ALE2)
SMA3UDFR1XCBR5201	SMA3	LT1(UDFR_SMA3)
SMA3UDFR2XCBR5210	SMA3	LT2(UDFR_SMA3)
UDFRSMA31XCBR5204	UDFR	LT1(UDFR_SMA3)
UDFRSMA32XCBR5206	UDFR	LT2(UDFR_SMA3)
UDFRUITA1XCBR5203	UDFR	LT1(UITA_UDFR)
UDFRUITA2XCBR5205	UDFR	LT2(UITA_UDFR)
UITANSR-1XCBR5209	UITA	LT_(UITA_NSR-)
UITAPPE-1XCBR5208	UITA	LT_(UITA_PPE-)
UITAUDFR1XCBR5205	UITA	LT1(UITA_UDFR)
UPMEBAG21XCBR5212	UPME	LT_(UPME_BAG2)
UPMECAM-1XCBR5211	UPME	LT_(UPME_CAM-)
UPMEPEL31XCBR5210	UPME	LT_(UPME_PEL3)
UPMEQUI-1XCBR5205	UPME	LT_(UPME_QUI-)
NSR-UITA1XCBR5204	NSR-	LT_(UITA_NSR-)

Apêndice I – Lista de alarmes sistema teste 3 CEEE

Índice	Alarme	Descrição
1	ALE2_NA	Não atuação da proteção da barra da SE ALE2
2	ALE2_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE ALE2
3	BAG2_NA	Não atuação da proteção da barra da SE BAG2
4	BAG2_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE BAG2
5	CAM-_NA	Não atuação da proteção da barra da SE CAM
6	CAM-_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE CAM
7	CINa_NA	Não atuação da proteção da barra CINa da SE CIN
8	CINa_PS	Atuação da proteção seletiva da barra CINa da SE CIN
9	CINb_NA	Não atuação da proteção da barra CINb da SE CIN
10	CINb_PS	Atuação da proteção seletiva da barra CINb da SE CIN
11	GUA2_NA	Não atuação da proteção da barra da SE GUA2
12	GUA2_PS	Atuação da proteção seletiva da barra SE GUA2
13	LIV2_NA	Não atuação da proteção da barra da SE LIV2
14	LIV2_PS	Atuação da proteção seletiva da barra SE LIV2
15	LT_(CINa_PPE-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(CINa_PPE-)
16	LT_(CINa_PPE-)_RR(CINa)	Falta vista pela LT_(CINa_PPE-) na direção da barra CINa da SE CIN
17	LT_(CINa_PPE-)_RR(PPE-)	Falta vista pela LT_(CINa_PPE-) na direção da SE PPE
18	LT_(GUA2_CAM-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(GUA2_CAM-)
19	LT_(GUA2_CAM-)_RR(CAM-)	Falta vista pela LT_(GUA2_CAM-) na direção da SE CAM
20	LT_(GUA2_CAM-)_RR(GUA2)	Falta vista pela LT_(GUA2_CAM-) na direção da SE GUA2
21	LT_(GUA2_PAL9)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(GUA2_PAL9)
22	LT_(GUA2_PAL9)_RR(GUA2)	Falta vista pela LT_(GUA2_PAL9) na direção da SE GUA2

Índice	Alarme	Descrição
23	LT_(GUA2_PAL9)_RR(PAL9)	Falta vista pela LT_(GUA2_PAL9) na direção da SE PAL9
24	LT_(GUA2_PEL3)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(GUA2_PEL3)
25	LT_(GUA2_PEL3)_RR(GUA2)	Falta vista pela LT_(GUA2_PEL3) na direção da SE GUA2
26	LT_(GUA2_PEL3)_RR(PEL3)	Falta vista pela LT_(GUA2_PEL3) na direção da SE PEL3
27	LT_(LIV2_ALE2)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(LIV2_ALE2)
28	LT_(LIV2_ALE2)_RR(ALE2)	Falta vista pela LT_(LIV2_ALE2) na direção da SE ALE2
29	LT_(LIV2_ALE2)_RR(LIV2)	Falta vista pela LT_(LIV2_ALE2) na direção da SE LIV2
30	LT_(LIV2_BAG2)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(LIV2_BAG2)
31	LT_(LIV2_BAG2)_RR(BAG2)	Falta vista pela LT_(LIV2_BAG2) na direção da SE BAG2
32	LT_(LIV2_BAG2)_RR(LIV2)	Falta vista pela LT_(LIV2_BAG2) na direção da SE LIV2
33	LT_(PPE-_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(PPE-_NSR-)
34	LT_(PPE-_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT_(PPE-_NSR-) na direção da SE NSR
35	LT_(PPE-_NSR-)_RR(PPE-)	Falta vista pela LT_(PPE-_NSR-) na direção da SE PPE
36	LT_(QUI-_PEL3)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(QUI-_PEL3)
37	LT_(QUI-_PEL3)_RR(QUI-)	Falta vista pela LT_(QUI-_PEL3) na direção da SE QUI
38	LT_(QUI-_PEL3)_RR(PEL3)	Falta vista pela LT_(QUI-_PEL3) na direção da SE PEL3
39	LT_(SMA3_ALE2)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(SMA3_ALE2)
40	LT_(SMA3_ALE2)_RR(ALE2)	Falta vista pela LT_(SMA3_ALE2) na direção da SE ALE2
41	LT_(SMA3_ALE2)_RR(SMA3)	Falta vista pela LT_(SMA3_ALE2) na direção da SE SMA3
42	LT_(UITA_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(UITA_NSR-)
43	LT_(UITA_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT_(UITA_NSR-) na direção da SE NSR
44	LT_(UITA_NSR-)_RR(UITA)	Falta vista pela LT_(UITA_NSR-) na direção da SE UITA
45	LT_(UITA_PPE-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(UITA_PPE-)
46	LT_(UITA_PPE-)_RR(UITA)	Falta vista pela LT_(UITA_PPE-) na direção da SE UITA
47	LT_(UITA_PPE-)_RR(PPE-)	Falta vista pela LT_(UITA_PPE-) na direção da SE PPE
48	LT_(UPME_BAG2)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(UPME_BAG2)
49	LT_(UPME_BAG2)_RR(BAG2)	Falta vista pela LT_(UPME_BAG2) na direção da SE BAG2
50	LT_(UPME_BAG2)_RR(UPME)	Falta vista pela LT_(UPME_BAG2) na direção da SE UPME
51	LT_(UPME_CAM-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(UPME_CAM-)
52	LT_(UPME_CAM-)_RR(CAM-)	Falta vista pela LT_(UPME_CAM-) na direção da SE CAM
53	LT_(UPME_CAM-)_RR(UPME)	Falta vista pela LT_(UPME_CAM-) na direção da SE UPME
54	LT_(UPME_PEL3)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(UPME_PEL3)
55	LT_(UPME_PEL3)_RR(PEL3)	Falta vista pela LT_(UPME_PEL3) na direção da SE PEL3
56	LT_(UPME_PEL3)_RR(UPME)	Falta vista pela LT_(UPME_PEL3) na direção da SE UPME
57	LT_(UPME_QUI-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT_(UPME_QUI-)
58	LT_(UPME_QUI-)_RR(QUI-)	Falta vista pela LT_(UPME_QUI-) na direção da SE QUI
59	LT_(UPME_QUI-)_RR(UPME)	Falta vista pela LT_(UPME_QUI-) na direção da SE UPME
60	LT1(CINa_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT1(CINa_NSR-)
61	LT1(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Falta vista pela LT1(CINa_NSR-) na direção da barra CIN a da SE CIN
62	LT1(CINa_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT1(CINa_NSR-) na direção da SE NSR
63	LT1(CINa_PAL9)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT1(CINa_PAL9)
64	LT1(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Falta vista pela LT1(CINa_PAL9) na direção da barra CINa da SE CIN
65	LT1(CINa_PAL9)_RR(PAL9)	Falta vista pela LT1(CINa_PAL9) na direção da SE PAL9
66	LT1(SCH-_CINb)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT1(SCH-_CINb)

