

Helga Gonzaga Martins

***A Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v
aplicada em Sistema de Raciocínio Baseado em Casos para o
Restabelecimento de Subestações Elétricas***

Tese apresentada à Universidade Federal de
Itajubá para obtenção do título de Doutora
em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração :
Sistemas Elétricos de Potência

Orientadores:

Professor Germano Lambert Torres
Professor Luiz Francisco Pontin

ITAJUBÁ – MG
2003

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

M3861 Martins, Helga Gonzaga
A Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v aplicada em Sistema de Raciocínio Baseado em Casos para o restabelecimento de subestações elétricas / por Helga Gonzaga Martins. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2003.
130 p. : il.

Orientador : Prof. Dr. Germano Lambert Torres
Co-orientador: Prof. Dr. Luís Francisco Pontim
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá - Departamento de Eletrotécnica.

1. Lógica Paraconsistente Anotada. 2. Raciocínio Baseado em Casos (RBC). 3. Restabelecimento de subestações elétricas. I. Torres, Germano Lambert, orient. II. Pontim, Luís Francisco, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá - Departamento de Eletrotécnica. IV. Título.

CDU 621.311.4(043.2)

Aos meus pais, Romualdo e Célia *in memoriam*

Ao meu companheiro de jornada Runon

À minha filha Camille

AGRADECIMENTOS

Quero expressar meus sinceros agradecimentos ao Professor Germano Lambert Torres pela sua confiança prestada a este trabalho.

Ao co-orientador Professor Luiz Francisco Pontin, pela sua amizade, apoio irrestrito e ajuda tão necessária ao desenvolvimento e realização deste trabalho.

Ao Professor Newton C. A. da Costa e Professor Décio Krause pelas valiosas observações, comentários e sugestões para o aprimoramento dos projetos apresentados.

Ao Professor José Augusto Baêta Segundo que me deu a honra e oportunidade de conhecer um pouco do estudo da Lógica Matemática, que foi de fundamental importância no amadurecimento deste trabalho.

Ao Professor Leonardo de Mello Ozório no sentido de ter contribuído na elaboração do programa computacional utilizado na parte do Raciocínio Baseado em Casos, mérito creditado a ele.

Ao colega de doutorado Carlos Henrique Valério de Moraes que contribuiu na elaboração do programa computacional utilizado na parte da Lógica Paraconsistente Anotada e do Restabelecimento de Subestações Elétricas, mérito creditado a ele.

Àqueles cuja amizade foi o maior incentivo para a realização deste trabalho, em particular aos amigos Isaías de Lima, Professor Antônio Carlos Zambroni e Júlia Caminha.

A todos os professores e funcionários da UNIFEI que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do presente trabalho.

RESUMO

Nos sistemas de controle, a base teórica de funcionamento tem sido a lógica clássica, devido à estrutura binária destes sistemas (verdadeiro ou falso), de forma que o raciocínio é feito com simplificações, como deixar de considerar fatos ou situações de inconsistência ou então resumir grosseiramente as mesmas. As situações de inconsistências, indefinições e de conhecimentos parciais são descritas no mundo real com muita frequência, de forma que se necessita de uma lógica que englobe todos esses comportamentos. Esta necessidade leva ao surgimento de uma lógica subjacente para os sistemas formais, denominada Lógica Paraconsistente. Muitos trabalhos apresentam a Lógica Paraconsistente como solução para tratar situações onde a Lógica Clássica se mostra ineficaz.

Este trabalho tem a finalidade de estender a lógica paraconsistente anotada de dois valores - LPA2v para uma lógica paraconsistente anotada de quatro valores - LPA4v, permitindo-se que sistemas de controle possam efetuar tratamentos inconsistentes, indefinidos e no que se refere ao nível de especialidade no domínio em questão. A análise de sinais utilizando a LPA4v permite que vários problemas ocasionados por situações contraditórias e paracompletas possam ser tratados de maneira próxima da realidade, além de analisar o comportamento dos especialistas no decorrer do tempo. Este método deu origem ao algoritmo denominado "Para-Especialista". O algoritmo implementado em linguagem computacional convencional proporciona a aplicação da Lógica Paraconsistente em sistemas de controle no mundo da inteligência artificial.

É apresentado um projeto de aplicação de Sistema Híbrido de Controle, que faz junção da Lógica Paraconsistente e Sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC), obtendo-se uma forma de tratamento das inconsistências, útil em sistemas de controle e aplicado em um Restabelecimento de Subestação Elétrica. Este projeto deu origem ao algoritmo "RBC-Para-Especialista". Os resultados obtidos neste trabalho servem para pesquisas em diversas áreas.

ABSTRACT

In the control systems, the working theoretical basis have been the classic logic, because of the binary structure of these systems (true or false), in such a way that the reasoning is made with simplifications like either not to take into consideration inconsistent facts and situations or roughly to resume the same. The inconsistent situations, non-definitions and partial knowledge are described in the real world quite frequently, so that a logic that comprises all these behaviors is required. This need drives to the arising of an underlying logic for the formal systems, named Para-consistent Logic. Several works present the Para-consistent Logic as a solution for dealing with situations where the Classic Logic seems to be ineffective.

This work aims to extend the two-values noted para-consistent logic - LPA2v to four-values noted para-consistent logic - LPA4v allowing that control systems may perform non-consistent treatments, undefined and regarding the specialty level in the considered domain the signals analysis using the LPA4v allows that many problems generated by conflicting and para-complete situations may be treated in a way near to the reality, beside to analyze the specialists behavior along the time. This method originated the algorithm named "Para-Specialist". The algorithm introduced in conventional computer language allows the application of the Para-Consistent Logic in control systems in the artificial intelligence world.

An application project of Control Hybrid System is presented, which makes the connection of the Para-Consistent Logic and the Case Based Reasoning System (CBR) providing a non-consistent treatment form, useful in control systems and applied in an Electric Power Substation Restoring. This project originated the algorithm "CBR-Para-Expert". The results achieved in this work may be used for research in many areas.

SUMÁRIO

Listas de Figuras	x
Listas de Tabelas	xiv
Listas de Gráficos	xv
Capítulo 1 - Apresentação	1
1.1 - Considerações Iniciais.....	1
1.2 - Objetivos	2
1.3 - Descrição da Tese.....	3
Capítulo 2 - Extensão do Reticulado Associado à LPA2v	5
2.1 - Considerações Iniciais.....	5
2.2 - Nova Interpretação da LPA2v através do QUPC com Grau de Crença e de Descrença de Valores Analógicos.....	6
2.2.1 - Considerações da LPA2v no QUPC.....	6
2.2.2 - Delimitações de Regiões no QUPC representativo da LPA2v	10
2.2.3 - Representação do Reticulado com Valores dos Graus de Certeza e de Incerteza	12
2.2.4 - Representação do Grau de Definição.....	15
2.2.5 - Aplicação dos Operadores Lógicos da LPA2v	16
2.2.5.1 - Aplicação do Operador de Negação no QUPC	16
2.2.5.2 - Método de Obtenção do Operador de Negação a partir do Grau de Incerteza e Certeza	18
2.2.5.3 - Análise Comparativa das Funções de Disjunção e de Conjunção da LPA2v.....	19
2.2.5.4 - Método de Obtenção dos Estados Lógicos de Saída após Aplicação dos Conectivos \vee (ou) e \wedge (e)	22
2.2.5.4.1 - Aplicação do Conectivo \vee (ou)	22
2.2.5.4.2 - Aplicação do Conectivo \wedge (e).....	23
2.2.6 - Obtenção da Tabela Verdade	25
2.2.7 - Obtenção dos Sinais Resultantes após a Aplicação dos Conectivos e do Operador de Negação.....	27
2.3 - Comentários	28

Capítulo 3 - Extensão da LPA2v para LPA3v	30
3.1 - Considerações Iniciais.....	30
3.2 - Considerações da Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores LPA3v	30
3.3 - Delimitações de Regiões no Cubo analisador unitário.....	33
3.4 - Interpretações do Cubo analisador unitário.....	34
3.5 - Método de Obtenção de Grau de Especialidade a partir dos Graus de Crença e de Descrença.....	37
3.6 - Implementação do Algoritmo "Para- Especialista"	39
3.6.1 - Algoritmo Para- Especialista - LPA3v	40
3.7 - Comentários	47
Capítulo 4 - Raciocínio Baseado em Casos (RBC)	48
4.1 - Considerações Iniciais.....	48
4.2 - Raciocínio Baseado em Casos (RBC).....	49
4.3 - Processos e Execução de um Raciocínio Baseado em Casos.....	51
4.3.1 - Recuperação de Casos.....	53
4.3.2 - Combinações das Soluções.....	54
4.3.3 - Adaptação.....	55
4.3.4 - Raciocínio de Avaliação: Justificação e Crítica	55
4.3.5 - Teste da Avaliação	56
4.3.6 - Memória de Dados	56
4.4 - Apresentação de um RBC	57
4.4.1 - CHEF.....	57
4.5 - Vantagens e Desvantagens de um RBC	59
4.5.1 - Vantagens do RBC.....	59
4.5.2 - Desvantagens do RBC	60
4.6 - Avaliação de Recuperação de Casos em Sistemas de RBC	60
4.6.1 - Função Casamento de Vizinho Próximo	61
4.6.2 - Função Casamento Contraste de Tversky (C.C.T.)	62
4.6.3 - Função Casamento do Cosseno (C.C.).....	62
4.6.4 - Função Casamento Cosseno Modificado (C.C.M.)	63
4.7 - Estrutura do Protótipo Recuperador	64
4.8 - Uma Aplicação do Protótipo Recuperador na Determinação de Diagnósticos.....	66

4.8.1 - Domínio de Decisão	66
4.8.2 - Base de Conhecimento.....	67
4.8.3 - Resultados de Programa Protótipo Recuperador.....	67
4.8.3.1 - Caso Novo [2 2 2 1].....	66
4.8.3.2 - Caso Novo [2 1 0 2].....	68
4.9 - Comentários	70
Capítulo 5 - Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores em um RBC.....	71
5.1 - Considerações Iniciais.....	71
5.2 - Implementação do Para- Especialista em um RBC.....	72
5.3 - Detalhes Construtivos do RBC- Para- Especialista.....	74
5.4 - Uma Aplicação do RBC- Para- Especialista	
na Determinação de Diagnósticos	76
5.4.1 - Resultados do Programa RBC-Para- Especialista.....	78
5.4.1.1 - Caso Novo [2 2 2 1].....	78
5.4.1.2 - Caso Novo [2 1 0 2].....	80
5.5 - Comparação dos Resultados do Programa RBC- Para- Especialista	
com RBC Tradicional.....	83
5.6 - Comentários	86
Capítulo 6 - Restabelecimento de Subestações Elétricas	
com "RBC- Para- Especialista"	88
6.1 - Considerações Iniciais.....	88
6.2 - Restabelecimento de Subestações	88
6.2.1 - Restabelecimento Inteligente	90
6.2.2 - Técnica de Restabelecimento Automático de Subestações	91
6.3 - Descrição de um Restabelecimento Automático de uma Subestação Elétrica.....	91
6.3.1 - Dados e Procedimentos Operativos da Subestação Elétrica.....	93
6.3.2 - Tipos de Diagnósticos	93
6.4 - Descrição Numérica de um Restabelecimento Automático	97
6.4.1 - Domínio de Decisão	97
6.4.2 - Base de Conhecimento.....	99
6.5 - Extensão do 'RBC-Para-Especialista'	101

6.6 - Descrição das Estratégias para o Restabelecimento Automático	
de uma Subestação Elétrica.....	106
6.6.1 - Estratégias usadas para um Restabelecimento Automático ou Plano de Chaveamento	107
6.6.2 - Temporalidade ou Extensão da LPA3v para LPA4v	107
6.6.3 - A LPA4v no Restabelecimento Automático	108
6.7 - Exemplos Ilustrativos de Restabelecimento Automático.....	109
6.7.1 - Exemplo de Restabelecimento I.....	109
6.7.2 - Exemplo de Restabelecimento II.....	111
6.7.3 - Exemplo de Restabelecimento III	114
6.8 - Comentários	116
Capítulo 7 - Conclusões	118
7.1 - Considerações Iniciais.....	118
7.2 - Reticulado Associado à LPA2v.....	119
7.3 - Extensão da LPA2v para LPA3v	120
7.4 - Extensão da LPA3v para LPA4v	121
7.5 - A LPA3v em um RBC	121
7.6 -Técnicas LPA4v- RBC em um Restabelecimento Automático	
de Subestações Elétricas.....	123
7.7 - Considerações Finais.....	124
7.8 - Linhas de Pesquisas.....	125
Referências Bibliográficas	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pontos Notáveis do QUPC	6
Figura 2.2 - Quadrado Unitário e as Linhas Perfeitamente Consistentes e Inconsistentes (LPC e LPI).....	7
Figura 2.3 - QUPC e a representação aumento do Grau de Certeza e de Incerteza lar Transitória.....	9
Figura 2.4 - Quadrado Unitário destacando a união das regiões $GI > 0$ e $GC < 0$	9
Figura 2.5 - Quadrado Unitário destacando a união das regiões $GI > 0$ e $GC > 0$	10
Figura 2.6 - Reticulado representado no QUPC com acréscimos de pontos.....	10
Figura 2.7 - QUPC destacando as Regiões Específicas.....	11
Figura 2.8 - Representação do Grau de incerteza.....	12
Figura 2.9 - Representação do Grau de certeza.....	12
Figura 2.10 - Representação dos graus de incerteza e certeza inter - relacionados.....	13
Figura 2.11 - Representação dos estados extremos e não - extremos com $V_{sc} = V_{si} = 1/2$ e $V_{ic} = V_{ic} = -1/2$	14
Figura 2.12 - Representação simbólica dos estados extremos e não - extremos com $V_{sc} = V_{si} = 1/2$ e $V_{ic} = V_{ic} = -1/2$	15
Figura 2.13 - Representação do Grau de Determinação GD no QUPC	16
Figura 2.14 - Representação no QUPC de uma proposição com grau de crença $\mu_1 = 0.6$ e grau de descrença $\mu_2 = 0.2$	17
Figura 2.15 - Representação no QUPC da aplicação do operador negação em uma proposição $P(0.6, 0.2)$ obtendo $P(0.4, 0.8)$	17
Figura 2.16 - Representação no gráfico dos graus de incerteza e certeza da proposição com grau de crença $\mu_1 = 0.6$ e descrença $\mu_2 = 0.2$	18
Figura 2.17 - Representação no gráfico dos graus de incerteza e certeza da proposição com grau de crença $\mu_1 = 0.4$ e descrença $\mu_2 = 0.8$	19
Figura 2.18 - Representação no QUPC da região delimitada resultante, após uma ação do conectivo \vee (OU) em dois sinais anotados de entrada	21
Figura 2.19 - Representação no QUPC da região delimitada resultante, após uma ação do conectivo \wedge (E) em dois sinais anotados de entrada	21

Figura 2.20 - Representação no QUPC de duas proposições P(0.4,0.8) e Q(0.6,0.2).....	22
Figura 2.21 - Representação no QUPC do método de aplicação do conectivo \vee (OU) entre duas proposições P(0.4,0.8) e Q(0.6,0.2).....	23
Figura 2.22 - Representação no QUPC do método de aplicação do conectivo \wedge (E) entre duas proposições P(0,4;0,8) e Q(0,6;0,2).....	24
Figura 2.23 - Representação dos procedimentos para se obter a função do conectivo \vee (OU) na LPA2v QUPC	27
Figura 2.24 - Representação dos procedimentos para se obter a função do conectivo \wedge (E) na LPA2v PC.....	27
Figura 2.25 - Representação dos procedimentos para se obter o operador de negação da LPA2v.....	28
Figura 3.1 - Cubo analisador unitário.....	31
Figura 3.2 - Pontos Notáveis do Cubo Analisador Unitário.....	32
Figura 3.3 - Representação da LPA3v, para $e = 0.5$	33
Figura 3.4 - Representação das Regiões de Diagnósticos	33
Figura 3.5 - Representação das Regiões Inconsistentes e Paracompleta.....	34
Figura 3.6 - Representação dos diferentes Graus de Especialidade	35
Figura 3.7 - Análise para $e = 1.0$	35
Figura 3.8 - Análise para $e = 0.8$	36
Figura 3.9 - Análise para $e = 0.5$	36
Figura 3.10 - Análise para $e = 0.1$	37
Figura 3.11 - Análise para $e = 0$	37
Figura 3.12 - Obtenção do Grau de Especialidade da LPA3v	38
Figura 3.13 - Representação dos procedimentos para se obter Plano Lógico Resultante de Saída na LPA3v	38
Figura 3.14 - Fluxograma do Cálculo de e , dos Pontos Notáveis para e , do Grau de Certeza e de Incerteza do Para- Especialista	41
Figura 3.15 - Definição das Regiões para o algoritmo Para- Especialista	42
Figura 3.16 - Fluxograma de Determinação dos Estados Extremos.....	42
Figura 3.17 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto qDx	43