Índice	Alarme	Descrição
67	LT1(SCH-_CINb)_RR(CINb)	Falta vista pela LT1(SCH-_CINb) na direção da barra CINb da SE CIN
68	LT1(SCH-_CINb)_RR(SCH-)	Falta vista pela LT1(SCH-_CINb) na direção da SE SCH
69	LT1(SCH2_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT1(SCH2_NSR-)
70	LT1(SCH2_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT1(SCH2_NSR-) na direção da SE NSR
71	LT1(SCH2_NSR-)_RR(SCH2)	Falta vista pela LT1(SCH2_NSR-) na direção da SE SCH2
72	LT1(UDFR_SMA3)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT1(UDFR_SMA3)
73	LT1(UDFR_SMA3)_RR(SMA3)	Falta vista pela LT1(UDFR_SMA3) na direção da SE SMA3
74	LT1(UDFR_SMA3)_RR(UDFR)	Falta vista pela LT1(UDFR_SMA3) na direção da SE UDFR
75	LT1(UITA_UDFR)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT1(UITA_UDFR)
76	LT1(UITA_UDFR)_RR(UDFR)	Falta vista pela LT1(UITA_UDFR) na direção da SE UDFR
77	LT1(UITA_UDFR)_RR(UITA)	Falta vista pela LT1(UITA_UDFR) na direção da SE UITA
78	LT2(CINa_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT2(CINa_NSR-)
79	LT2(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Falta vista pela LT2(CINa_NSR-) na direção da SE CINa
80	LT2(CINa_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT2(CINa_NSR-) na direção da SE NSR
81	LT2(CINa_PAL9)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT2(CINa_PAL9)
82	LT2(CINa_PAL9)_RR(CINa)	Falta vista pela LT2(CINa_PAL9) na direção da barra CINa da SE CIN
83	LT2(CINa_PAL9)_RR(PAL9)	Falta vista pela LT2(CINa_PAL9) na direção da SE PAL9
84	LT2(SCH-_CINb)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT2(SCH-_CINb)
85	LT2(SCH-_CINb)_RR(CINb)	Falta vista pela LT2(SCH-_CINb) na direção da barra CINb da SE CIN
86	LT2(SCH-_CINb)_RR(SCH-)	Falta vista pela LT2(SCH-_CINb) na direção da SE SCH
87	LT2(SCH2_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT2(SCH2_NSR-)
88	LT2(SCH2_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT2(SCH2_NSR-) na direção da SE NSR
89	LT2(SCH2_NSR-)_RR(SCH2)	Falta vista pela LT2(SCH2_NSR-) na direção da SE SCH2
90	LT2(UDFR_SMA3)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT2(UDFR_SMA3)
91	LT2(UDFR_SMA3)_RR(SMA3)	Falta vista pela LT2(UDFR_SMA3) na direção da SE SMA3
92	LT2(UDFR_SMA3)_RR(UDFR)	Falta vista pela LT2(UDFR_SMA3) na direção da SE UDFR
93	LT2(UITA_UDFR)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT2(UITA_UDFR)
94	LT2(UITA_UDFR)_RR(UDFR)	Falta vista pela LT2(UITA_UDFR) na direção da SE UDFR
95	LT2(UITA_UDFR)_RR(UITA)	Falta vista pela LT2(UITA_UDFR) na direção da SE UITA
96	LT3(CINa_NSR-)_PS	Atuação da proteção seletiva da LT3(CINa_NSR-)
97	LT3(CINa_NSR-)_RR(CINa)	Falta vista pela LT3(CINa_NSR-) na direção da barra CINa da SE CIN
98	LT3(CINa_NSR-)_RR(NSR-)	Falta vista pela LT3(CINa_NSR-) na direção da SE NSR
99	NSR-_NA	Não atuação da proteção da barra da SE NSR-
100	NSR-_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE NSR-
101	PAL9_NA	Não atuação da proteção da barra da SE PAL9
102	PAL9_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE PAL9
103	PEL3_NA	Não atuação da proteção da barra da SE PEL3
104	PEL3_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE PEL3
105	PPE-_NA	Não atuação da proteção da barra da SE PPE-
106	PPE-_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE PPE-
107	QUI-_NA	Não atuação da proteção da barra da SE QUI-
108	QUI-_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE QUI-
109	SCH-_NA	Não atuação da proteção da barra da SE SCH-

Índice	Alarme	Descrição
110	SCH-_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE SCH-
111	SCH2_NA	Não atuação da proteção da barra da SE SCH2
112	SCH2_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE SCH2
113	SMA3_NA	Não atuação da proteção da barra da SE SMA3
114	SMA3_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE SMA3
115	T1(CIN-)_NA	Não atuação da proteção do transformador T1(CIN-)
116	T1(CIN-)_PS	Atuação da proteção seletiva do transformador T1(CIN-)
117	T1(CIN-)_RR	Atuação da proteção de retaguarda remota do transformador T1(CIN-)
118	T1(SCH-)_NA	Não atuação da proteção do transformador T1(SCH-)
119	T1(SCH-)_PS	Atuação da proteção seletiva do transformador T1(SCH-)
120	T1(SCH-)_RR	Atuação da proteção de retaguarda remota do transformador T1(SCH-)
121	T2(CIN-)_NA	Não atuação da proteção do transformador T2(CIN-)
122	T2(CIN-)_PS	Atuação da proteção seletiva do transformador T2(CIN-)
123	T2(CIN-)_RR	Atuação da proteção de retaguarda remota do transformador T2(CIN-)
124	T2(SCH-)_NA	Não atuação da proteção do transformador T2(SCH-)
125	T2(SCH-)_PS	Atuação da proteção seletiva do transformador T2(SCH-)
126	T2(SCH-)_RR	Atuação da proteção de retaguarda remota do transformador T2(SCH-)
127	T3(SCH-)_NA	Não atuação da proteção do transformador T3(SCH-)
128	T3(SCH-)_PS	Atuação da proteção seletiva do transformador T3(SCH-)
129	T3(SCH-)_RR	Atuação da proteção de retaguarda remota do transformador T3(SCH-)
130	UDFR_NA	Não atuação da proteção da barra da SE UDFR
131	UDFR_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE UDFR
132	UITA_NA	Não atuação da proteção da barra da SE UITA
133	UITA_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE UITA
134	UPME_NA	Não atuação da proteção da barra da SE UPME
135	UPME_PS	Atuação da proteção seletiva da barra da SE UPME
136	ALE2LIV21XCBR5206	Abertura do disjuntor ALE2LIV21XCBR5206
137	ALE2SMA31XCBR5205	Abertura do disjuntor ALE2SMA31XCBR5205
138	BAG2LIV21XCBR5202	Abertura do disjuntor BAG2LIV21XCBR5202
139	BAG2UPME1XCBR5203	Abertura do disjuntor BAG2UPME1XCBR5203
140	CAM-GUA21XCBR5202	Abertura do disjuntor CAM-GUA21XCBR5202
141	CAM-UPME1XCBR5203	Abertura do disjuntor CAM-UPME1XCBR5203
142	CINbAT1-1XCBR5213	Abertura do disjuntor CINbAT1-1XCBR5213
143	CINaAT1-2XCBR5204	Abertura do disjuntor CINaAT1-2XCBR5204
144	CINbAT2-1XCBR5218	Abertura do disjuntor CINbAT2-1XCBR5218
145	CINaAT2-2XCBR5205	Abertura do disjuntor CINaAT2-2XCBR5205
146	CINaNSR-1XCBR5229	Abertura do disjuntor CINaNSR-1XCBR5229
147	CINaNSR-2XCBR5225	Abertura do disjuntor CINaNSR-2XCBR5225
148	CINaNSR-3XCBR5208	Abertura do disjuntor CINaNSR-3XCBR5208
149	CINaPAL91XCBR5227	Abertura do disjuntor CINaPAL91XCBR5227
150	CINaPAL92XCBR5230	Abertura do disjuntor CINaPAL92XCBR5230
151	CINaPPE-1XCBR5226	Abertura do disjuntor CINaPPE-1XCBR5226

Índice	Alarme	Descrição
152	CINbSCH-1XCBR5216	Abertura do disjuntor CINbSCH-1XCBR5216
153	CINbSCH-2XCBR5217	Abertura do disjuntor CINbSCH-2XCBR5217
154	GUA2CAM-1XCBR5202	Abertura do disjuntor GUA2CAM-1XCBR5202
155	GUA2PAL91XCBR5205	Abertura do disjuntor GUA2PAL91XCBR5205
156	GUA2PEL31XCBR5203	Abertura do disjuntor GUA2PEL31XCBR5203
157	LIV2ALE21XCBR5211	Abertura do disjuntor LIV2ALE21XCBR5211
158	LIV2BAG21XCBR5212	Abertura do disjuntor LIV2BAG21XCBR5212
159	NSR-CINa1XCBR5210	Abertura do disjuntor NSR-CINa1XCBR5210
160	NSR-CINa2XCBR5211	Abertura do disjuntor NSR-CINa2XCBR5211
161	NSR-CINa3XCBR5212	Abertura do disjuntor NSR-CINa3XCBR5212
162	NSR-PPE-1XCBR5205	Abertura do disjuntor NSR-PPE-1XCBR5205
163	NSR-SCH21XCBR-882	Abertura do disjuntor NSR-SCH21XCBR-882
164	NSR-SCH22XCBR-872	Abertura do disjuntor NSR-SCH22XCBR-872
165	PAL9CINa1XCBR5201	Abertura do disjuntor PAL9CINa1XCBR5201
166	PAL9CINa2XCBR5202	Abertura do disjuntor PAL9CINa2XCBR5202
167	PAL9GUA2-1XCBR5226	Abertura do disjuntor PAL9GUA2-1XCBR5226
168	PEL3GUA21XCBR5205	Abertura do disjuntor PEL3GUA21XCBR5205
169	PEL3QUI-1XCBR5202	Abertura do disjuntor PEL3QUI-1XCBR5202
170	PEL3UPME1XCBR5201	Abertura do disjuntor PEL3UPME1XCBR5201
171	PPE-CINa1XCBR5205	Abertura do disjuntor PPE-CINa1XCBR5205
172	PPE-NSR-1XCBR5204	Abertura do disjuntor PPE-NSR-1XCBR5204
173	PPE-UITA1XCBR5203	Abertura do disjuntor PPE-UITA1XCBR5203
174	QUI-PEL31XCBR5216	Abertura do disjuntor QUI-PEL31XCBR5216
175	QUI-UPME1XCBR5201	Abertura do disjuntor QUI-UPME1XCBR5201
176	SCH2NSR-1XCBR5203	Abertura do disjuntor SCH2NSR-1XCBR5203
177	SCH2NSR-2XCBR5202	Abertura do disjuntor SCH2NSR-2XCBR5202
178	SCH2TF1-2XCBR5208	Abertura do disjuntor SCH2TF1-2XCBR5208
179	SCH2TF2-2XCBR5207	Abertura do disjuntor SCH2TF2-2XCBR5207
180	SCH2TF3-2XCBR5206	Abertura do disjuntor SCH2TF3-2XCBR5206
181	SCH-CINb1XCBR5233	Abertura do disjuntor SCH-CINb1XCBR5233
182	SCH-CINb2XCBR5234	Abertura do disjuntor SCH-CINb2XCBR5234
183	SCH-TF1-1XCBR5241	Abertura do disjuntor SCH-TF1-1XCBR5241
184	SCH-TF2-1XCBR5240	Abertura do disjuntor SCH-TF2-1XCBR5240
185	SCH-TF3-1XCBR5239	Abertura do disjuntor SCH-TF3-1XCBR5239
186	SMA3ALE21XCBR5202	Abertura do disjuntor SMA3ALE21XCBR5202
187	SMA3UDFR1XCBR5201	Abertura do disjuntor SMA3UDFR1XCBR5201
188	SMA3UDFR2XCBR5210	Abertura do disjuntor SMA3UDFR2XCBR5210
189	UDFRSMA31XCBR5204	Abertura do disjuntor UDFRSMA31XCBR5204
190	UDFRSMA32XCBR5206	Abertura do disjuntor UDFRSMA32XCBR5206
191	UDFRUITA1XCBR5203	Abertura do disjuntor UDFRUITA1XCBR5203
192	UDFRUITA2XCBR5205	Abertura do disjuntor UDFRUITA2XCBR5205
193	UITANSR-1XCBR5209	Abertura do disjuntor UITANSR-1XCBR5209
194	UITAPPE-1XCBR5208	Abertura do disjuntor UITAPPE-1XCBR5208
195	UITAUDFR1XCBR5205	Abertura do disjuntor UITAUDFR1XCBR5205
196	UITAUDFR2XCBR5206	Abertura do disjuntor UITAUDFR2XCBR5206