Figura 3.18 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto q-Dy	43
Figura 3.19 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto q-Dx	44
Figura 3.20 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto qDy	44
Figura 3.21 - Saída dos Diagnósticos	44
Figura 3.22 - Análise do comportamento de e, e1, e2	46
Figura 4.1 - O ciclo do Raciocínio Baseado em Casos	52
Figura 4.2 - Arquitetura Funcional de CHEF	59
Figura 4.3 - Determinação da Importância da Descrição	62
Figura 4.4 - Componentes da recuperação de um RBC	64
Figura 4.5 - Arquitetura de um Protótipo Recuperador	65
Figura 5.1 - Arquitetura de um Protótipo Recuperador com LPA3v subjacente	72
Figura 5.2 - Diagrama de um Protótipo Recuperador com LPA3v subjacente	75
Figura 5.3 - Possíveis regiões no QUPC para respostas de e2	85
Figura 6.1 - Arranjo da subestação elétrica estudada	92
Figura 6.2 - Arranjo simplificado da subestação elétrica	92
Figura 6.3 - Configuração da subestação selecionada	94
Figura 6.4 - Configuração do diagnóstico ótimo para subestação	95
Figura 6.5 - Configuração do diagnóstico correto para subestação	95
Figura 6.6 - Configuração do diagnóstico não correto para subestação	96
Figura 6.7 - Configuração do diagnóstico mínimo para subestação	97
Figura 6.8 - Arranjo da subestação elétrica estudada	98
Figura 6.9 - Determinação da importância das chaves	98
Figura 6.10 - Determinação da importância do carregamento da Subestação	98
Figura 6.11 - Arquitetura do Protótipo Recuperador com LPA3v para Restabelecimento de SE	102
Figura 6.12 - Arranjo da Subestação Elétrica Utilizada na Extensão do RBC - Para - Especialista	103

Figura 6.13 - Fluxograma do Algoritmo para o Restabelecimento de uma Subestação Elétrica.....	107
Figura 6.14 - Temporalidade no cubo unitário da LPA3v.....	108
Figura 6.15 - Arranjo da subestação elétrica para um caso I.....	110
Figura 6.16 - Arranjo da subestação elétrica para um caso II	111
Figura 6.17 - Arranjo da subestação elétrica para um caso III	114

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Tabela Verdade para proposições na Lógica Paraconsistente Anotada de dois valores - LPA2v.....	26
TABELA 4.1 - Especificação das Descrições e suas extensões.....	66
TABELA 4.2 - Diagnósticos e suas extensões	66
TABELA 4.3 - Base de Conhecimento	67
TABELA 5.1 - Especificação das Descrições e suas extensões.....	77
TABELA 5.2 - Diagnósticos e suas extensões	77
TABELA 5.3 - Base de Conhecimento	77
TABELA 5.4 - Base de dados para determinação do diagnóstico e recuperação de casos	83
TABELA 5.5 - Informações inconsistentes na determinação de diagnósticos para RBC	84
TABELA 5.6 - Comportamento do diagnóstico de e2	86
TABELA 6.1 - Hierarquia do Restabelecimento.....	89
TABELA 6.2 - Especificação das Descrições e suas extensões.....	99
TABELA 6.3 - Base de Conhecimento	100
TABELA 6.4 - Diagnósticos e suas Características	100
TABELA 6.5 - Três Primeiras soluções para o caso [01103041001]	110
TABELA 6.6 - Três Primeiras soluções para o caso [10100200111]	112
TABELA 6.7 - Três Primeiras soluções para o caso [10120241101]	113
TABELA 6.8 - Três Primeiras soluções para o caso [01000200103]	114
TABELA 6.9 - Três Primeiras soluções para o caso [01020241103]	115

GRÁFICOS

GRÁFICO 6.1 - Temporalidade dos diagnósticos.	109
GRÁFICO 6.2 - Temporalidade do diagnóstico ótimo para uma configuração correta da SE.....	111
GRÁFICO 6.3 - Temporalidade do diagnóstico correto para uma configuração não correta da SE.....	113
GRÁFICO 6.4 - Temporalidade do diagnóstico não correto para uma configuração não correta da SE.....	116

CAPÍTULO 1

APRESENTAÇÃO

1.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As situações de inconsistências, indefinições e de conhecimentos parciais surgem naturalmente na descrição do mundo real; apesar disto, o homem consegue raciocinar adequadamente, sendo que esse raciocínio não está sob a visão da *lógica aristotélica*, ou melhor, aquela visão em que qualquer afirmação que se faça sobre algo, ou é *verdade* ou é *falsa*.

Por exemplo, em sistemas de controle a base teórica de funcionamento é a *lógica clássica*, devido à estrutura binária destes sistemas (verdadeiro ou falso) a forma de se raciocinar deve ser feita com algumas *simplificações* como deixar de considerar fatos ou situações de inconsistência ou então resumir grosseiramente as mesmas, isto porque na sua descrição completa trabalhando com apenas dois estados o tempo torna-se consideravelmente longo [Pearl, 93].

Como as situações reais não se enquadram inteiramente nas formas binárias da lógica clássica, vários pesquisadores se esforçaram, no sentido, de encontrar outras formas que permitissem enquadrar melhor outros conceitos como as indefinições, ambigüidades e inconsistências, com isso surgem às lógicas não - clássicas.

Esta necessidade leva ao aparecimento de uma lógica subjacente para os sistemas formais denominada *lógicas paraconsistente* [Da Costa, 93] edificada para se encontrar meios de dar tratamento não trivial às situações contraditórias. Os resultados de vários trabalhos e suas possíveis aplicações foram apresentados por [Da Costa, 90], [Abe, 92] e [Subrahmanian, 87] entre outros. Esta lógica é a mais propícia no enquadramento de situações de contradições quando lidamos com descrições do mundo real.

Isto posto, a finalidade de nossa investigação é no sentido de: estendermos a lógica paraconsistente anotada de dois valores - LPA2v [Da Silva Filho, 99] e fazer desta a lógica subjacente em um sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) [Kolodner, 93] e [Shafer, 76] cujo sistema pressupõe a existência de uma memória onde problemas (casos) já resolvidos ficam armazenados; utiliza estes casos, pela recordação, para ajudar

na *resolução* ou *interpretação* de novos problemas; e promove a aprendizagem, permitindo que novos casos sejam incorporados à memória.

Neste trabalho é demonstrada a funcionalidade das lógicas paraconsistentes e os métodos de aplicações obtidos seguem os procedimentos teóricos da lógica paraconsistente anotada [Abe, 92], [Da Costa, 91] e [Da Costa, Subrahmanian e Vago, 91].

1.2 - OBJETIVOS

Esta pesquisa objetiva estender os métodos de aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores - LPA2v para Quatro Valores, em um Sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) de Restabelecimento Automático de Subestações Elétricas.

Este trabalho pode ser resumido da seguinte forma:

1 - Estender a Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores - LPA2v de tal forma que, *se as proposições com as quais trabalhamos forem bem comportadas toda fórmula válida no cálculo clássico deve continuar inalterada*, permitindo que a modelagem de sistemas mantenha as características clássicas, já existentes, ao mesmo tempo em que possibilita aplicar a lógica paraconsistente;

2 - Estender a LPA2v para a LPA3v, introduzindo um terceiro grau de liberdade interpretado como *Grau de Especialidade*;

3 - Apresentar propostas para a programação em Sistemas de Híbridos com a junção da Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação de Três Valores - LPA3v e o Sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC), conseqüentemente propor a extensão da LPA3v para LPA4v;

4 - Elaborar métodos de aplicação da Lógica Paraconsistente objetivando implementar em um sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) de um restabelecimento automatizado de subestações elétricas.

1.3 - DESCRIÇÃO DA TESE

A apresentação deste trabalho está dividida em duas partes, a primeira parte composta pelos capítulos 2 e 3, ligada às técnicas da Lógica Paraconsistente Anotada, apresenta os métodos e os resultados dos estudos feitos com a estrutura teórica da Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores - LPA2v e de Três Valores - LPA3v, objetivando manusear valores que possam traduzir os conceitos teóricos práticos.

A segunda parte composta pelos capítulos 4, 5 e 6, aborda e oferece sugestões para as aplicações dos projetos em Sistema de Raciocínio Baseado em Casos e Lógica Paraconsistente Anotada na área de Sistemas de Potência, especificamente em um restabelecimento de subestações elétricas.

No capítulo 2, é apresentada uma extensão para os métodos de interpretação da Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores - LPA2v através do seu reticulado associado. São descritas as novas formas de análises onde os valores envolvidos são expostos no Quadrado Unitário do Plano Cartesiano - QUPC. São feitos vários estudos com o reticulado associado à lógica paraconsistente anotada de dois valores. Os valores dos graus de crença e de descrença são considerados de variação contínua e os resultados interpretados no QUPC. São descritas as regiões delimitadas no QUPC. Ainda são analisados os sinais quando se aplicam os conectivos lógicos da conjunção, da disjunção e da negação e finalmente apresentamos sua *nova* Tabela Verdade.

No capítulo 3, é apresentada uma extensão da LPA2v para LPA3v, com a introdução de um terceiro grau de liberdade denotado de *Grau de Especialidade*, é desenvolvido um algoritmo '*Para - Especialista*' que é utilizado na determinação de opiniões de diferentes especialistas.

No capítulo 4 são introduzidos os conceitos de um Sistema de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) apresentando o seu mecanismo, o processo e a execução e algumas funções utilizadas no Protótipo de Recuperação de Casos.

No capítulo 5 é proposta a junção do modelo de funções de crença, descrença e de especialidade para recuperação de casos no domínio de determinação de diagnósticos, de forma que aplicamos a Lógica Paraconsistente Anotada de três Valores - LPA3v em um Raciocínio Baseado em Casos - RBC, é desenvolvido um algoritmo '*RBC-Para-Especialista*'.

No capítulo 6 é feita uma abordagem rápida de controle inteligente de restabelecimento de subestações de potência, é aplicado o programa '*Extensão de RBC-Para-Especialista*' na determinação de diagnósticos de uma Subestação Elétrica, conduzindo à necessidade de introduzir mais uma anotação na LPA3v, estendo assim para LPA4v no que se refere à temporalidade das opiniões de especialista em um determinado sistema de decisão.

Para finalizar no capítulo 7 são apresentadas as conclusões referentes a cada capítulo e a contribuição deste trabalho. São sugeridas futuras investigações sobre a Lógica Paraconsistente Anotada com o objetivo de dar continuidade às pesquisas.

CAPÍTULO 2

EXTENSÃO DO RETICULADO ASSOCIADO À LPA2V

2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme referências [Da Costa, 99] e [Da Silva Filho, 99], estudou-se o reticulado associado à Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores -LPA2v, fez-se uma análise detalhada dos valores dos graus de crença e de descrença quando binários, ternários e discretos em N pontos, chamados de multivalorados e também dos valores dos *graus de crença e de descrença* de variação contínua com o tempo (analógicos), através do Quadrado Unitário do Plano Cartesiano - QUPC.

Neste capítulo utiliza-se o conceito do quadrado unitário do plano cartesiano - QUPC, como ferramenta básica para representação da nova proposta de interpretação dos novos pontos notáveis e dos operadores lógicos para a lógica paraconsistente anotada de dois valores - LPA2v.

Nestes estudos consideram-se algumas particularidades do quadrado unitário do plano cartesiano de muita importância para aplicações práticas dos resultados.

Este capítulo está dividido da seguinte forma: na seção 2.2 faz-se uma nova interpretação da LPA2v, na seção 2.3 encerra-se o capítulo com alguns comentários referentes ao estudo realizado.

2.2 - NOVA INTERPRETAÇÃO DA LPA2V ATRAVÉS DO QUPC COM GRAUS DE CRENÇA E DE DESCRENÇA DE VALORES ANALÓGICOS

2.2.1 - CONSIDERAÇÕES DA LPA2V NO QUADRADO UNITÁRIO DO PLANO CARTESIANO - QUPC

Para a lógica paraconsistente anotada de dois valores-LPA2v, uma interpretação I é uma função $I: P \rightarrow |\tau|$ e que para a cada interpretação I deve-se associar uma valoração $V_I: F \rightarrow [0,1] \times [0,1]$, sendo F o conjunto de todas as fórmulas, cuja visualização gráfica pode ser feita pelo quadrado unitário do plano cartesiano - QUPC.

O quadrado unitário do plano cartesiano - QUPC apresenta valores de x e y variando num intervalo real fechado $[0,1]$, de modo que estes valores representam respectivamente os *graus de crença*, μ_1 e de *descrença*, μ_2 .

Os pontos assinalados no gráfico determinam os pontos notáveis do QUPC.

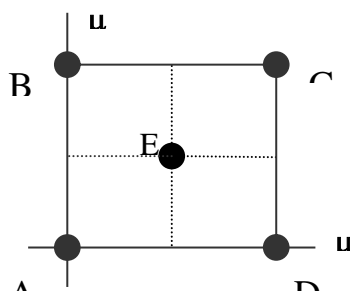


Figura 2.1 - Pontos Notáveis do QUPC

Ponto A = (0, 0) \Rightarrow	Paracompleto	(\perp)
Ponto B = (0, 1) \Rightarrow	Falso	(F)
Ponto C = (1, 1) \Rightarrow	Inconsistente	(T)
Ponto D = (1, 0) \Rightarrow	Verdadeiro	(V)
Ponto E = (0.5; 0.5) \Rightarrow	Indefinido	(I)

Assim pode-se notar que o ponto E, referente ao QUPC, é o equivalente na lógica polivalente de 3 valores [Kleene, 52], ao valor médio do segmento \overline{FV} da figura 2.2, que é determinado por um valor desconhecido ou valor indefinido (I).

No QUPC, o segmento \overline{FV} denomina-se de *linha perfeitamente consistente* (LPC) e o segmento $\overline{\perp T}$ denomina-se de *linha perfeitamente inconsistente* (LPI), conforme figura 2.2.

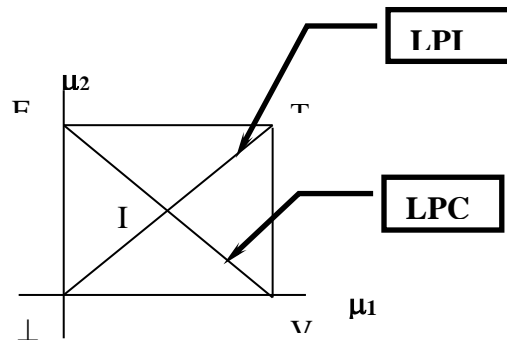


Figura 2.2 - Quadrado Unitário e as Linhas Perfeitamente Consistente e Inconsistente (LPC e LPI)

Na *linha perfeitamente consistente* (LPC) para qualquer valor do grau de crença, o valor do grau de descrença correspondente é o seu complemento em relação à unidade. Portanto:

$$\mu_1 + \mu_2 - 1 = 0$$

Quando um ponto de encontro entre o grau de crença e de descrença estiver situado em cima da *linha perfeitamente consistente* (LPC) é considerado um *ponto perfeitamente consistente*, mesmo representando conhecimentos parciais ou incompletos apresentam total coerência entre os graus de crença e de descrença ($\mu_1 + \mu_2 = 1$).

Dado um par (μ_1, μ_2) defini-se por *Grau de Incerteza*, GI, deste par como a distância da reta paralela à *linha perfeitamente consistente* (LPC) e passando pelo par (μ_1, μ_2) acrescido do sinal positivo (+) se estiver acima da LPC e negativo (-) caso contrário, logo os *pontos perfeitamente consistentes* possuem GI igual a zero.

A equação que define o *Grau de Incerteza* é:

$$GI = \mu_1 + \mu_2 - 1$$

Verifica-se, desta forma que, conforme o ponto correspondente ao par ordenado (μ_1, μ_2) do QUPC se distancia da *linha perfeitamente consistente* (LPC), em direção ao par ordenado $(1,1)$ ocorre um aumento gradativo do *grau de incerteza* (GI) até chegar ao seu valor máximo que é 1, situado no ponto T.

Da mesma forma, à medida que o ponto correspondente ao par ordenado (μ_1, μ_2) do QUPC se distancia da *linha perfeitamente consistente* (LPC), em direção ao par ordenado $(0,0)$ ocorre um aumento gradativo do módulo do *grau de incerteza* (GI) até chegar ao seu valor máximo 1, situado no ponto \perp .

Em relação a *linha perfeitamente inconsistente* (LPI), observa-se que para determinado valor do grau de crença corresponde um valor igual do grau de descrença. A expressão pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mu_1 - \mu_2 = 0$$

Quando um ponto de encontro entre o grau de crença e de descrença estiver situado em cima da *linha perfeitamente inconsistente* (LPI) é considerado um ponto *perfeitamente inconsistente*, de forma que tem máxima inconsistência ($\mu_1 = \mu_2$), então, o *grau de certeza* (GC) nesta linha é zero.