Índice	Alarme	Descrição
197	UPMEBAG21XCBR5212	Abertura do disjuntor UPMEBAG21XCBR5212
198	UPMECAM-1XCBR5211	Abertura do disjuntor UPMECAM-1XCBR5211
199	UPMEPEL31XCBR5210	Abertura do disjuntor UPMEPEL31XCBR5210
200	UPMEQUI-1XCBR5205	Abertura do disjuntor UPMEQUI-1XCBR5205
201	NSR-UITA1XCBR5204	Abertura do disjuntor NSR-UITA1XCBR5204
202	NSR-UITA1XCBR5204	Abertura do disjuntor NSR-UITA1XCBR5204

Apêndice J – Padrões gerados para o sistema teste 3 CEEE

<Evento> {Alarmes}

-
- <1> {2, 28, 136, 40, 137}
 - <2> {2, 28, 157, 40, 137}
 - <3> {2, 28, 136, 40, 186}
 - <4> {27, 1, 136, 13, 157, 32, 40}
 - <5> {27, 1, 13, 157, 32, 40, 186}
 - <6> {27, 1, 136, 13, 32, 138, 40}
 - <7> {39, 1, 137, 113, 186, 73, 91, 28}
 - <8> {39, 1, 113, 186, 73, 91, 28, 157}
 - <9> {39, 1, 137, 113, 73, 189, 91, 190, 28}
 - <10> {4, 31, 138, 49, 139}
 - <11> {4, 31, 158, 49, 139}
 - <12> {4, 31, 138, 49, 197}
 - <13> {30, 3, 138, 13, 158, 29, 49}
 - <14> {30, 3, 13, 158, 29, 49, 197}
 - <15> {30, 3, 138, 13, 29, 136, 49}
 - <16> {48, 3, 139, 134, 197, 53, 56, 59, 31}
 - <17> {48, 3, 134, 197, 53, 56, 59, 31, 158}
 - <18> {48, 3, 139, 134, 53, 141, 56, 170, 59, 175, 31}
 - <19> {6, 19, 140, 52, 141}
 - <20> {6, 19, 154, 52, 141}
 - <21> {6, 19, 140, 52, 198}
 - <22> {18, 5, 140, 11, 154, 22, 25, 52}
 - <23> {18, 5, 11, 154, 22, 25, 52, 198}
 - <24> {18, 5, 140, 11, 22, 167, 25, 168, 52}
 - <25> {51, 5, 141, 134, 198, 50, 56, 59, 19}
 - <26> {51, 5, 134, 198, 50, 56, 59, 19, 154}
 - <27> {51, 5, 141, 134, 50, 139, 56, 170, 59, 175, 19}
 - <28> {10, 115, 142, 121, 144, 67, 152, 85, 153}
 - <29> {10, 117, 142, 143, 121, 144, 67, 152, 85, 153}
 - <30> {10, 142, 123, 144, 145, 67, 152, 85, 153}
 - <31> {10, 115, 142, 121, 144, 67, 181, 85, 153}
 - <32> {10, 115, 142, 121, 144, 67, 152, 85, 182}
 - <33> {116, 9, 142, 7, 143, 121, 61, 79, 97, 64, 82, 16, 67, 85}
 - <34> {116, 9, 7, 143, 61, 79, 97, 64, 82, 16, 123, 144, 145, 67, 181, 85, 182}
 - <35> {116, 9, 142, 7, 123, 144, 145, 61, 159, 79, 160, 97, 161, 64, 165, 82, 166, 16, 171, 67, 85}