Assim como no *Grau de Incerteza*, a equação matemática que expressa o envolvimento dos graus de crença e de descrença e o *Grau de Certeza*, fica da seguinte forma:

$$GC = \mu_1 - \mu_2$$

Um *grau de certeza* (GC) diferente de zero, define um ponto que pertence a uma reta paralela à *linha perfeitamente inconsistente* (LPI)

Verifica-se, desta forma que conforme o ponto correspondente ao par ordenado (μ_1, μ_2) do QUPC se distancia da *linha perfeitamente inconsistente* (LPI), em direção ao par ordenado $(1,0)$ ocorre um aumento gradativo do *grau de certeza* (GC) até chegar ao seu valor máximo que é 1, situado no ponto V.

Analogamente, à medida que o ponto correspondente ao par ordenado (μ_1, μ_2) do QUPC se distancia da *linha perfeitamente inconsistente* (LPI) em direção ao par ordenado $(0,1)$, ocorre um aumento gradativo do módulo do *grau de certeza* (GC) até chegar ao seu valor máximo 1, situado no ponto F.

Logo, para cada par ordenado composto pelo valor do grau de crença μ_1 e pelo valor do grau de descrença μ_2 , são encontrados os valores dos graus de *incerteza* e de

certeza, conforme as equações abaixo, e são representados no QUPC conforme figura 2.3:

$$GI = \mu_1 + \mu_2 - 1$$

$$GC = \mu_1 - \mu_2$$

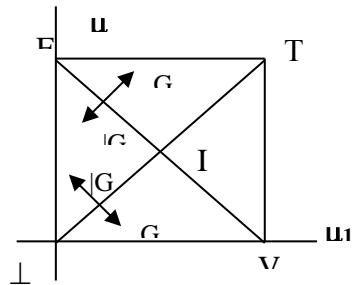


Figura 2.3 - QUPC e a representação do aumento do Grau de Certeza e de Incerteza.

Pode-se fazer, então, as afirmações abaixo:

- a - "Se o grau de incerteza for positivo, $GI > 0$, o ponto resultante estará acima da linha perfeitamente consistente, LPC".
- b - "Se o grau de certeza for negativo, $GC < 0$, o ponto resultante estará acima da linha perfeitamente inconsistente, LPI".

As uniões destas duas condições delimitam a região apresentada na figura 2.4 a seguir:

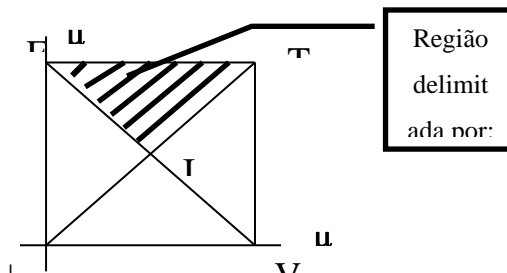


Figura 2.4 - Quadrado Unitário destacando a união das regiões $GI > 0$ e $GC < 0$.

Fazendo mais duas afirmações, vem:

- c - "Se o grau de incerteza for positivo, $GI > 0$, o ponto resultante estará acima da linha perfeitamente consistente, LPC".

d - "Se o grau de certeza for positivo, $GC > 0$, o ponto resultante estará abaixo da linha perfeitamente inconsistente, LPI".

Estas duas condições delimitam a região representada na figura 2.5 abaixo:

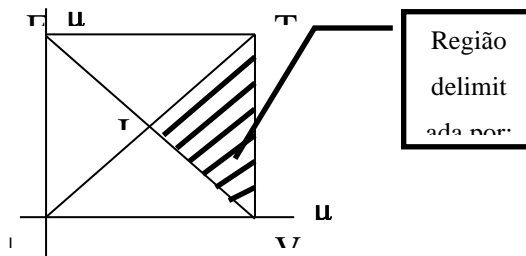


Figura 2.5 - Quadrado Unitário destacando a união das regiões $GI > 0$ e $GC > 0$.

Na seção seguinte estudam-se mais outras regiões delimitadas e a configuração do QUPC para mais quatro pontos notáveis.

2.2.2 - DELIMITAÇÕES DE REGIÕES NO QUPC REPRESENTATIVO DA LPA2v

No QUPC pode-se obter mais quatro linhas conforme figura 2.6:

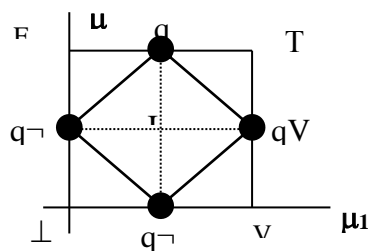


Figura 2.6 - Reticulado representado no QUPC com acréscimo de pontos

De forma que a denominação dos novos pontos notáveis torna-se:

- q.V - par ordenado $(1;0.5) \Rightarrow$ ponto quase verdade
- q.F - par ordenado $(0.5;1) \Rightarrow$ ponto quase falso
- q¬V - par ordenado $(0;0.5) \Rightarrow$ ponto quase não- verdade
- q¬F - par ordenado $(0.5;0) \Rightarrow$ ponto quase não- falso

Com o acréscimo destes pontos notáveis, surgem mais novas *quatro linhas* que delimitam as regiões no reticulado. Por facilidade, cada uma delas recebe a denominação de acordo com a sua proximidade aos pontos extremos do reticulado.

Os pontos extremos são: estado Verdadeiro, Falso, Inconsistente e Paracompleto.

As próximas figuras mostram regiões delimitadas correspondentes a cada *estado lógico resultante* determinado pelos graus de crença e de descrença.

Na figura seguinte 2.7 mostram-se as regiões com *Totalmente Inconsistente* e *Totalmente Paracompleta*, bem como as regiões de *Total Falsidade* e *Total Verdade*.

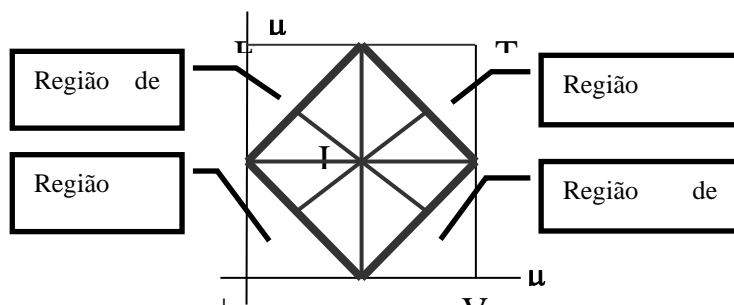


Figura 2.7- QUPC destacando as Regiões Específicas.

Descrevendo as regiões delimitadas, ficam da seguinte forma:

Se $GI > 1/2$ Então a saída é totalmente Inconsistente.

Se $|GI| > 1/2$ Então a saída é totalmente Paracompleta.

Se $|GC| > 1/2$ Então a saída é totalmente Falsa.

Se $GC > 1/2$ Então a saída é totalmente Verdadeira.

A partir dessas análises, descrevem-se todas as regiões que representam os *estados lógicos extremos* do reticulado que são: Verdadeiro, Falso, Inconsistente e Paracompleto.

2.2.3 - REPRESENTAÇÃO DO RETICULADO COM VALORES DOS GRAUS DE CERTEZA E DE INCERTEZA

O *Grau de Incerteza* (GI), define-se como sendo o valor que representa no reticulado o relacionamento entre os dois *estados lógicos extremos* denominados de *Totalmente Inconsistente* e *Totalmente Paracompleto*. Este grau varia entre o intervalo real fechado $[-1,1]$, mostrado na figura 2.8.

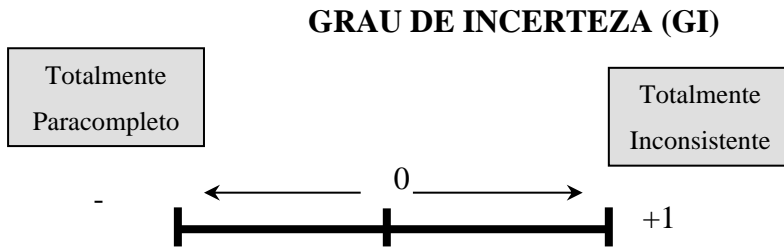


Figura 2.8 - Representação do *Grau de incerteza*.

O *Grau de Certeza* (GC), define-se como sendo o valor que representa no reticulado o relacionamento entre os dois *estados lógicos extremo* denominados de *Falso* e *Verdadeiro*. Este grau varia entre o intervalo real fechado $[-1,1]$, mostrado na figura 2.9.

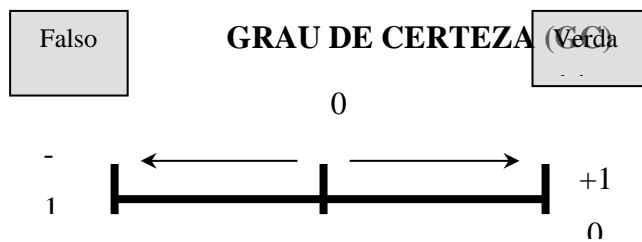


Figura 2.9 - Representação do *Grau de certeza*.

Interpondo os dois eixos do grau de incerteza com de certeza, pode-se obter uma inter-relação destes graus, como segue na figura 2.10.

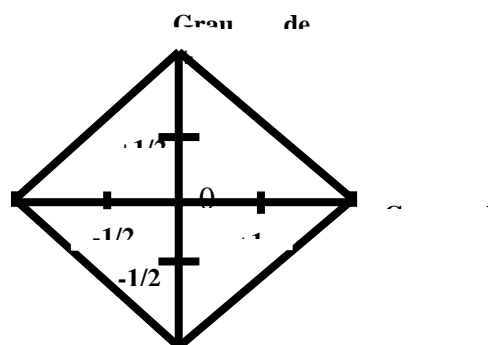


Figura 2.10 - Representação dos graus de incerteza e certeza inter - relacionados.

Nas representações através dos gráficos dos *graus de certeza e incerteza*, com valores conforme figura acima, no eixo vertical quando o *grau de incerteza* é de valor maior ou igual a $1/2$ o estado é o *extremo Totalmente Inconsistente*, de acordo com as delimitações das regiões da figura 2.7. Da mesma forma, quando o *grau de incerteza* é de valor menor ou igual a $-1/2$ o estado é *extremo Totalmente Paracompleto*.

Continuando a análise para *grau de certeza* vem que, quando o *grau de certeza* é de valor maior ou igual a $1/2$ o estado é *extremo Totalmente Verdadeiro* e quando o valor é menor ou igual a $-1/2$, o estado é *extremo Totalmente Falso*.

Toda esta análise é feita partindo da condição de que nenhuma outra inter-relação foi considerada.

Com estas considerações, no gráfico dos *graus de certeza e incerteza*, os valores em módulos iguais ou acima de $1/2$ já têm os estados bem definidos, e os valores abaixo de $1/2$ são interrelacionados e definem regiões correspondentes aos denominados *estados não extremos*.

Para facilitar a visualização da descrição, denominam-se valores de controle de certeza e de incerteza, tais que:

- V_{scc} - Valor superior de controle de certeza;
- V_{icc} - Valor inferior de controle de certeza;
- V_{sci} - Valor superior de controle de incerteza;
- V_{ici} - Valor inferior de controle de incerteza.

De forma que para a situação em estudo, vem:

$$V_{scc} = +1/2$$

$$V_{icc} = -1/2$$

$$V_{sci} = +1/2$$

$$V_{ici} = -1/2$$

A figura 2.11 mostra todos os estados lógicos do reticulado com os *Valores de Controle Limite* considerado nesta configuração.

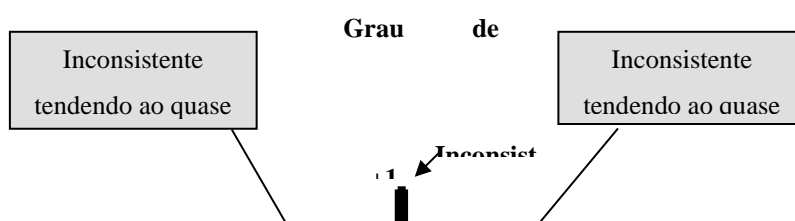


Figura 2.11 - Representação dos estados extremos e não - extremos com $V_{scc}=V_{sci}=1/2$ e $V_{icc}=V_{ici}=-1/2$.

Para uma melhor visualização as representações dos *estados extremos e não - extremos* fazem-se através de símbolos, como segue na figura 2.12:

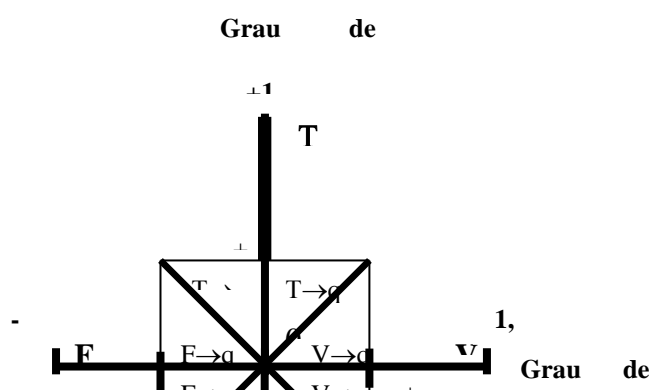


Figura 2.12 - Representação simbólica dos estados extremos e não - extremos com $V_{scc}=V_{sci}=1/2$ e $V_{icc}=V_{ici}=-1/2$.

Os *Valores de Controle de Limite* V_{scc} , V_{icc} , V_{sci} e V_{ici} podem ser ajustados diferentemente, não sendo necessariamente iguais em módulo. Estes valores é que fazem a separação entre as regiões correspondentes aos estados extremos e as regiões dos estados não - extremos, logo a variação destes valores acarreta uma mudança nas regiões delimitadas do QUPC.

2.2.4 - REPRESENTAÇÃO DO GRAU DE DETERMINAÇÃO

Mais uma medida de interesse de estudo é acrescentada aqui, é o *Grau de Determinação* (GD), indicado na figura seguinte.

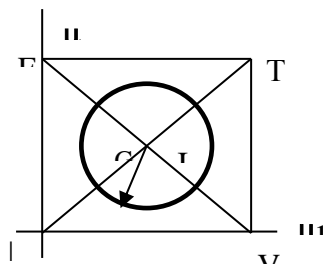


Figura 2.13 - Representação do Grau de Determinação, GD no QUPC.

O *Grau de Determinação*, GD, representa-se por círculos concêntricos no ponto (0.5;0.5) - I, que representa o ponto de *Indefinição* no QUPC. De modo que, à medida que se distancia do centro (I), quer dizer, que o raio da circunferência aumenta, o *Grau de Determinação* aumenta ou, fazendo uma outra interpretação da situação, à medida que se distancia do ponto de indefinição a situação analisada se torna mais bem definida independente do seu resultado.

Pode-se ter quatro situações bem definida, como por exemplo, a situação Verdadeira, Falsa, Paracompleta ou de Inconsistência, situação de GD máximo igual a $\sqrt{2}/2$.

O resultado da equação que envolve os graus de crença e de descrença e o *Grau de Determinação* é:

$$GD^2 = (\mu_1 - 0.5)^2 + (\mu_2 - 0.5)^2$$

Para o QUPC estudado, o *Grau de Determinação* varia no intervalo real fechado $[0, \sqrt{2}/2]$.

2.2.5 - APLICAÇÃO DOS OPERADORES LÓGICOS DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE DOIS VALORES.

2.2.5.1 - APLICAÇÃO DO OPERADOR DE NEGAÇÃO NO QUPC -

O operador de negação, como o próprio nome diz, dá o sentido de negação para a proposição estudada e que na LPA2v obtém-se da seguinte forma.

Seja dada uma proposição P , de tal forma que ela é composta pelos graus de crença e descrença dados $P(\mu_{1P}, \mu_{2P})$, aplicando o operador de negação obtém-se a seguinte proposição: $\neg P(\mu_{1P}, \mu_{2P}) = P(1-\mu_{1P}, 1-\mu_{2P})$.

Como exemplo, são analisadas proposições com a aplicação de um sinal anotado composto de grau de crença $\mu_1 = 0.6$ e grau de descrença $\mu_2 = 0.2$ em uma configuração do QUPC. Depois é aplicado o operador de negação e os resultados da análise serão visualizados nas regiões delimitadas que definem os *estados lógicos resultantes* de saída.

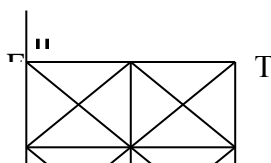


Figura 2.14 - Representação no QUPC de uma proposição com grau de crença $\mu_1=0.6$ e grau de descrença $\mu_2 = 0.2$.

Na representação da figura 2.14, verifica-se que a proposição $P(0.6, 0.2)$ resulta na região delimitada $V \rightarrow q \neg F$ do QUPC, de acordo com a representação da figura 2.12.

Observa-se que qualquer ponto resultante nesta região implica como resultado final da análise, o *estado resultante* de saída denominado de *Verdadeiro tendendo ao quase - não Falso*.

Aplicando o operador de negação a proposição se torna:

$$\neg P(0.6, 0.2) = P(1-0.6, 1-0.2) = P(0.4, 0.8)$$

De forma que a região deste processo é outra, conforme mostra a figura 2.15.

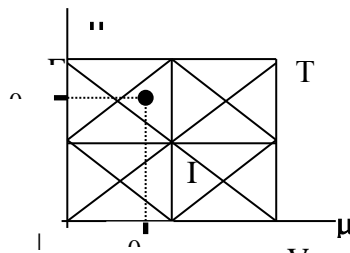


Figura 2.15 – Representação no QUPC da aplicação do operador negação em uma proposição $P(0.6, 0.2)$ obtendo $P(0.4, 0.8)$.

Pode-se observar que o novo ponto mudou de região, situada no *estado resultante* de saída denominado de *Falso tendendo ao quase - Falso*.

2.2.5.2 - MÉTODO DE OBTENÇÃO DO OPERADOR DE NEGAÇÃO A PARTIR DO GRAU DE INCERTEZA E CERTEZA

O método que realiza a operação de negação lógica utilizando os graus de incerteza e de certeza é descrito nesta seção. Através do reticulado da LPA2v com os

valores dos graus de incerteza e de certeza se obtém outra forma de visualização das mudanças de *estados resultantes de saída* quando aplicado o operador de negação.

Analisando os mesmos valores de grau de crença e de descrença que no item anterior, vem:

$$\mu_1 = 0.6 \text{ e } \mu_2 = 0.2$$

Então, o *Grau de Incerteza e o Grau de Certeza* ficam:

$$GI = \mu_1 + \mu_2 - 1 = 0.6 + 0.2 - 1 = -0.2$$

$$GC = \mu_1 - \mu_2 = 0.6 - 0.2 = 0.4$$

Analisando o *estado resultante* no reticulado com os valores dos graus de certeza e de incerteza pode-se visualizar na figura 2.16.

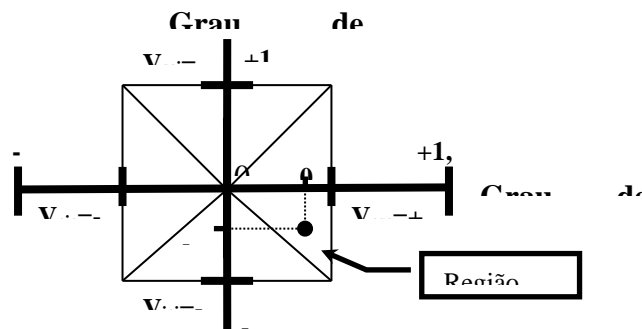


Figura 2.16 - Representação no gráfico dos graus de incerteza e certeza da proposição com grau de crença $\mu_1=0.6$ e descrença $\mu_2=0.2$.

Na figura anterior a análise dos valores dos graus de crença e de descrença resultou na região do *estado lógico de saída* $V \rightarrow q \neg F$ que é semelhante ao obtido pela análise no QUPC anteriormente apresentado, conforme figura 2.12.

Aplicando o operador de negação, vem: $\mu_1 = 1 - 0.6 = 0.4$ e $\mu_2 = 1 - 0.2 = 0.8$.

Então, o *Grau de Incerteza e de Certeza* ficam:

$$GI = \mu_1 + \mu_2 - 1 = 0.4 + 0.8 - 1 = 0.2$$

$$GC = \mu_1 - \mu_2 = 0.4 - 0.8 = -0.4$$

A figura 2.17 mostra o *estado lógico de saída* considerando os novos valores dos *Graus de Incerteza e de Certeza*.

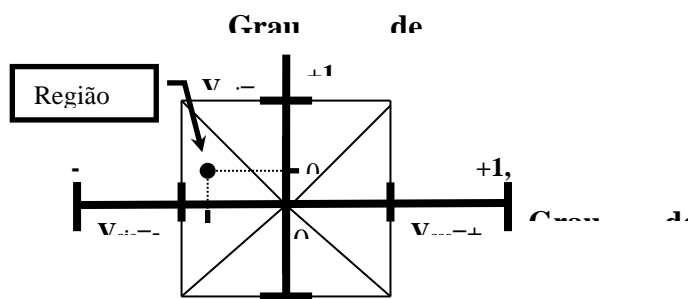


Figura 2.17 - Representação no gráfico dos graus de incerteza e certeza da proposição com grau de crença $\mu_1= 0.4$ e descrença $\mu_2= 0.8$.

Pode-se observar que ao ser aplicado o operador de negação o resultado da nova proposição se encontra na região correspondente ao *estado lógico de saída* denominado *Falso tendendo ao quase - não Falso* ($F \rightarrow q \neg F$), cujo valor é idêntico ao encontrado na análise anterior feita no QUPC, conforme figura 2.15.

A partir dos graus de incerteza e de certeza encontrados se torna visível certa observação: *O Grau de Incerteza e de Certeza permaneceram com o mesmo valor em módulo, apenas trocando o sinal.*

O que se conclui:

Na lógica paraconsistente anotada de dois valores, para se obter uma negação lógica nos estados lógicos resultantes de saída, basta mudar a polaridade (positivo, negativo) do sinal dos graus de incerteza e de certeza e fazer a análise paraconsistente nos sinais.

2.2.5.3 - ANÁLISE COMPARATIVA DAS FUNÇÕES DE DISJUNÇÃO E DE CONJUNÇÃO DA LPA2V

De acordo com [Abe, 92] os conectivos de disjunção (OU - \vee) e de conjunção (E- \wedge) foram devidamente equacionados por:

$$V_I(P \vee Q) = 1 \text{ se e somente se } V_I(P) = 1 \text{ ou } V_I(Q) = 1$$

$$V_I(P \wedge Q) = 1 \text{ se e somente se } V_I(P) = 1 \text{ e } V_I(Q) = 1, \text{ respectivamente.}$$

Onde P e Q são proposições sob as quais se aplicam os conectivos, essas proposições possuem dois sinais anotados, cada um composto por seus respectivos graus de crença e de descrença.

Considerando o primeiro sinal anotado como:

Sinal P : $P_P(\mu_{1P}, \mu_{2P})$ Sendo: μ_{1P} = Grau de *crença* do sinal P ;
 μ_{2P} = Grau de *descrença* do sinal P .

e o segundo sinal anotado sendo:

Sinal Q : $P_Q(\mu_{1Q}, \mu_{2Q})$ Sendo: μ_{1Q} = Grau de *crença* de Q ;
 μ_{2Q} = Grau de *descrença* de Q .

A análise da aplicação dos conectivos \vee (OU) e \wedge (E) através do QUPC e do reticulado dos *graus de incerteza e de certeza* segue o procedimento:

- Os conectivos aplicados aos sinais de entrada de P e Q , têm a *Maximização*, no caso do conectivo \vee (OU), (ou de *Minimização*, no caso do conectivo \wedge (E)) para o *grau de crença* (μ_1) e a *Minimização* (ou de *Maximização*, no caso do conectivo \wedge (E)) para o *grau de descrença* (μ_2).
- Após a ação de *Maximização* (*Minimização*) se obtém um sinal intermediário resultante da ação: (μ_{1R}, μ_{2R}) .
- Com os dois sinais resultantes fez-se a análise no QUPC ou no reticulado como os *graus de incerteza e de certeza*, para obter-se o *estado lógico resultante de saída*.

Para exemplificar a análise, são utilizados dois sinais lógicos anotados aplicados em um sistema que realiza a função do conectivo \vee (OU).

Sejam os valores dos sinais nas entradas:

Sinal P : $P_P(\mu_{1P}, \mu_{2P})$ Sendo: $\mu_{1P} = 0.4$ e $\mu_{2P} = 0.8$
 Sinal Q : $P_Q(\mu_{1Q}, \mu_{2Q})$ Sendo: $\mu_{1Q} = 0.6$ e $\mu_{2Q} = 0.2$

Aplicando a fórmula do conectivo \vee (OU) entre as proposições P e Q , vem:

$$P_P \vee P_Q = (\mathbf{Max}(\mu_{1P}, \mu_{1Q}), \mathbf{Min}(\mu_{2P}, \mu_{2Q})) = (\mathbf{Max}(0.4, 0.6), \mathbf{Min}(0.8, 0.2))$$

$$P_P \vee P_Q = (\mathbf{0.6}, \mathbf{0.2})$$

Com: $\mu_{1R} = 0.6$ - Grau de *crença* resultante;
 $\mu_{2R} = 0.2$ - Grau de *descrença* resultante.

Com os valores dos graus de *crença* e de *descrença* resultante, pode-se fazer uma análise no QUPC, para obter dessa forma o *estado lógico resultante de saída*. A figura 2.18 mostra a situação discutida acima.

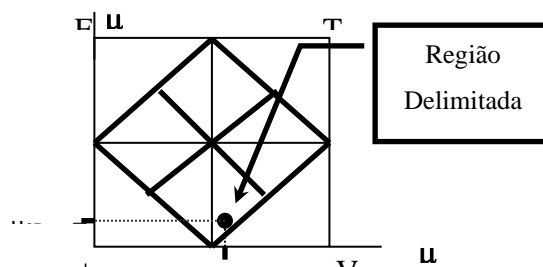


Figura 2.18 - Representação no QUPC da região delimitada resultante, após uma ação do conectivo \vee (OU) em dois sinais anotados de entrada.

Agora, aplica-se o conectivo \wedge (E) para as mesmas proposições P e Q , vem:

Sinal P : $P_P (\mu_{1P}, \mu_{2P})$ Sendo: $\mu_{1P} = 0.4$ e $\mu_{2P} = 0.8$

Sinal Q : $P_Q (\mu_{1Q}, \mu_{2Q})$ Sendo: $\mu_{1Q} = 0.6$ e $\mu_{2Q} = 0.2$

$$P_P \wedge P_Q = (\mathbf{Min}(\mu_{1P}, \mu_{1Q}), \mathbf{Max}(\mu_{2P}, \mu_{2Q})) = (\mathbf{Min}(0.4, 0.6), \mathbf{Max}(0.8, 0.2))$$

$$P_P \wedge P_Q = (0.4, 0.8)$$

Com: $\mu_{1R} = 0.4$ - Grau de crença resultante;

$\mu_{2R} = 0.8$ - Grau de descrença resultante.

Com os valores dos Graus de crença e de descrença resultante, pode-se fazer uma análise no QUPC, para obter dessa forma o *estado lógico resultante de saída*. A figura 2.19 mostra a situação discutida acima.

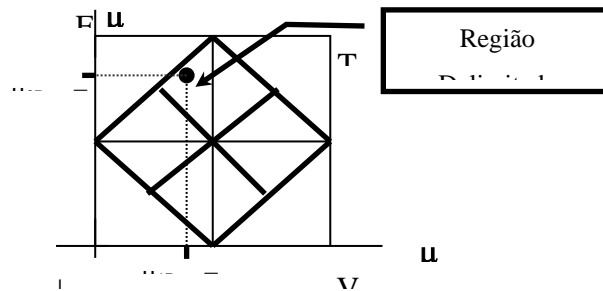


Figura 2.19 - Representação no QUPC da região delimitada resultante, após uma ação do conectivo \wedge (E) em dois sinais anotados de entrada.

Um método prático para a obtenção dos valores de saída quando aplicado os conectivos \vee (OU) e \wedge (E), é feito no QUPC.

Os sinais anotados são compostos de graus de crença e de descrença que podem ser de intensidade variável com o tempo (analogicos) ou multivalorados, conforme dito

no início deste capítulo. Este método de aplicação dos conectivos \vee (OU) e \wedge (E) é aplicado para vários sinais anotados simultaneamente, e que será descrito a seguir.

2.2.5.4 - MÉTODO DE OBTENÇÃO DOS *ESTADOS LÓGICOS DE SAÍDA* APÓS APLICAÇÃO DOS CONECTIVOS \vee (OU) E \wedge (E).

Uma proposição P , qualquer, é composta por um *grau de crença e de descrença* quando analisado no QUPC, de forma que resulta em um ponto localizado em uma região delimitada e que se relaciona a um único *estado lógico resultante de saída*. Logo, para duas proposições P e Q , quaisquer, resultam em dois pontos de acordo com a figura 2.20.

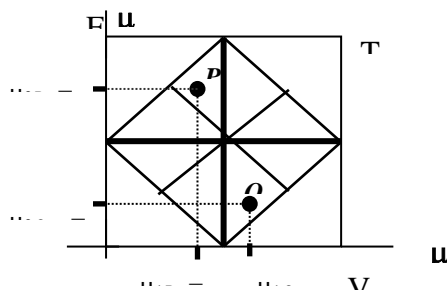


Figura 2.20 - Representação no QUPC de duas proposições $P(0.4, 0.8)$ e $Q(0.6, 0.2)$.

2.2.5.4.1 - APLICAÇÃO DO CONECTIVO \vee (OU):

O conectivo \vee (OU) faz a *Maximização* entre os valores dos *graus de crença* e faz a *Minimização* entre os valores dos *graus de descrença* entre duas proposições, para encontrar o ponto resultante da aplicação do conectivo \vee (OU) basta construir um retângulo com os lados paralelos aos eixos cartesianos, tendo como vértices, diagonalmente opostos, as duas proposições, o resultado da disjunção será o vértice inferior direito do retângulo. Isso representa o fato da aplicação sucessiva do operador \vee (OU) tender a levar o resultado mais próximo do ponto notável de Verdade.

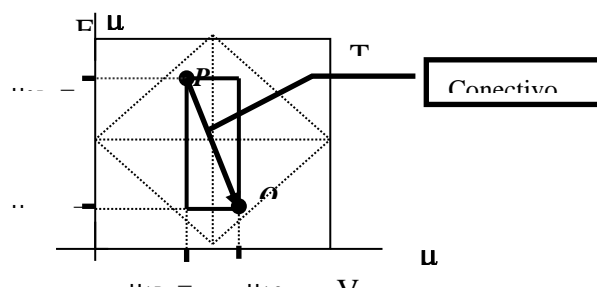


Figura 2.21 - Representação no QUPC do método de aplicação do conectivo \vee (OU) entre duas proposições $P(0.4, 0.8)$ e $Q(0.6, 0.2)$.

A aplicação do conectivo \vee (OU) nos sinais P e Q resultou no ponto que corresponde ao *estado lógico resultante de saída* Verdadeiro tendendo ao quase - não Falso de acordo com a figura 2.21 acima, o que corresponde com a figura 2.18.

No QUPC a visualização da aplicação do conectivo fica mais simples, facilitando desta forma sua aplicação para vários sinais ao mesmo tempo, bastando encontrar por meio do método, acima citado, o sinal de maior valor de *grau de crença* e o sinal de menor valor de *grau de descrença* e prolongar estes valores até encontrar o ponto de intersecção das retas, sendo este o ponto resultante do *estado lógico*.

Desta maneira o conectivo \vee (OU) aplicado em dois sinais anotados, em que um é *Verdadeiro* e o outro *Falso*, o *estado lógico resultante* é o sinal *Verdadeiro*. Portanto, o *estado lógico* predominante na aplicação do conectivo \vee (OU) é o *estado Verdadeiro*.

2.2.5.4.2 - APLICAÇÃO DO CONECTIVO \wedge (E):

O conectivo \wedge (E) faz a *Minimização* entre os valores dos *graus de crença* e faz a *Maximização* entre os valores dos *graus de descrença* entre duas proposições, para encontrar o ponto resultante da aplicação do conectivo \wedge (E) basta construir um retângulo com os lados paralelos aos eixos cartesianos, tendo como vértices, diagonalmente opostos, as duas proposições, o resultado da conjunção será o vértice superior esquerdo do retângulo. Isso representa o fato da aplicação sucessiva do operador \wedge (E) tender a levar o resultado mais próximo do ponto notável de Falso.

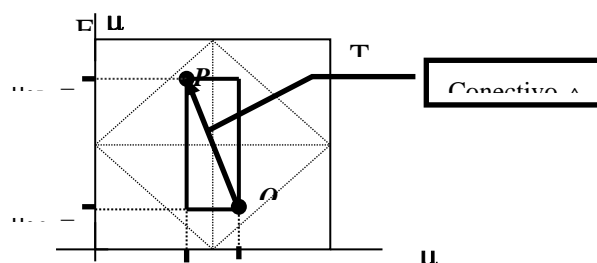


Figura 2.22 - Representação no QUPC do método de aplicação do conectivo \wedge (E) entre duas proposições $P(0.4, 0.8)$ e $Q(0.6, 0.2)$.