<Evento> {Alarmes}

-
- <36> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 148, 64, 149, 82, 150, 16, 151}
 - <37> {8, 117, 142, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 148, 64, 149, 82, 150, 16, 151}
 - <38> {8, 143, 123, 144, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 148, 64, 149, 82, 150, 16, 151}
 - <39> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 159, 79, 147, 97, 148, 64, 149, 82, 150, 16, 151}
 - <40> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 160, 97, 148, 64, 149, 82, 150, 16, 151}
 - <41> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 161, 64, 149, 82, 150, 16, 151}
 - <42> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 148, 64, 165, 82, 150, 16, 151}
 - <43> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 148, 64, 149, 82, 166, 16, 151}
 - <44> {8, 115, 143, 121, 145, 61, 146, 79, 147, 97, 148, 64, 149, 82, 150, 16, 171}
 - <45> {122, 9, 144, 7, 145, 115, 61, 79, 97, 64, 82, 16, 67, 85}
 - <46> {122, 9, 7, 145, 61, 79, 97, 64, 82, 16, 117, 142, 143, 67, 181, 85, 182}
 - <47> {122, 9, 144, 7, 117, 142, 143, 61, 159, 79, 160, 97, 161, 64, 165, 82, 166, 16, 171, 67, 85}
 - <48> {60, 7, 146, 99, 159, 80, 98, 34, 70, 88, 43, 115, 121, 64, 82, 16}
 - <49> {60, 7, 99, 159, 80, 98, 34, 70, 88, 43, 117, 142, 143, 123, 144, 145, 160, 161, 64, 165, 82, 166, 16, 171}
 - <50> {60, 7, 146, 99, 80, 147, 98, 148, 34, 172, 70, 176, 88, 177, 43, 193, 115, 121, 64, 82, 16}
 - <51> {78, 7, 147, 99, 160, 62, 98, 34, 70, 88, 43, 115, 121, 64, 82, 16}
 - <52> {78, 7, 99, 160, 62, 98, 34, 70, 88, 43, 117, 142, 143, 123, 144, 145, 159, 161, 64, 165, 82, 166, 16, 171}
 - <53> {78, 7, 147, 99, 62, 146, 98, 148, 34, 172, 70, 176, 88, 177, 43, 193, 115, 121, 64, 82, 16}
 - <54> {96, 7, 148, 99, 161, 62, 80, 34, 70, 88, 43, 115, 121, 64, 82, 16}
 - <55> {96, 7, 99, 161, 62, 80, 34, 70, 88, 43, 117, 142, 143, 123, 144, 145, 159, 160, 64, 165, 82, 166, 16, 171}
 - <56> {96, 7, 148, 99, 62, 146, 80, 147, 34, 172, 70, 176, 88, 177, 43, 193, 115, 121, 64, 82, 16}
 - <57> {63, 7, 149, 101, 165, 83, 23, 115, 121, 61, 79, 97, 16}
 - <58> {63, 7, 101, 165, 83, 23, 117, 142, 143, 123, 144, 145, 61, 159, 79, 160, 97, 161, 166, 16, 171}
 - <59> {63, 7, 149, 101, 83, 150, 23, 155, 115, 121, 61, 79, 97, 16}
 - <60> {81, 7, 150, 101, 166, 65, 23, 115, 121, 61, 79, 97, 16}
 - <61> {81, 7, 101, 166, 65, 23, 117, 142, 143, 123, 144, 145, 61, 159, 79, 160, 97, 161, 165, 16, 171}
 - <62> {81, 7, 150, 101, 65, 149, 23, 155, 115, 121, 61, 79, 97, 16}
 - <63> {15, 7, 151, 105, 171, 35, 47, 115, 121, 61, 79, 97, 64, 82}
 - <64> {15, 7, 105, 171, 35, 47, 117, 142, 143, 123, 144, 145, 61, 159, 79, 160, 97, 161, 64, 165, 82, 166}
 - <65> {15, 7, 151, 105, 35, 162, 47, 194, 115, 121, 61, 79, 97, 64, 82}
 - <66> {66, 9, 152, 109, 181, 86, 118, 124, 127, 115, 121}
 - <67> {66, 9, 109, 181, 86, 127, 115, 117, 142, 143, 121, 123, 144, 145, 182}
 - <68> {66, 9, 152, 109, 86, 153, 120, 178, 183, 126, 179, 184, 129, 180, 185, 115, 121}
 - <69> {84, 9, 153, 109, 182, 68, 118, 124, 127, 115, 121}
 - <70> {84, 9, 109, 182, 68, 127, 115, 117, 142, 143, 121, 123, 144, 145, 181}
 - <71> {84, 9, 153, 109, 68, 152, 120, 178, 183, 126, 179, 184, 129, 180, 185, 115, 121}
 - <72> {12, 20, 154, 22, 155, 25, 156}
 - <73> {12, 20, 140, 22, 155, 25, 156}
 - <74> {12, 20, 154, 22, 167, 25, 156}
 - <75> {12, 20, 154, 22, 155, 25, 168}
 - <76> {21, 11, 155, 101, 167, 65, 83, 20, 25}