A aplicação do conectivo \wedge (E) nos sinais P e Q resultou no ponto que corresponde ao *estado lógico resultante de saída* Falso tendendo ao quase - Falso de acordo com a figura 2.22, que corresponde com a figura 2.19.

No QUPC a visualização da aplicação do conectivo fica mais simples, facilitando desta forma sua aplicação para vários sinais ao mesmo tempo, bastando encontrar por meio do método, acima citado, o sinal de menor valor de *grau de crença* e o sinal de maior valor de *grau de descrença* e prolongar estes valores até encontrar o ponto de intersecção das retas, sendo este o ponto resultante do *estado lógico*.

Desta maneira o conectivo \wedge (E) aplicado em dois sinais anotados, em que um é *Verdadeiro* e o outro *Falso*, o *estado lógico resultante* é o sinal *Falso*. Portanto, o *estado lógico* predominante na aplicação do conectivo \wedge (E) é o *estado Falso*.

Com os métodos citados acima, fica fácil a sua visualização no QUPC do funcionamento da LPA2v e demonstra que as análises pela aplicação do Operador de Negação, do Conectivo de Disjunção (OU) e do Conectivo de Conjunção (E) podem ser aplicados de forma direta. Com este procedimento fica dispensado o uso das *Tabelas Verdade*.

2.2.6 - OBTENÇÃO DA TABELA DE VERDADE

Na lógica paraconsistente anotada de dois valores é proposto que para aplicação do conectivo de disjunção (\vee - OU) utiliza-se da *Maximização* dos graus de crença e da *Minimização* dos graus de descrença entre dois sinais anotados, e para aplicação do conectivo de conjunção (\wedge - E), utiliza-se da *Minimização* dos graus de crença e da *Maximização* dos graus de descrença entre dois sinais anotados, assunto já analisado no item anterior. E, finalmente, para aplicação do operador de negação, basta descontar de uma unidade (1) o valor dos graus de crença e de descrença e obter os novos valores dos respectivos graus.

Desta forma, para a obtenção dos *estados lógicos resultantes de saída* em aplicações dos conectivos de disjunção (\vee - OU) e de conjunção (\wedge - E) entre dois sinais anotados P e Q , e do operador de negação, foi construída a seguinte *Tabela de Verdade*.

Proposições		Conectivos		Negação
P	Q	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	$\neg P$
V	V	V	V	F
V	F	V	F	-
V	T	V	T	-
V	\perp	V	\perp	-
V	I	V	I	-
V	q.V	V	q.V	-
V	q.F	V	q.F	-
V	q \neg V	V	q \neg V	-
V	q \neg F	V	q \neg F	-
F	V	V	F	V
F	F	F	F	-
F	T	T	F	-
F	\perp	\perp	F	-
F	I	I	F	-
F	q.V	q.V	F	-
F	q.F	q.F	F	-
F	q \neg V	q \neg V	F	-
F	q \neg F	q \neg F	F	-
T	V	V	T	\perp
T	F	T	F	-
T	T	T	T	-
T	\perp	V	F	-
T	I	q.V	q.F	-
T	q.V	q.V	T	-
T	q.F	T	q.F	-
T	q \neg V	q.V	F	-
T	q \neg F	V	q.F	-

Proposições		Conectivos		Negação
P	Q	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	Q
\perp	V	V	\perp	T
\perp	F	P	F	-
\perp	T	V	F	-
\perp	\perp	\perp	\perp	-
\perp	I	q \neg F	q \neg V	-
\perp	q.V	V	q \neg V	-
\perp	q.F	q \neg F	F	-
\perp	q \neg V	P	q \neg V	-
\perp	q \neg F	q \neg F	\perp	-
I	V	V	I	I
I	F	I	F	-
I	T	q.V	q.F	-
I	P	q \neg F	q \neg V	-
I	I	I	I	-
I	q.V	q.V	I	-
I	q.F	I	q.F	-
I	q \neg V	I	q \neg V	-
I	q \neg F	q \neg F	I	-
q.V	V	V	q.V	q \neg V
q.V	F	q.V	F	-
q.V	T	q.V	T	-
q.V	\perp	V	q \neg V	-
q.V	I	q.V	I	-
q.V	q.V	q.V	q.V	-
q.V	q.F	q.V	q.F	-
q.V	q \neg V	q.V	q \neg V	-
q.V	q \neg F	V	I	-

Proposições		Conectivos		Negação
P	Q	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	$\neg P$
q.F	V	V	q.F	q¬F
q.F	F	q.F	F	-
q.F	T	T	q.F	-
q.F	\perp	q¬F	F	-
q.F	I	I	q.F	-
q.F	q.V	q.V	q.F	
q.F	q.F	q.F	q.F	
q.F	q¬V	I	F	
q.F	q¬F	q¬F	q.F	

Proposições		Conectivos		Negação
P	Q	$P \vee Q$	$P \wedge Q$	$\neg P$
q¬V	V	V	q¬V	q.V
q¬V	F	q¬V	F	-
q¬V	T	q.V	F	-
q¬V	\perp	\perp	q¬V	-
q¬V	I	I	q¬V	-
q¬V	q.V	q.V	q¬V	
q¬V	q.F	I	F	
q¬V	q¬V	q¬V	q¬V	
q¬V	q¬F	q¬F	q¬V	
q¬F	V	V	q¬F	q.F
q¬F	F	q¬F	F	-
q¬F	T	V	q.F	-
q¬F	\perp	q¬F	\perp	-
q¬F	I	q¬F	I	-
q¬F	q.V	V	I	
q¬F	q.F	q¬F	q.F	
q¬F	q¬V	q¬F	q¬V	
q¬F	q¬F	q¬F	q¬F	

Tabela 2.1 - Tabela Verdade para proposições na Lógica Paraconsistente Anotada de dois valores - LPA2v

A Tabela Verdade acima exposta foi construída para as proposições P e Q que estão situadas somente nos pontos notáveis, discutido no início deste capítulo, mas pode-se deparar com situações em que as mesmas estejam em qualquer ponto do QUPC, não necessariamente em pontos notáveis. De modo que, ficaria muito extensa a construção de uma Tabela Verdade para tal análise, pois o número de combinações aumentaria muito.

Então, ao invés de se construir Tabelas Verdade para a análise da aplicação dos conectivos de disjunção e de conjunção e também do operador de negação, torna-se útil à aplicação dos métodos já discutidos anteriormente.

No próximo item será mostrada sistematicamente a obtenção dos sinais resultantes após a aplicação dos métodos.

2.2.7 - OBTENÇÃO DOS SINAIS RESULTANTES APÓS A APLICAÇÃO DOS CONECTIVOS E DO OPERADOR DE NEGAÇÃO

As figuras seguintes ilustram os procedimentos para se obter os conectivos de disjunção \vee (OU) e de conjunção \wedge (E), bem como a obtenção do operador de negação.

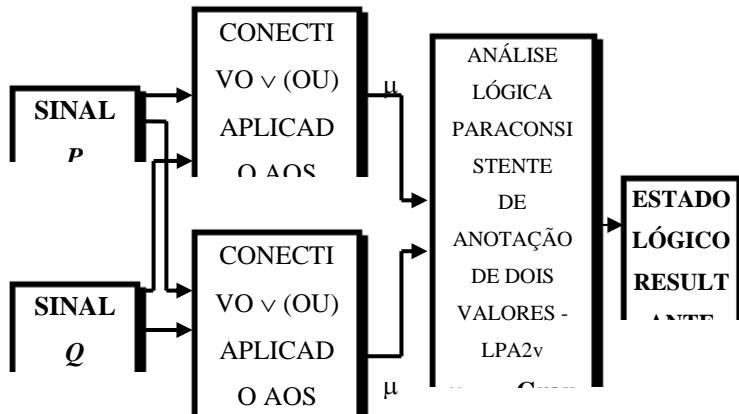


Figura 2.23 - Representação dos procedimentos para se obter a função do conectivo \vee (OU) na LPA2v.

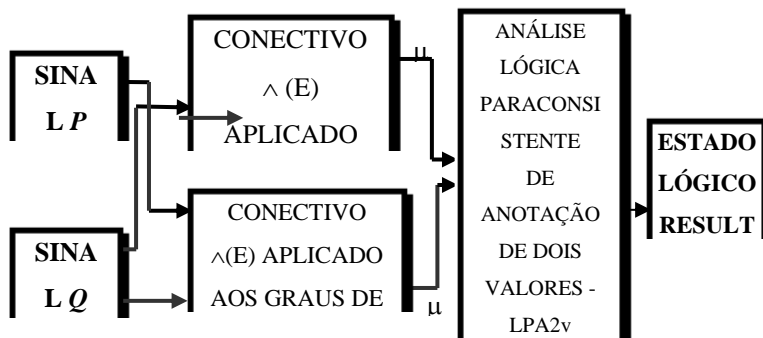


Figura 2.24 - Representação dos procedimentos para se obter a função do conectivo \wedge (E) na LPA2v.

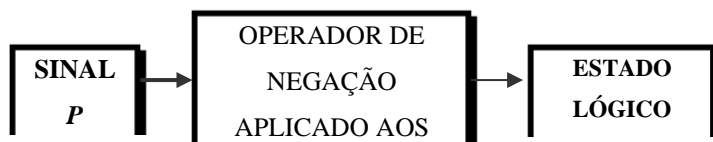


Figura 2.25 - Representação dos procedimentos para se obter o operador de negação da LPA2v.

Pode-se notar o quanto simplifica a aplicação dos conectivos e do operador de negação partindo dos procedimentos expostos acima.

2.3 - COMENTÁRIOS

Neste capítulo estudou-se o reticulado associado à lógica paraconsistente anotada de dois valores -LPA2v descrito através do quadrado unitário do plano cartesiano -QUPC com valores de *graus de crença e de descrença* analógicos. O QUPC pode ser delimitado por regiões relacionadas com estes *graus de crença e de descrença* de forma a resultar os *estados lógicos de saída* de um ponto qualquer.

Trabalhando com estas regiões definiram-se os novos pontos notáveis: V- Verdadeiro, F - Falso, T - Inconsistente, \perp - Paracompleto, I - Indefinido e também os *quase estados*.

Definiram-se também os *Graus de Incerteza e de Certeza* para nos proporcionar uma melhor visualização do QUPC e das delimitações dos *estados extremos e não - extremos* dos sinais de saída. Com estes graus adota-se os *Valores de controle de limite* que podem ser ajustados de forma a mudar as características do reticulado dos valores dos graus de certeza e de incerteza, no intervalo fechado $[-1, 1]$. Estes ajustes otimizam e melhoram o controle de sistemas que utilizam a lógica paraconsistente anotada de dois valores - LPA2v.

Discutiu-se a aplicação do operador de negação e dos conectivos de disjunção e de conjunção na lógica paraconsistente anotada de dois valores e pode-se concluir que para inserir um *Operador de Negação* na LPA2v basta descontar da unidade (1) os valores dos sinais de crença e de descrença, com esta mudança todos os *estados lógicos resultantes de saída* estarão *logicamente negados* e que: Na lógica paraconsistente anotada de dois valores, para se obter uma negação lógica nos estados lógicos resultantes de saída, basta mudar a polaridade (positivo, negativo) do sinal dos graus de incerteza e de certeza e fazer a análise paraconsistente nos sinais.

Já em relação aos conectivos de disjunção e de conjunção o que se fez foi um procedimento de *Maximização* e de *Minimização* dos valores dos *graus de crença e de descrença* entre as proposições estudadas, de acordo com as regras apresentadas anteriormente, que se torna dispensável a elaboração de Tabelas Verdades.

O objetivo da aplicação dos métodos apresentados é que os mesmos possibilitam uma extensão da lógica clássica, quer dizer: Se as proposições com as quais trabalhamos forem *bem comportada* toda fórmula válida no cálculo clássico deve continuar inalterada, o que foi observado na Tabela Verdade 1.

CAPÍTULO 3

EXTENSÃO DA LPA2v PARA LPA3v

3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo estende-se a LPA2v para Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores, com a introdução de um terceiro grau interpretado como *Grau de Especialidade* e . Estes estudos têm como referência básica, a comunicação entre o Professor Décio Krause, da Universidade de Santa Catarina, e o Professor Newton C. A. da Costa, da Universidade de São Paulo [Krause e Da Costa, 02].

Com a anotação do *Grau de Especialidade* os problemas passam a serem descritos de uma forma mais realista, uma vez que, a opinião de um especialista pode ser decisiva na avaliação de um sistema.

Este capítulo está dividido da seguinte forma: na seção 3.2 aborda-se considerações da lógica paraconsistente anotada de três valores - LPA3v, na seção 3.3 delimita-se às regiões do cubo analisador unitário, na seção 3.4 interpretam-se as regiões que compõem o cubo analisador unitário, na seção 3.5 apresenta-se o método de obtenção do grau de especialidade a partir dos graus de crença e de descrença, na seção 3.6 implementa-se o algoritmo "Para - Especialista" e seu fluxograma. Encerra-se o capítulo na seção 3.7 com alguns comentários referentes ao estudo realizado.

3.2 - CONSIDERAÇÕES DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES - LPA3v

Partindo da interpretação do Quadrado Unitário da Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores pode-se introduzir ao plano formado pelos *Graus de Crença e de Descrença* um eixo perpendicular, que é interpretado como *Grau de Especialidade*, e , desta forma estende-se a LPA2v para LPA3v.

Os valores de e variam no intervalo real fechado $[0,1]$.

A partir de agora, interpreta-se um ponto obtido de uma tripla ordenada (μ_1, μ_2, e) plotado no Cubo analisador unitário.

A figura 3.1 exibe o Cubo analisador unitário.

(a) Para o plano $e = 1$, tem-se o Grau de Especialidade Máximo, denominado *Especialista*.

(b) Para o plano $e = 0$, tem-se o Grau de Especialidade Mínimo, denominado *Neófito*.

(c) Para os planos intermediários, têm-se Graus de Especialidades que variam no intervalo aberto $(0, 1)$.

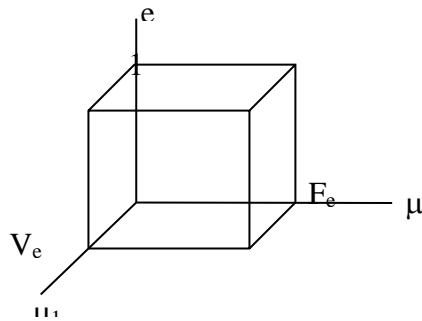


Figura 3.1 - Cubo analisador unitário.

Dos *especialistas*, espera-se tomadas de decisões coerentes e determinadas, com o mínimo de indecisões ou desconhecimento de causa ou ainda inconsistências, de forma que um *grande especialista* comporte-se de acordo com a "lógica clássica", falando grosseiramente. Desta forma permiti-se apenas duas situações, que são denominadas de V_e e F_e , isto é, estado de Verdade e Falso relativo ao Especialista e , na tomada de decisão, ou respectivamente Diagnóstico x (D_x) ou Diagnóstico y (D_y), para facilitar a linguagem em tomadas de decisões.

Dos *neófitos*, face à sua inexperiência, admite-se posições contraditórias, indeterminadas, corretas ou incorretas, enfim permite-se todos os estados aos *neófitos*, e à medida que vão ganhando experiência, aproximando-se dos *especialistas*, seu comportamento tende a se tornar mais próximo do "clássico", sendo este o limite.

De acordo com esta análise pode-se então determinar novos pontos notáveis no Cubo Unitário, conforme figura 3.2.

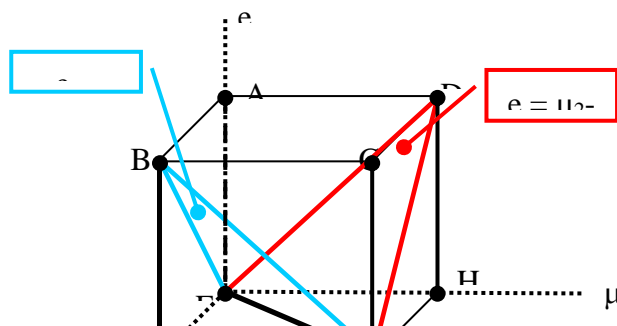


Figura 3.2 - Pontos Notáveis do Cubo Analisador Unitário.

Ponto A = (0,0,1) ⇒ Especialista com informações paracompletas,	\perp ;
Ponto B = (1,0,1) ⇒ Especialista optando pelo diagnóstico referente ao eixo x,	Dx ;
Ponto C = (1,1,1) ⇒ Especialista com informações inconsistentes,	T ;
Ponto D = (0,1,1) ⇒ Especialista optando pelo diagnóstico referente ao eixo y,	Dy ;
Ponto E = (0,0,0) ⇒ Neófito com informações paracompletas,	\perp ;
Ponto F = (1,0,0) ⇒ Neófito optando pelo diagnóstico referente ao eixo x,	Dx ;
Ponto G = (1,1,0) ⇒ Neófito com informações inconsistentes,	T ;
Ponto H = (0,1,0) ⇒ Neófito optando pelo diagnóstico referente ao eixo y,	Dy ;
Plano e = $\mu_1 - \mu_2$ ⇒ Plano Limite do caso clássico, Dx;	

Os pontos que estão abaixo deste plano e limitado pelo cubo são pontos que determinam o diagnóstico referente ao eixo x, os pontos acima estão em "Região Tendenciosa";

Plano e = $\mu_2 - \mu_1$ ⇒ Plano Limite do caso clássico, Dy;

Os pontos que estão abaixo deste plano e limitado pelo cubo são pontos que determinam o diagnóstico referente ao eixo y, os pontos acima estão em "Região Tendenciosa".

Com estas novas definições nota-se que se pode encontrar outras retas, outros planos e regiões do cubo unitário e dar-lhes interpretações adequadas, que será feito na próxima seção.

Contudo, se restringir ao par (μ_1, μ_2) , observa-se que o resultado dos estudos realizados no capítulo anterior referente à LPA2v, é um caso particular de *Grau de*

Especialidade $e = 0.5$, visualizado na figura 3.3, de modo que todas as considerações analisadas podem ser expandidas de acordo com o acréscimo ou decréscimo do Grau de Especialidade.

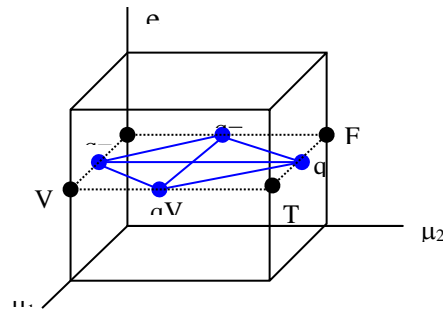


Figura 3.3 - Representação da LPA3v, para $e = 0.5$.

3.3 - DELIMITAÇÕES DE REGIÕES NO CUBO ANALISADOR UNITÁRIO

Analisando o cubo unitário pode-se determinar regiões que facilitarão na determinação do comportamento assumido em futuras tomadas de decisões. Por exemplo, de acordo com a figura 3.4, delimita-se o cubo unitário em *Regiões de Diagnóstico*.

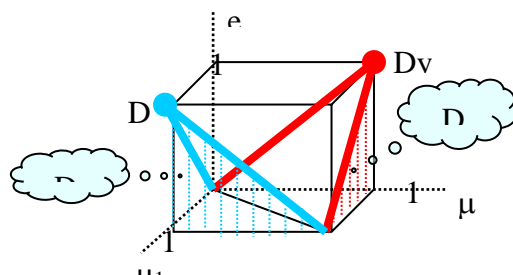


Figura 3.4 - Representação das Regiões de Diagnósticos.

As regiões hachuradas representam regiões bem definidas, já que contém pontos que permitem interpretações que conduzem a determinação de diagnósticos não tendenciosos.

Com efeito, o ponto (1,0,1), no plano $e = 1$, pode ser interpretado como indicação de um Especialista decidindo-se por um diagnóstico referente ao eixo x, Dx.

Ao passo que, no plano $e = 0$, para pontos limitados pela diagonal $\mu_1 = \mu_2$ e pelo eixo x, pode ser interpretado como sendo um neófito decidindo pelo diagnóstico Dx; sendo a maior região referente à Dx devido, exatamente, à falta de experiência do neófito. Conforme o grau de especialidade for crescendo a região para o Dx vai se restringindo até chegar no ponto (1,0,1) analisado acima.

Na figura 3.5, delimita-se o cubo unitário em *Regiões Inconsistente e Paracompleta*.

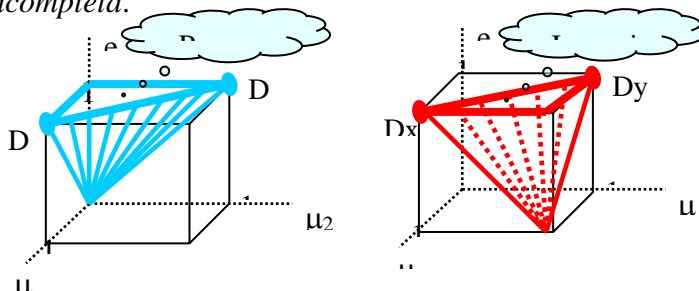


Figura 3.5 - Representação das Regiões Inconsistentes e Paracompleta.

As regiões acima representam *Regiões Inconsistente e Paracompleta*, regiões problemáticas já que contém pontos que permitem as interpretações 'Inconsistente e Paracompleta'. Pontos próximos a (0,0,1) e a (1,1,1) podem ser interpretados como indicando um Especialista Paracompleto e Inconsistente, respectivamente. Neste plano, $e = 1$, aos especialistas somente será permitido um dos pontos (1,0,1) ou (0,1,1), que são respectivamente diagnóstico x, Dx ou diagnóstico y, Dy.

Note-se que como se admite em princípio que o neófito possa ter opiniões contraditórias, os pontos (0,0,0) e (1,1,0) ficam fora das regiões inconsistente e paracompleta.

3.4 - INTERPRETAÇÕES DO CUBO ANALISADOR UNITÁRIO

Nesta seção analisam-se cinco situações diferentes, ou seja, cinco planos diferentes para a coordenada e , ou ainda, analisam-se opiniões de cinco especialistas diferentes. Isso feito, pode-se fornecer uma generalização para uma interpretação do Cubo analisador unitário.

A primeira situação a ser analisada é a situação do topo do cubo unitário seguindo em direção a sua base, conforme figura 3.6.

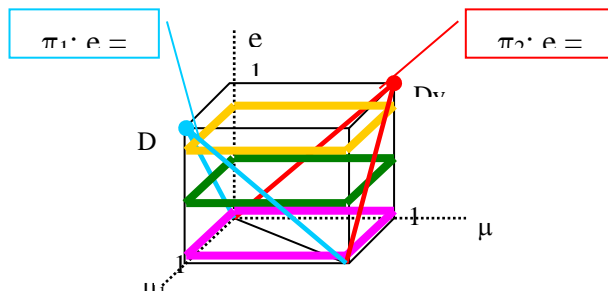


Figura 3.6 - Representação dos diferentes Graus de Especialidade.

Para a situação de $e = 1$, tem-se a seguinte análise das regiões, de acordo com a figura 3.7.

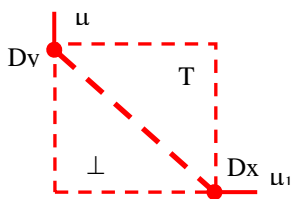


Figura 3.7 - Análise para $e = 1$.

Como foi discutido anteriormente, para um Especialista de grau $e = 1$, espera-se tomadas de decisões coerentes, sem indecisões ou desconhecimento de causa, ou ainda inconsistências de qualquer tipo, enfim espera-se um *grande especialista* decidindo somente entre dois diagnósticos Dx ou Dy , ou respectivamente os pontos $(1,0,1)$ ou $(0,1,1)$. Portanto, as Regiões Inconsistente e Paracompleta tornam-se máximas.

Para um Especialista de grau $e = 0.8$, de acordo com a figura 3.8, observa-se que as Regiões de Diagnósticos crescem e que as Regiões Inconsistente e Paracompleta diminuem, surgindo os pontos notáveis propostos no capítulo anterior e com eles as Regiões de Tendências. A este especialista as exigências são menos rigorosas quando comparadas com um especialista de grau $e = 1$.

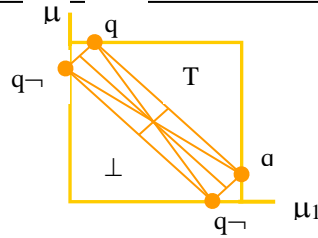


Figura 3.8 - Análise para $e = 0.8$.

Um Especialista de grau $e = 0.5$, é um caso particular, exatamente a situação estudada ao longo do capítulo anterior, de forma que as regiões delimitadas são as mesmas. Pode-se observar pela figura 3.9, que as Regiões de Diagnósticos, Inconsistente e Paracompleta são iguais, enquanto que as Regiões de Tendências chegam no máximo do crescimento, sendo todas iguais. Os pontos notáveis tendem a deslocar para as posições do ponto Inconsistente e do ponto Paracompleto.

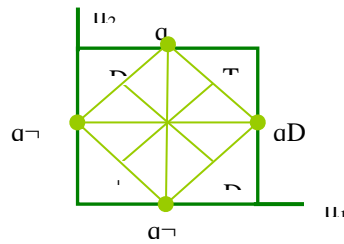


Figura 3.9 - Análise para $e = 0.5$.

Um Especialista de grau $e = 0.1$, é um especialista com pouca experiência, mas podendo ainda sofrer algumas cobranças no que se refere a tomadas de decisões coerentes e/ou sem inconsistências, este especialista tem condições, mesmo que pouca, de opinar por diagnósticos certos. As Regiões Inconsistente e Paracompleta ficam mais restritas, crescem as Regiões dos Diagnósticos, e as Regiões de Tendências decrescem. Os pontos notáveis ficam mais próximos do pontos Inconsistente e Paracompleto, conforme figura 3.10.

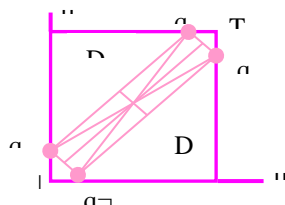


Figura 3.10 - Análise para $e = 0.1$.

Analisando a última situação, de um Neófito cuja especialidade tem grau $e = 0$, para o neófito tudo lhe é permitido, não tendo restrições. Diante de sua inexperiência, admitem-se posições de Inconsistência, Paracompleta e/ou Indeterminada. Percebe-se, da figura 3.11 que as Regiões de Diagnósticos chegaram no máximo e as Regiões Inconsistente e Paracompleta se tornaram pontos bem definidos, $(0,0,0)$ ou estado Paracompleto e $(1,1,0)$ ou estado de Inconsistência, conforme capítulo anterior. Os pontos notáveis também se resumem nestes mesmos pontos.

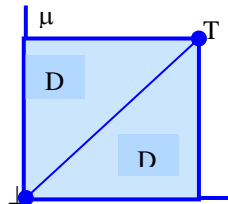


Figura 3.11 - Análise para $e = 0$.

3.5 - MÉTODO DE OBTENÇÃO DO GRAU DE ESPECIALIDADE A PARTIR DOS GRAUS DE CRENÇA E DE DESCRENÇA

Nesta seção será analisada a obtenção do grau de especialidade na Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v, ou seja, no Cubo analisador unitário, a partir dos graus de crença e de descrença.

Foi visto na seção 3.2 que os planos $\pi_1: e = \mu_1 - \mu_2$ e $\pi_2: e = \mu_2 - \mu_1$, relacionam matematicamente os Graus de Crença, Descrença e de Especialidade, de forma que podemos analisar como estes três Graus se comportam no Cubo Unitário.

Supondo dada uma proposição P , composta pelos *Graus de Crença*, μ_1 e de *Descrença*, μ_2 , de forma que resulte em um ponto localizado em uma região delimitada pela LPA2v, ou seja, no plano $\mu_1\mu_2$, para encontrar o valor do *Grau de Especialidade*

para a proposta P , traça-se uma reta paralela ao eixo das especialidades partindo dos valores de μ_1 e de μ_2 . A intersecção da reta r com um dos planos π_1 ou π_2 do cubo unitário, fixa um plano \underline{e} qualquer, paralelo ao plano $e=0$, determina-se assim o valor do *Grau de Especialidade* da LPA3v. Na figura 3.12 é mostrado claramente o método de obtenção do Grau de Especialidade da LPA3v.

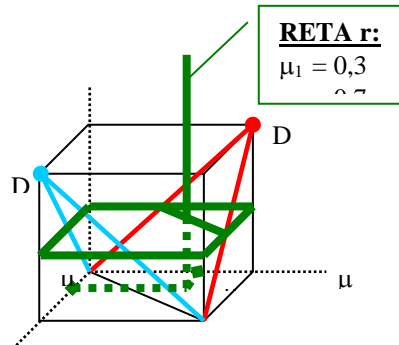


Figura 3.12 - Obtenção do Grau de Especialidade da LPA3v.

Representando os procedimentos para se obter o Grau de Especialidade na Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v, conforme a figura 3.13 abaixo.

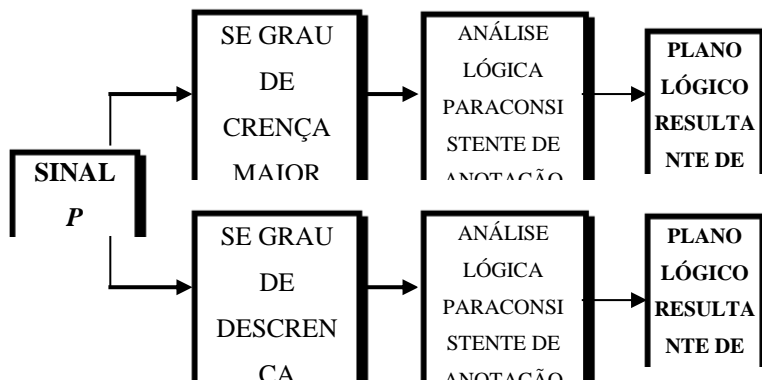


Figura 3.13 - Representação dos procedimentos para se obter Plano Lógico Resultante de Saída na LPA3v.

3.6 - IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO 'PARA-ESPECIALISTA-LISTA'

Descritas as regiões do Cubo analisador unitário nas seções anteriores, torna-se viável elaborar um algoritmo com o objetivo de efetuar a implementação da LPA3v em linguagem computacional.

Visando os estudos dos comportamentos em Sistemas Especialistas, baseado na LPA3v, o algoritmo construído pela descrição do Cubo Unitário permite a elaboração de programa computacional para aplicações práticas e proporcionar simulações de diferentes situações. Este algoritmo baseado na LPA3v será denominado neste trabalho de 'Para-Especialista'.

As variáveis e grandezas são detalhadas a seguir.

No Cubo Unitário foram considerados os *estados lógicos extremos*:

\perp	\Rightarrow	Paracompleto;
T	\Rightarrow	Inconsistente;
Dx	\Rightarrow	Diagnóstico referente ao eixo x;
Dy	\Rightarrow	Diagnóstico referente ao eixo y;

Os *estados lógicos não - extremos*:

$\perp \rightarrow q \neg Dx$	\Rightarrow	Paracompleto tendendo ao quase- não- Diagnóstico x;
$\perp \rightarrow q \neg Dy$	\Rightarrow	Paracompleto tendendo ao quase- não- Diagnóstico y;
$T \rightarrow q Dx$	\Rightarrow	Inconsistente tendendo ao quase- Diagnóstico x;
$T \rightarrow q Dy$	\Rightarrow	Inconsistente tendendo ao quase- Diagnóstico y;
$Dx \rightarrow q Dx$	\Rightarrow	Diagnóstico x tendendo ao quase- Diagnóstico x;
$Dx \rightarrow q \neg Dy$	\Rightarrow	Diagnóstico x tendendo ao quase- não- Diagnóstico y;
$Dy \rightarrow q Dy$	\Rightarrow	Diagnóstico y tendendo ao quase- Diagnóstico y;
$Dy \rightarrow q \neg Dx$	\Rightarrow	Diagnóstico y tendendo ao quase- não- Diagnóstico x;
I	\Rightarrow	Indefinido.

Valores das grandezas de entrada:

$\mu_1 \Rightarrow$ Grau de Crença;

$\mu_2 \Rightarrow$ Grau de Descrença;

É necessário definir, neste momento, a sensibilidade “s”, que tem como objetivo variar o Grau de Especialidade para se fazer uma análise comparativa entre os diferentes Graus de Especialidade.

$D_x \Rightarrow$ Diagnóstico referente ao eixo x;

$D_y \Rightarrow$ Diagnóstico referente ao eixo y.

Valores das grandezas que se relacionam:

$e \Rightarrow$ Grau de Especialidade gerado:

$e_1 \Rightarrow$ Grau de Especialidade Um, gerado a partir de e.

$e_2 \Rightarrow$ Grau de Especialidade Dois, gerado a partir de e.

$GC \Rightarrow$ Grau de Certeza:

$GI \Rightarrow$ Grau de Incerteza:

As Grandezas de controle:

V_{scc} - Valor superior de controle de certeza;

V_{icc} - Valor inferior de controle de certeza;

V_{sci} - Valor superior de controle de incerteza;

V_{ici} - Valor inferior de controle de incerteza.

Com as grandezas definidas é apresentado o algoritmo para implementação em programa computacional conveniente.