<Evento> {Alarmes}

-
- <77> {21, 11, 101, 167, 65, 83, 20, 140, 25, 168}
 - <78> {21, 11, 155, 101, 65, 149, 83, 150, 20, 25}
 - <79> {24, 11, 156, 103, 168, 38, 55, 20, 22}
 - <80> {24, 11, 103, 168, 38, 55, 20, 140, 22, 167}
 - <81> {24, 11, 156, 103, 38, 174, 55, 199, 20, 22}
 - <82> {14, 29, 157, 32, 158}
 - <83> {14, 29, 136, 32, 158}
 - <84> {14, 29, 157, 32, 138}
 - <85> {100, 62, 159, 80, 160, 98, 161, 34, 162, 70, 163, 88, 164, 43, 201}
 - <86> {100, 62, 146, 80, 160, 98, 161, 34, 162, 70, 163, 88, 164, 43, 201}
 - <87> {100, 62, 159, 80, 147, 98, 161, 34, 162, 70, 163, 88, 164, 43, 201}
 - <88> {100, 62, 159, 80, 160, 98, 148, 34, 162, 70, 163, 88, 164, 43, 201}
 - <89> {100, 62, 159, 80, 160, 98, 161, 34, 172, 70, 163, 88, 164, 43, 201}
 - <90> {100, 62, 159, 80, 160, 98, 161, 34, 162, 70, 176, 88, 164, 43, 201}
 - <91> {100, 62, 159, 80, 160, 98, 161, 34, 162, 70, 163, 88, 177, 43, 201}
 - <92> {100, 62, 159, 80, 160, 98, 161, 34, 162, 70, 163, 88, 164, 43, 193}
 - <93> {33, 99, 162, 105, 172, 17, 47, 62, 80, 98, 70, 88, 43}
 - <94> {33, 99, 105, 172, 17, 47, 62, 146, 80, 147, 98, 148, 70, 176, 88, 177, 43, 193}
 - <95> {33, 99, 162, 105, 17, 151, 47, 194, 62, 80, 98, 70, 88, 43}
 - <96> {69, 99, 163, 111, 176, 89, 118, 124, 127, 62, 80, 98, 34, 43}
 - <97> {69, 99, 111, 176, 89, 118, 124, 127, 62, 146, 80, 147, 98, 148, 34, 172, 177, 43, 193}
 - <98> {69, 99, 163, 111, 89, 164, 120, 178, 183, 126, 179, 184, 129, 180, 185, 62, 80, 98, 34, 43}
 - <99> {87, 99, 164, 111, 177, 71, 118, 124, 127, 62, 80, 98, 34, 43}
 - <100> {87, 99, 111, 177, 71, 118, 124, 127, 62, 146, 80, 147, 98, 148, 34, 172, 176, 43, 193}
 - <101> {87, 99, 164, 111, 71, 163, 120, 178, 183, 126, 179, 184, 129, 180, 185, 62, 80, 98, 34, 43}
 - <102> {102, 65, 165, 83, 166, 23, 167}
 - <103> {102, 65, 149, 83, 166, 23, 167}
 - <104> {102, 65, 165, 83, 150, 23, 167}
 - <105> {102, 65, 165, 83, 166, 23, 155}
 - <106> {104, 26, 168, 38, 169, 55, 170}
 - <107> {104, 26, 156, 38, 169, 55, 170}
 - <108> {104, 26, 168, 38, 174, 55, 170}
 - <109> {104, 26, 168, 38, 169, 55, 199}
 - <110> {36, 103, 169, 107, 174, 58, 26, 55}
 - <111> {36, 103, 107, 174, 58, 26, 156, 55, 199}
 - <112> {36, 103, 169, 107, 58, 200, 26, 55}
 - <113> {54, 103, 170, 134, 199, 50, 53, 59, 26, 38}
 - <114> {54, 103, 134, 199, 50, 53, 59, 26, 156, 38, 174}
 - <115> {54, 103, 170, 134, 50, 139, 53, 141, 59, 175, 26, 38}
 - <116> {106, 17, 171, 35, 172, 47, 173}
 - <117> {106, 17, 151, 35, 172, 47, 173}
 - <118> {106, 17, 171, 35, 162, 47, 173}
 - <119> {106, 17, 171, 35, 172, 47, 194}
 - <120> {45, 105, 173, 132, 194, 44, 77, 95, 17, 35}

<Evento> {Alarmes}

- <121> {45, 105, 132, 194, 44, 77, 95, 17, 151, 35, 162}
- <122> {45, 105, 173, 132, 44, 201, 77, 191, 95, 192, 17, 35}
- <123> {108, 37, 174, 58, 175}
- <124> {108, 37, 169, 58, 175}
- <125> {108, 37, 174, 58, 200}
- <126> {57, 107, 175, 134, 200, 50, 53, 56, 37}
- <127> {57, 107, 134, 200, 50, 53, 56, 37, 169}
- <128> {57, 107, 175, 134, 50, 139, 53, 141, 56, 170, 37}
- <129> {112, 71, 176, 89, 177, 118, 178, 124, 179, 127, 180}
- <130> {112, 71, 163, 89, 177, 118, 178, 124, 179, 127, 180}
- <131> {112, 71, 176, 89, 164, 118, 178, 124, 179, 127, 180}
- <132> {112, 71, 176, 89, 177, 120, 178, 183, 124, 179, 127, 180}
- <133> {112, 71, 176, 89, 177, 178, 126, 179, 184, 127, 180}
- <134> {112, 71, 176, 89, 177, 178, 124, 179, 129, 180, 185}
- <135> {119, 111, 178, 109, 183, 68, 86, 124, 127, 71, 89}
- <136> {119, 111, 109, 183, 68, 86, 71, 163, 89, 164, 126, 179, 184, 129, 180, 185}
- <137> {119, 111, 178, 109, 68, 152, 86, 153, 126, 179, 184, 129, 180, 185, 71, 89}
- <138> {125, 111, 179, 109, 184, 68, 86, 118, 127, 71, 89}
- <139> {125, 111, 109, 184, 68, 86, 71, 163, 89, 164, 120, 178, 183, 129, 180, 185}
- <140> {125, 111, 179, 109, 68, 152, 86, 153, 120, 178, 183, 129, 180, 185, 71, 89}
- <141> {128, 111, 180, 109, 185, 68, 86, 118, 124, 71, 89}
- <142> {128, 111, 109, 185, 68, 86, 71, 163, 89, 164, 120, 178, 183, 126, 179, 184}
- <143> {128, 111, 180, 109, 68, 152, 86, 153, 120, 178, 183, 126, 179, 184, 71, 89}
- <144> {110, 68, 181, 86, 182, 118, 183, 124, 184, 127, 185}
- <145> {110, 68, 152, 86, 182, 118, 183, 124, 184, 127, 185}
- <146> {110, 68, 181, 86, 153, 118, 183, 124, 184, 127, 185}
- <147> {110, 68, 181, 86, 182, 120, 178, 183, 124, 184, 127, 185}
- <148> {110, 68, 181, 86, 182, 183, 126, 179, 184, 127, 185}
- <149> {110, 68, 181, 86, 182, 183, 124, 184, 129, 180, 185}
- <150> {114, 41, 186, 73, 187, 91, 188}
- <151> {114, 41, 137, 73, 187, 91, 188}
- <152> {114, 41, 186, 73, 189, 91, 188}
- <153> {114, 41, 186, 73, 187, 91, 190}
- <154> {72, 113, 187, 130, 189, 92, 76, 94, 41}
- <155> {72, 113, 130, 189, 92, 76, 94, 41, 137, 190}
- <156> {72, 113, 187, 130, 92, 188, 76, 195, 94, 196, 41}
- <157> {90, 113, 188, 130, 190, 74, 76, 94, 41}
- <158> {90, 113, 130, 190, 74, 76, 94, 41, 137, 189}
- <159> {90, 113, 188, 130, 74, 187, 76, 195, 94, 196, 41}
- <160> {131, 74, 189, 92, 190, 76, 191, 94, 192}
- <161> {131, 74, 187, 92, 190, 76, 191, 94, 192}
- <162> {131, 74, 189, 92, 188, 76, 191, 94, 192}
- <163> {131, 74, 189, 92, 190, 76, 195, 94, 192}
- <164> {131, 74, 189, 92, 190, 76, 191, 94, 196}
- <165> {75, 130, 191, 132, 195, 44, 46, 95, 74, 92}