3.6.1 - ALGORITMO PARA-ESPECIALISTA / LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES

Definições dos valores:

$V_{scc} = C1$ Definição do valor superior de controle de certeza;

$V_{icc} = C2$ Definição do valor inferior de controle de certeza;

$V_{sci} = C3$ Definição do valor superior de controle de incerteza;

$V_{ici} = C4$ Definição do valor inferior de controle de incerteza.

Grandezas de entrada:

$\mu_1 \Rightarrow$ Grau de Crença;

$\mu_2 \Rightarrow$ Grau de Descrença;

$s \Rightarrow$ Sensibilidade necessária para variar o valor do Grau de Especialidade;

$D_x \Rightarrow$ Diagnóstico referente ao eixo x;

$D_y \Rightarrow$ Diagnóstico referente ao eixo y.

Grandezas de saída:

$D_{ge} \Rightarrow$ Diagnóstico do especialista;

$D_{ge1} \Rightarrow$ Diagnóstico do especialista um;

Dge2 ⇒ Diagnóstico do especialista dois.

1 - Cálculo do nível do especialista:

Com os valores de μ_1 e μ_2 , traça-se a reta r paralela ao eixo de e.

Faz-se a intersecção da reta r com um dos planos $\pi_1: e = \mu_2 - \mu_1$ ou $\pi_2: e = \mu_1 - \mu_2$.

2 - Cálculo dos Pontos Notáveis para e:

Determinar os pontos notáveis através do QUPC da LPA2v:

3 - Cálculo do Grau de Certeza(GC) e Incerteza(GI) e seus respectivos valores de controle:

Determinar o Grau de Certeza e Grau de Incerteza através das equações:

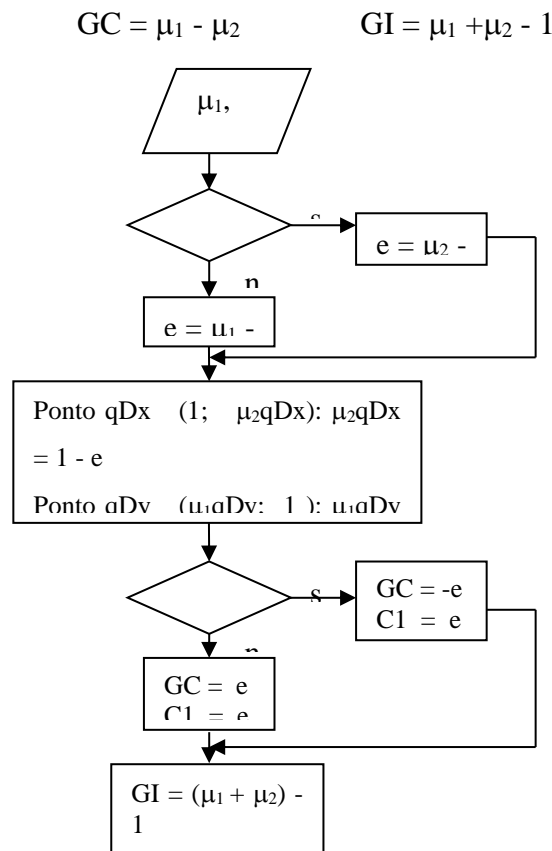


Figura 3.14 - Fluxograma do Cálculo de e, dos Pontos Notáveis para e, do Grau de Certeza e de Incerteza do Para - Especialista.

4 - Determinação dos Estados ou dos Diagnósticos;

De acordo com a figura 3.15 abaixo, as regiões do QUPC estão discriminadas para facilitar a visualização do algoritmo "Para - Especialista".

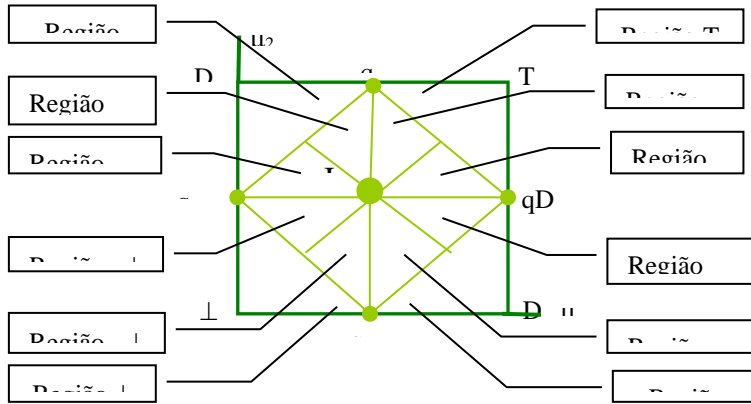


Figura 3.15 - Definição das Regiões para o algoritmo Para - Especialista.

4.1 - Determinação dos Estados Extremos;

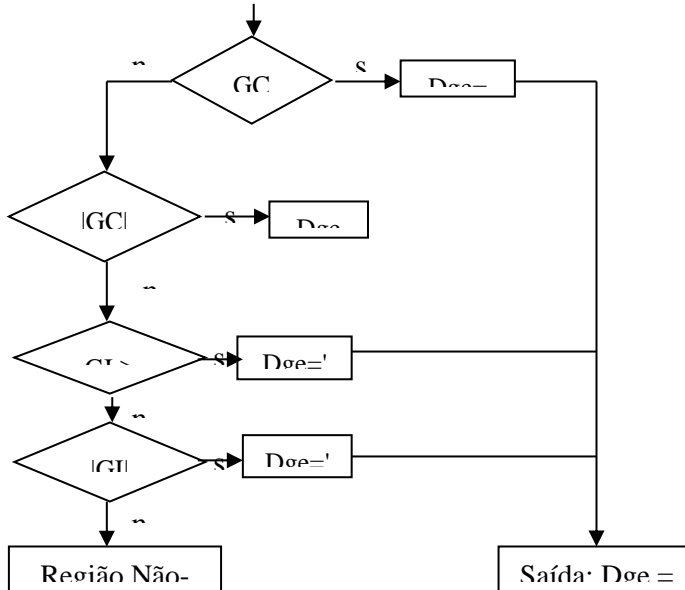


Figura 3.16 - Fluxograma de Determinação dos Estados Extremos.

4.2 - Determinação dos Estados Não- extremos :

Determinação do Ponto de Indeterminação para $\mu_1 = \mu_2 = 0,5$.

Determinação dos estados das regiões $DxqDx$ e $TqDx$, referentes ao ponto qDx .

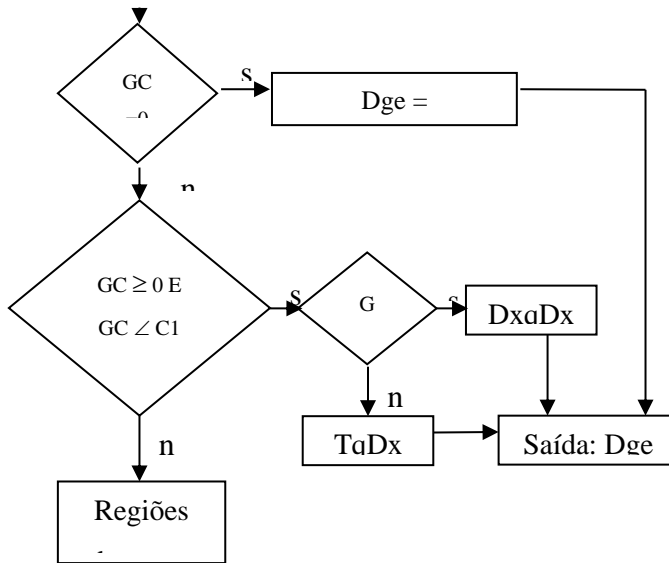


Figura 3.17 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto qDx .

Determinação dos estados das regiões $DxqDy$ e $TqDy$, referentes ao ponto qDy .

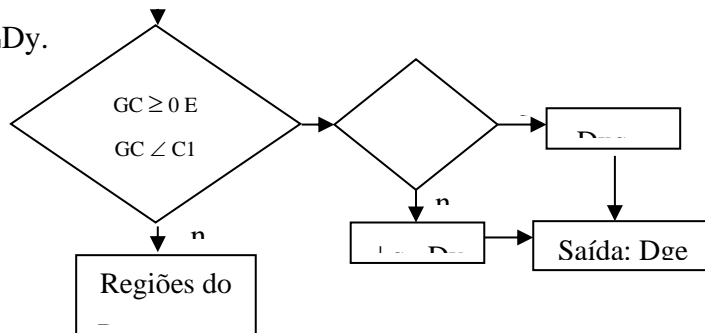


Figura 3.18 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto qDy .

Determinação dos estados das regiões $Dyq \rightarrow Dx$ e $\perp q \rightarrow Dx$, referentes ao ponto $q \rightarrow Dx$.

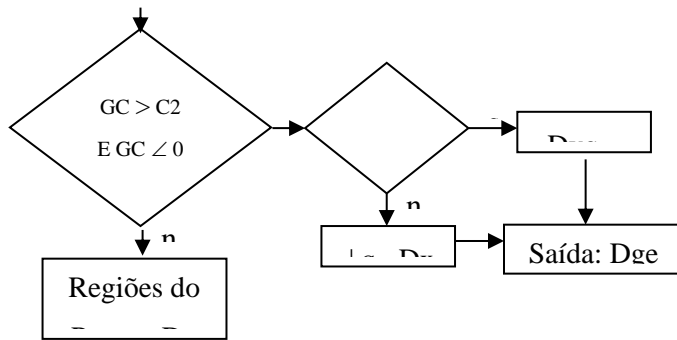


Figura 3.19 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto $q \rightarrow Dx$.

Determinação dos estados das regiões $DyqDy$ e $TqDy$, referentes ao ponto qDy .

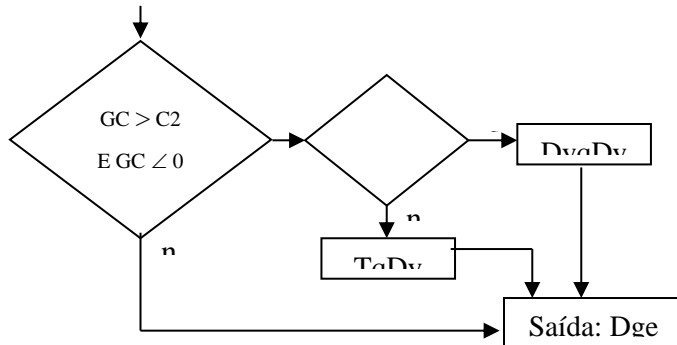


Figura 3.20 - Fluxograma de Determinação dos Estados Não - Extremos na Região referente ao ponto qDy .

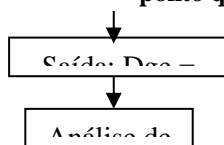
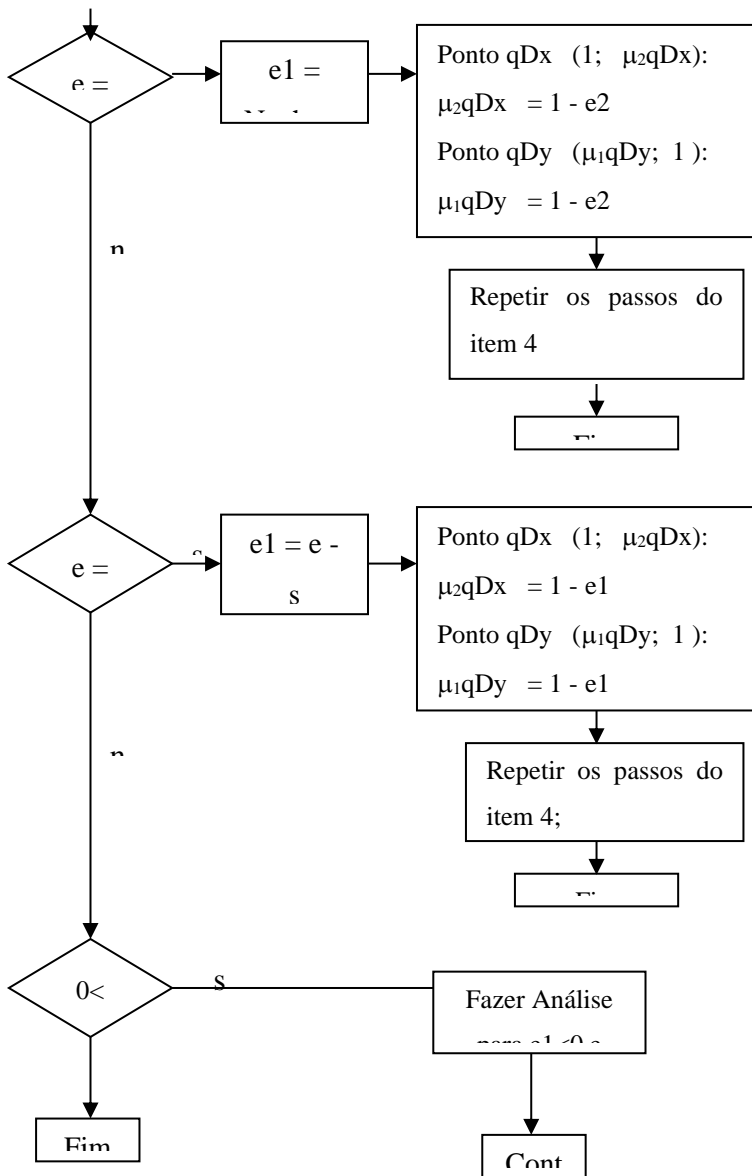


Figura 3.21 - Saída do Diagnóstico.

5 - Análise feita para as variações de e:



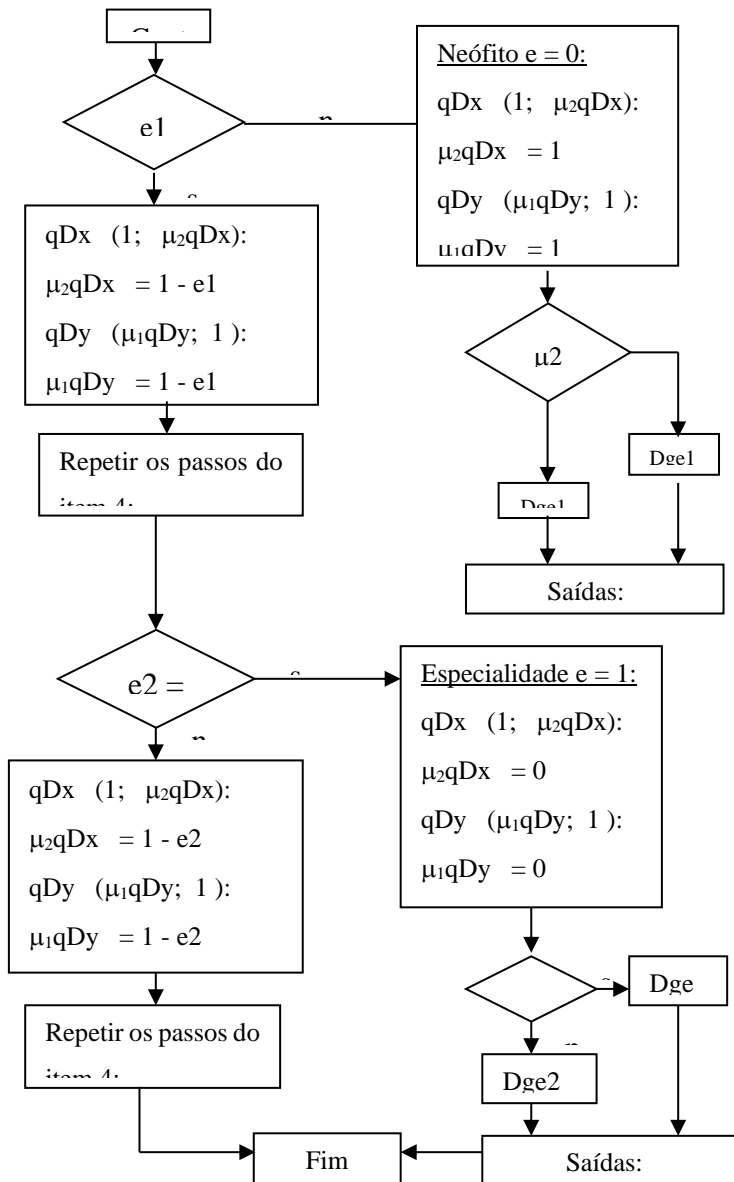


Figura 3.22 - Análise do comportamento de e, e1,e2.

3.7 - COMENTÁRIOS

Neste capítulo estudou-se o cubo analisador unitário associado à lógica paraconsistente de três valores - LPA3v descrito a partir do reticulado associado à lógica paraconsistente de dois valores - LPA2v. Com os valores dos graus de crença e de descrença da LPA2v encontra-se o valor do terceiro grau, o de *especialidade*.