<Evento> {Alarmes}

<166>	{75, 130, 132, 195, 44, 46, 95, 74, 187, 92, 188, 196}
<167>	{75, 130, 191, 132, 44, 201, 46, 173, 95, 192, 74, 92}
<168>	{93, 130, 192, 132, 196, 44, 46, 77, 74, 92}
<169>	{93, 130, 132, 196, 44, 46, 77, 74, 187, 92, 188, 195}
<170>	{93, 130, 192, 132, 44, 201, 46, 173, 77, 191, 74, 92}
<171>	{133, 44, 193, 46, 194, 77, 195, 95, 196}
<172>	{133, 44, 201, 46, 194, 77, 195, 95, 196}
<173>	{133, 44, 193, 46, 173, 77, 195, 95, 196}
<174>	{133, 44, 193, 46, 194, 77, 191, 95, 196}
<175>	{133, 44, 193, 46, 194, 77, 195, 95, 192}
<176>	{42, 132, 193, 99, 201, 62, 80, 98, 34, 70, 88, 46, 77, 95}
<177>	{42, 132, 99, 201, 62, 80, 98, 34, 70, 88, 46, 173, 77, 191, 95, 192}
<178>	{42, 132, 193, 99, 62, 146, 80, 147, 98, 148, 34, 172, 70, 176, 88, 177, 46, 77, 95}
<179>	{135, 50, 197, 53, 198, 56, 199, 59, 200}
<180>	{135, 50, 139, 53, 198, 56, 199, 59, 200}
<181>	{135, 50, 197, 53, 141, 56, 199, 59, 200}
<182>	{135, 50, 197, 53, 198, 56, 170, 59, 200}
<183>	{135, 50, 197, 53, 198, 56, 199, 59, 175}

Apêndice L – Diagnóstico dos eventos sistema teste 3 CEEE

Índice evento	Seção do sistema	Diagnóstico
1	Barra da subestação ALE2	Atuação correta da proteção
2		Falha ALE2LIV21XCBR5206
3		Falha ALE2SMA31XCBR5205
4	Linha de transmissão LT_(LIV2_ALE2)	Atuação correta da proteção
5		Falha ALE2LIV21XCBR5206
6		Falha LIV2ALE21XCBR5211
7	Linha de transmissão LT_(SMA3_ALE2)	Atuação correta da proteção
8		Falha ALE2SMA31XCBR5205
9		Falha SMA3ALE21XCBR5202
10	Barra da subestação BAG2	Atuação correta da proteção
11		Falha BAG2LIV21XCBR5202
12		Falha BAG2UPME1XCBR5203
13	Linha de transmissão LT_(LIV2_BAG2)	Atuação correta da proteção
14		Falha BAG2LIV21XCBR5202
15		Falha LIV2BAG21XCBR5212
16	Linha de transmissão LT_(UPME_BAG2)	Atuação correta da proteção
17		Falha BAG2UPME1XCBR5203
18		Falha UPMEBAG21XCBR5212
19	Barra da subestação CAM-	Atuação correta da proteção
20		Falha CAM-GUA21XCBR5202
21		Falha CAM-UPME1XCBR5203
22	Linha de transmissão LT_(GUA2_CAM-)	Atuação correta da proteção
23		Falha CAM-GUA21XCBR5202

Índice evento	Seção do sistema	Diagnóstico
24		Falha GUA2CAM-1XCBR5202
25	Linha de transmissão LT_(UPME_CAM-)	Atuação correta da proteção
26		Falha CAM-UPME1XCBR5203
27		Falha UPMECAM-1XCBR5211
28	Barra CINb da subestação CIN	Atuação correta da proteção
29		Falha CINbAT1-1XCBR5213
30		Falha CINbAT2-1XCBR5218
31		Falha CINbSCH-1XCBR5216
32		Falha CINbSCH-2XCBR5217
33	Transformador T1(CIN-)	Atuação correta da proteção
34		Falha CINbAT1-1XCBR5213
35		Falha CINaAT1-2XCBR5204
36	Barra CINa da subestação CIN CINa	Atuação correta da proteção
37		Falha CINaAT1-2XCBR5204
38		Falha CINaAT2-2XCBR5205
39		Falha CINaNSR-1XCBR5229
40		Falha CINaNSR-2XCBR5225
41		Falha CINaNSR-3XCBR5208
42		Falha CINaPAL91XCBR5227
43		Falha CINaPAL92XCBR5230
44		Falha CINaPPE-1XCBR5226
45	Transformador T2(CIN-)	Atuação correta da proteção
46		Falha CINbAT2-1XCBR5218
47		Falha CINaAT2-2XCBR5205
48	Linha de transmissão LT1(CINa_NSR-)	Atuação correta da proteção
49		Falha CINaNSR-1XCBR5229
50		Falha NSR-CINa1XCBR5210
51	Linha de transmissão LT2(CINa_NSR-)	Atuação correta da proteção
52		Falha CINaNSR-2XCBR5225
53		Falha NSR-CINa2XCBR5211
54	Linha de transmissão LT3(CINa_NSR-)	Atuação correta da proteção
55		Falha CINaNSR-3XCBR5208
56		Falha NSR-CINa3XCBR5212
57	Linha de transmissão LT1(CINa_PAL9)	Atuação correta da proteção
58		Falha CINaPAL91XCBR5227
59		Falha PAL9CINa1XCBR5201
60	Linha de transmissão LT2(CINa_PAL9)	Atuação correta da proteção
61		Falha CINaPAL92XCBR5230
62		Falha PAL9CINa2XCBR5202
63	Linha de transmissão LT_(CINa_PPE-)	Atuação correta da proteção
64		Falha CINaPPE-1XCBR5226
65		Falha PPE-CINa1XCBR5205
66	Linha de transmissão LT1(SCH-_CINb)	Atuação correta da proteção
67		Falha CINbSCH-1XCBR5216

Índice evento	Seção do sistema	Diagnóstico
68		Falha SCH-CINb1XCBR5233
69	Linha de transmissão LT2(SCH-_CINb)	Atuação correta da proteção
70		Falha CINbSCH-2XCBR5217
71		Falha SCH-CINb2XCBR5234
72		Atuação correta da proteção
73	Barra da subestação GUA2	Falha GUA2CAM-1XCBR5202
74		Falha GUA2PAL91XCBR5205
75		Falha GUA2PEL31XCBR5203
76		Atuação correta da proteção
77	Linha de transmissão LT_(GUA2_PAL9)	Falha GUA2PAL91XCBR5205
78		Falha PAL9GUA2-1XCBR5226
79		Atuação correta da proteção
80		Falha GUA2PEL31XCBR5203
81	Linha de transmissão LT_(GUA2_PEL3)	Falha PEL3GUA21XCBR5205
82		Atuação correta da proteção
83		Falha LIV2ALE21XCBR5211
84		Falha LIV2BAG21XCBR5212
85	Barra da subestação NSR	Atuação correta da proteção
86		Falha NSR-CINa1XCBR5210
87		Falha NSR-CINa2XCBR5211
88		Falha NSR-CINa3XCBR5212
89		Falha NSR-PPE-1XCBR5205
90		Falha NSR-SCH21XCBR-882
91		Falha NSR-SCH22XCBR-872
92		Falha NSR-UITA1XCBR5204
93		Atuação correta da proteção
94		Falha NSR-PPE-1XCBR5205
95	Falha PPE-NSR-1XCBR5204	
96	Linha de transmissão LT1(SCH2_NSR-)	Atuação correta da proteção
97		Falha NSR-SCH21XCBR-882
98		Falha SCH2NSR-1XCBR5203
99	Linha de transmissão LT2(SCH2_NSR-)	Atuação correta da proteção
100		Falha NSR-SCH22XCBR-872
101		Falha SCH2NSR-2XCBR5202
102	Barra da subestação PAL9	Atuação correta da proteção
103		Falha PAL9CINa1XCBR5201
104		Falha PAL9CINa2XCBR5202
105	Falha PAL9GUA2-1XCBR5226	
106	Barra da subestação PEL3	Atuação correta da proteção
107		Falha PEL3GUA21XCBR5205
108		Falha PEL3QUI-1XCBR5202
109		Falha PEL3UPME1XCBR5201
110	Linha de transmissão LT_(QUI-_PEL3)	Atuação correta da proteção
111		Falha PEL3QUI-1XCBR5202

Índice evento	Seção do sistema	Diagnóstico
112		Falha QUI-PEL31XCBR5216
113	Linha de transmissão LT_(UPME_PEL3)	Atuação correta da proteção
114		Falha PEL3UPME1XCBR5201
115		Falha UPMEPEL31XCBR5210
116	Barra da subestação PPE	Atuação correta da proteção
117		Falha PPE-CINa1XCBR5205
118		Falha PPE-NSR-1XCBR5204
119		Falha PPE-UITA1XCBR5203
120	Linha de transmissão LT_(UITA_PPE-)	Atuação correta da proteção
121		Falha PPE-UITA1XCBR5203
122		Falha UITAPPE-1XCBR5208
123	Barra da subestação QUI	Atuação correta da proteção
124		Falha QUI-PEL31XCBR5216
125		Falha QUI-UPME1XCBR5201
126	Linha de transmissão LT_(UPME QUI-)	Atuação correta da proteção
127		Falha QUI-UPME1XCBR5201
128		Falha UPMEQUI-1XCBR5205
129	Barra da subestação SCH2	Atuação correta da proteção
130		Falha SCH2NSR-1XCBR5203
131		Falha SCH2NSR-2XCBR5202
132		Falha SCH2TF1-2XCBR5208
133		Falha SCH2TF2-2XCBR5207
134		Falha SCH2TF3-2XCBR5206
135	Transformador T1(SCH-)	Atuação correta da proteção
136		Falha SCH2TF1-2XCBR5208
137		Falha SCH-TF1-1XCBR5241
138	Transformador T2(SCH-)	Atuação correta da proteção
139		Falha SCH2TF2-2XCBR5207
140		Falha SCH-TF2-1XCBR5240
141	Transformador T3(SCH-)	Atuação correta da proteção
142		Falha SCH2TF3-2XCBR5206
143		Falha SCH-TF3-1XCBR5239
144	Barra da subestação SCH	Atuação correta da proteção
145		Falha SCH-CINb1XCBR5233
146		Falha SCH-CINb2XCBR5234
147		Falha SCH-TF1-1XCBR5241
148		Falha SCH-TF2-1XCBR5240
149		Falha SCH-TF3-1XCBR5239
150	Barra da subestação SMA3	Atuação correta da proteção
151		Falha SMA3ALE21XCBR5202
152		Falha SMA3UDFR1XCBR5201
153		Falha SMA3UDFR2XCBR5210
154	Linha de transmissão LT1(UDFR_SMA3)	Atuação correta da proteção
155		Falha SMA3UDFR1XCBR5201

Índice evento	Seção do sistema	Diagnóstico
156		Falha UDFRSMA31XCBR5204
157	Linha de transmissão LT2(UDFR_SMA3)	Atuação correta da proteção
158		Falha SMA3UDFR2XCBR5210
159		Falha UDFRSMA32XCBR5206
160	Barra da subestação UDFR	Atuação correta da proteção
161		Falha UDFRSMA31XCBR5204
162		Falha UDFRSMA32XCBR5206
163		Falha UDFRUITA1XCBR5203
164		Falha UDFRUITA2XCBR5205
165	Linha de transmissão LT1(UITA_UDFR)	Atuação correta da proteção
166		Falha UDFRUITA1XCBR5203
167		Falha UITAUDFR1XCBR5205
168	Linha de transmissão LT2(UITA_UDFR)	Atuação correta da proteção
169		Falha UDFRUITA2XCBR5205
170		Falha UITAUDFR2XCBR5206
171	Barra da subestação UITA	Atuação correta da proteção
172		Falha UITANSR-1XCBR5209
173		Falha UITAPPE-1XCBR5208
174		Falha UITAUDFR1XCBR5205
175		Falha UITAUDFR2XCBR5206
176	Linha de transmissão LT_(UITA_NSR-)	Atuação correta da proteção
177		Falha UITANSR-1XCBR5209
178		Falha NSR-UITA1XCBR5204
179	Barra da subestação UPME	Atuação correta da proteção
180		Falha UPMEBAG21XCBR5212
181		Falha UPMECAM-1XCBR5211
182		Falha UPMEPEL31XCBR5210
183		Falha UPMEQUI-1XCBR5205