O cubo unitário pode ser delimitado por regiões relacionadas com os três graus, resultando em *estados lógicos de saída* de um ponto qualquer.

Trabalhando com estas regiões definiram-se as regiões de Diagnóstico, Paracompleta e Inconsistente, além das regiões tendenciosas que se localizam no interior do cubo unitário, sendo envolvidas pelas regiões externas citadas acima.

Observou-se que os quase-pontos notáveis se deslocam dos vértices da Linha Perfeitamente Consistente - LPC até aos vértices da Linha Perfeitamente Inconsistente - LPI. Desta forma as regiões de Diagnósticos Dx e Dy, partem de dois pontos (1,0,1) e (0,1,1), respectivamente, para um grau de especialidade máximo, $e = 1$, até chegar no máximo das regiões, para um grau de especialidade mínimo, $e = 0$, Neófito. Em relação às regiões Paracompleta e Inconsistente, o procedimento se torna o inverso, partindo das regiões máximas, com $e = 1$, para finalmente se encontrar nos pontos Paracompleto e Inconsistente, (0,0,0) e (1,1,0), respectivamente, com $e = 0$, ressaltando que para um Neófito tudo lhe é permitido, portanto os estados paracompleto e inconsistente não são considerados, somente nesta situação.

Discutiu-se a aplicação do método de obtenção do grau de especialidade na Lógica Paraconsistente de Três Valores - LPA3v, a partir dos graus de crença e de descrença.

Após estes passos, tornou-se viável a elaboração do algoritmo "Para-Especialista", e sua representação através de fluxogramas.

O algoritmo "Para- Especialista" permite obter opiniões de três especialistas sobre um assunto específico, ou seja, permite obter três graus diferentes de especialidade partindo do conhecimento dos graus de crença e de descrença em relação ao assunto. De forma poder decidir entre dois ou mais diagnósticos referente ao assunto em discussão.

CAPÍTULO 4

RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS (RBC)

4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos capítulos anteriores foram propostas novas interpretações da Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores - LPA2v e como conseqüência sua extensão para Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores, parte fundamental desta tese.

De posse destes conhecimentos, pode-se modelar a implementação de um sistema inteligente usando uma lógica que seja mais abrangente no que se refere em trabalhar com inconsistências, indefinições, com conhecimentos parciais e com conhecimentos especialistas, o que venha ser um dos objetivos desta tese.

O sistema escolhido para efetuar esse trabalho nessas condições é um sistema de raciocínio baseado em casos (RBC).

Raciocínio baseado em casos é um sistema que tem como processo fundamental uma *recuperação de casos* de uma memória, na qual se encontram armazenados um grande número de casos. O *caso* mais adequado à nova situação é recuperado, de forma a sugerir uma solução da nova situação ou sugerir uma adaptação do caso recuperado, como solução da nova situação.

Torna-se necessário fazer uma revisão dos princípios desse sistema de raciocínio. Para tal, este capítulo se divide em seções da seguinte forma: a seção 4.2 consta de uma explicação sucinta do processo funcional de um sistema de raciocínio baseado em casos (RBC); a seção 4.3 aborda os processos e a execução de um raciocínio no projeto da solução de casos; a seção 4.4 apresenta um estudo específico de raciocínio baseado em casos; a seção 4.5 destaca algumas vantagens e desvantagens de um RBC, a seção 4.6 apresenta uma avaliação de funções de recuperação de casos, a seção 4.7 aborda sobre a estrutura do Protótipo Recuperador do RBC, a seção 4.8 apresenta uma aplicação do Protótipo Recuperador na determinação de diagnósticos, encerrando o capítulo com alguns comentários.

4.2 - RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS (RBC)

Raciocínio baseado em casos representa a adaptação de soluções antigas em novas, usando casos antigos para explicar novas situações, criticar novas soluções ou raciocinando a partir de interpretações precedentes a uma nova situação ou ainda criar uma solução apropriada ao novo problema [Kolodner, 93], [Schank, 82].

Este sistema propõe um modelo de raciocínio que incorpora a resolução de problemas, entendendo, aprendendo e integrando com o processo de memória.

Resumidamente, as seguintes premissas enfatizam o modelo:

- Referir a casos antigos é vantajoso quando se opera com situações que repetem;
- Entender ou interpretar uma situação, é uma parte no ciclo do raciocínio, a qual requer que uma situação seja elaborada com detalhes, clareza suficiente e com vocabulário que permite o raciocínio reconhecer o conhecimento necessário;
- Adaptar a antiga solução para a forma da nova;
- Conseqüência natural do raciocínio baseado em casos (RBC) é o aprendizado de ocorrências;
- Ciclo do raciocínio e aprendizado é a recuperação e análise de casos.

Essas premissas sugerem que a qualidade do *raciocinador* dependa de cinco itens:

- a) Experiências;
- b) Habilidade;
- c) Adaptação;
- d) Avaliação;
- e) Integração.

a) - Experiências

É essencial que um raciocínio baseado em casos comece com um conjunto representativo de casos, e que o mesmo execute os objetivos do raciocínio, de tal forma que na execução dos objetivos ocorra tentativas com sucessos e com falhas. As tentativas com sucesso são usadas para propor a solução para o novo caso, enquanto que as tentativas com falhas são usadas para avisar o potencial da falha.

b) - Habilidade

A habilidade em entender um novo problema em termos de experiências antigas se divide em duas partes:

- 1ª) Recuperação de experiências antigas ou Problema Indexado -

Significa determinar *índices* (indexar) para as experiências armazenadas na memória, a partir do qual podem ser recuperadas sob circunstâncias apropriadas. A recuperação de casos apropriadamente é o núcleo do raciocínio baseado em casos.

2ª) Interpretação da nova situação em termos da recuperação de experiências -

É um processo de comparação entre a nova situação com as experiências recuperadas. O resultado desta comparação é uma interpretação da nova situação, a adição do conhecimento inferido sobre a nova situação, ou uma classificação da nova situação. Quando as soluções dos problemas são comparadas às antigas soluções, o raciocínio ganha um entendimento em relação ao que está fazendo em particular. O processo de interpretação é usado quando os problemas não são bem entendidos, portanto, existe a necessidade de criticar a solução. Quando o problema está bem entendido, a necessidade da interpretação se torna mínima.

c) - Adaptação

É um processo de determinação de uma solução antiga para a nova situação.

São identificados nove métodos de adaptação. Eles são usados para inserir alguma novidade em soluções antigas, apagar informações ou fazer substituições.

d) - Avaliação

São importantes contribuidores para o Raciocínio Baseado em Casos. A avaliação é feita sob o contexto de resultados de outros casos similares. Pode ser baseada no retorno da resposta ou pode ser baseada na simulação da resposta.

e) - Integração

A execução do raciocínio baseado em casos se desenvolve em dois caminhos: *mais eficiente e mais competente*.

No caminho *mais eficiente*, a lembrança de soluções antigas e a adaptação das mesmas são realizadas antes de obter a resposta da nova situação. Se o caso foi adaptado em novo caminho, se ele foi resolvido usando outro método, ou se ele foi resolvido pela combinação de soluções de vários casos, então, quando ele é recuperado durante o processo do raciocínio, os passos requeridos para sua solução não necessitarão de ser repetidos para o novo problema.

No caminho *mais competente*, as melhores respostas derivam de menores experiências. A beleza do raciocínio baseado em casos está na ajuda ao raciocinador em antecipar e evitar erros cometidos no passado. Isto é possível porque o raciocinador pode indexar as características de problemas, o que prediz seus erros passados. Lembrando tais

casos durante o processo de raciocínio, é fornecido um aviso de problemas que já tenham acontecidos, e o raciocinador pode trabalhar evitando-os.

Em Inteligência Artificial, quando se fala em aprendizado, isto significa "aprender de generalizações", ou através de indução ou através de explicação baseada em significados. Apesar da memória do raciocínio baseado em casos avisar das similaridades entre os casos e poder avisar quando generalizações seriam formadas, formações indutivas de generalizações são responsáveis por somente alguns dos aprendizados no raciocínio baseado em casos, já que ele realiza mais dois outros caminhos:

- Acumulação de novos casos;
- Determinação de índices.

Novos casos fornecem ao raciocínio, contextos adicionais familiares para a resolução de problemas ou avaliação de situações. O domínio é um fator importante, já que aquele raciocínio que tiver maior domínio será melhor do que aquele que tiver menor domínio. Os casos que abrangem sucessos e falhas são melhores do que aqueles que só abrangem os sucessos. Novos índices permitem ao raciocínio recuperar "aparatus" a partir da lembrança de casos mais apropriados. Isto não quer dizer que a generalização não é importante. Realmente, casos do raciocínio baseados em casos encontrados fornecem a direção na criação da generalização apropriada, que são essas que podem ser úteis na tarefa. Quando vários casos são indexados no mesmo caminho e todos predizem a mesma solução ou todos podem ser classificados no mesmo caminho, o raciocínio sabe que uma generalização pode ser formada.

Raciocínio baseado em casos não é o primeiro método que combina raciocínio e aprendizado, mas é o único em fazer do aprendizado um pouco mais do que um subproduto do raciocínio. Um raciocínio baseado em casos que lembra suas experiências aprende com a razão; o retorno às experiências dá o início para a resolução de problemas.

4.3 - PROCESSOS E EXECUÇÃO DE UM RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS (RBC)

No curso geral do raciocínio, há uma tendência de interligar etapas do processo de acordo com o que for necessário, não se resolve um problema quando não está clara a situação a qual está embutida. Avalia-se a solução projetando seus resultados, podendo necessitar resolver novos problemas no curso desta avaliação.

O sistema de raciocínio baseado em casos possui dois estilos de enfocar um **caso recuperado**, primeiro estilo: quando o caso fornece sugestões de soluções dos problemas; segundo estilo: quando fornece um contexto para o entendimento de uma situação, uma solução interpretativa. Em ambos os estilos as soluções passam por um processo de avaliação.

O processo *primário* do RBC é o qual devem ser recuperados casos parcialmente combinados para facilitar o raciocínio, então denominado de Recuperação de Casos. Um processo *secundário* realiza uma Combinação Parcial dos Modelos para retornar ao processo *primário*, e finaliza com um processo denominado *processo adjunto* no qual ocorre o Armazenamento de Casos.

O ciclo do RBC é mostrado através do fluxograma seguinte:

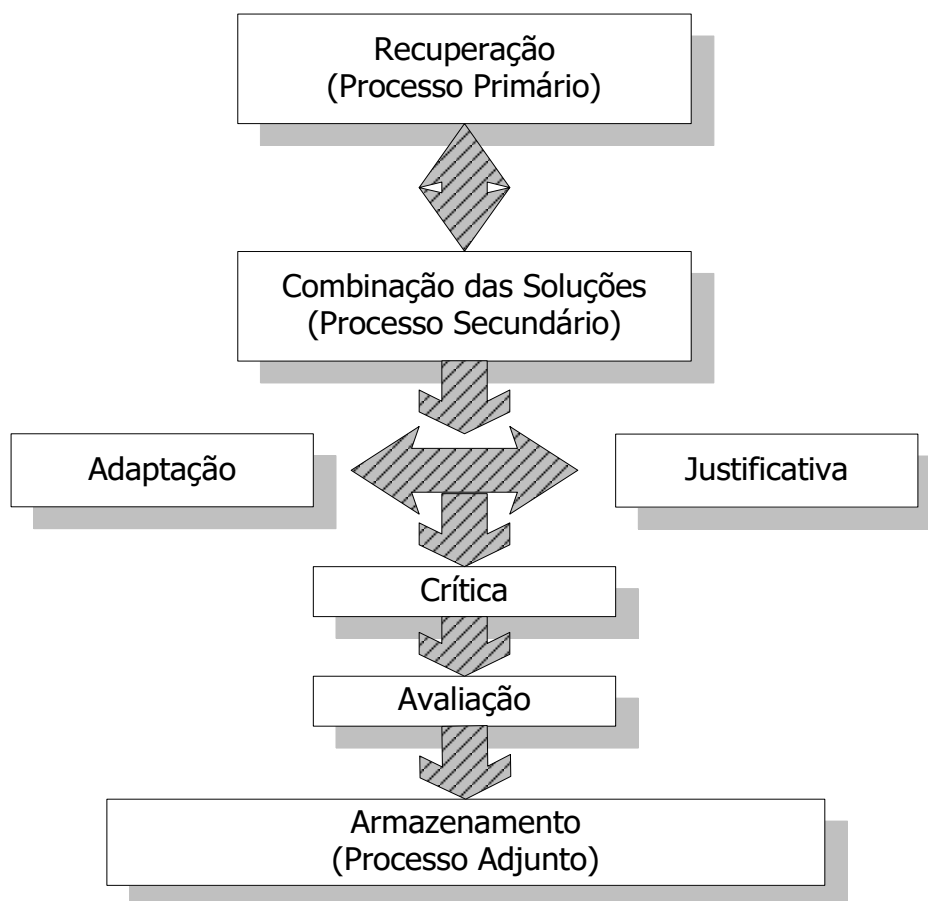


Figura 4.1 – O ciclo do Raciocínio Baseado em Casos

Abordando sucintamente cada passo, tem-se:

Recuperação de casos – Casos parcialmente combinados são recuperados;

Combinação de solução – Estratifica as soluções de casos recuperados;

Adaptação – Ajusta soluções antigas na forma da nova solução;

Crítica – Analisa a nova situação antes de tentá-la;

Justificativa – Cria um argumento para solução proposta, feita por comparação com o caso anterior;

Avaliação – Pode conduzir a uma adaptação adicional.

Quando o raciocínio não está progredindo bem, todo processo precisa ser iniciado com novo caso escolhido.

4.3.1 - RECUPERAÇÃO DE CASOS

Um processo no qual um caso ou um conjunto de casos é recuperado da memória é chamado de "recuperação de casos" e consta de dois passos:

Chamada de casos anteriores – O objetivo deste passo é recuperar *bons* casos que darão suporte ao próximo passo. *Bons* casos são aqueles que tem potencial em fazer um prognóstico relevante sobre o novo caso. A recuperação é feita pelo uso de características do novo caso como índices na biblioteca do caso, características indexadas e desta forma os casos são rotulados por subconjuntos dessas características ou por características que podem ser derivadas das mesmas.

Seleção do melhor subconjunto de características – Neste passo é selecionado o mais promissor caso ou casos gerados no passo anterior através de alguns pontos adequados às considerações feitas, algumas vezes é apropriado escolher um caso melhor, outras, um pequeno conjunto destes. É conveniente fazermos algumas considerações sobre a execução do processo de Recuperação dos casos;

A primeira consideração é dar ao computador um significado de reconhecimento que um caso é aplicado a uma nova situação, isto é chamado de *combinação ou determinação similar do problema*. Quando dois casos se parecem, isto é fácil, mas às vezes, casos que são mais aplicáveis não parecem muito similares com a nova situação, e com isto torna-se necessário aprofundar mais nos estudos para mostrar esta similaridade. Um caminho para tratar com este problema é usar mais do que somente a representação superficial do caso e comparando-os em níveis mais abstratos de representação, chamamos isto de *problema de vocabulário indexado*.

A segunda consideração a fazer é que se deve dar ao computador uma capacidade de elaboração. Às vezes, o conhecimento é pequeno a respeito da nova situação ou o conhecimento está em uma forma “crua”, grosseira para a comparação e características adicionais da situação precisam ser derivadas deste conhecimento. Chama-se isto de *problema de determinação de situação*. Os casos precisam ser julgados baseados na razão

(características derivada) em vez de valores individuais (características de superfície). A execução da recuperação de casos, aqui, está vindo de um caminho de elaboração da descrição para casos de forma que é necessário um guia na geração de características derivadas, já que torna muito cara a geração de todas as características derivadas possíveis a um caso.

Finalmente, a terceira consideração é em relação ao algoritmo de recuperação. Pergunta-se: “Como se pode pesquisar uma biblioteca maciça em um caminho eficiente para encontrar um caso apropriado?” Deve-se ter uma aproximação inicial do problema com a tentativa de encontrar estratégias organizacionais dos casos. A partir da pesquisa da referência de casos será então, limitada somente a casos relevantes. Este fato compreende o *problema de indexação*, isto tem sido endereçado à determinação de *índices* (rótulos) de caso que é designado sobre que condições cada caso pode ser usado. O programa usará a nova situação como uma chave dentro do *índice* e encontrará casos apropriados com uma melhor combinação de *índice*.

4.3.2 - COMBINAÇÃO DAS SOLUÇÕES

Neste processo, parte relevante dos casos selecionados durante a recuperação de casos é estratificada para a forma de uma combinação da nova solução (Ballpark Solution) envolvendo solução de problemas antigos ou parte deles.

Aparecem algumas questões importantes neste processo: primeiro, quais as apropriadas porções dos casos antigos podem ser selecionadas como foco? Uma questão que depende do objetivo do raciocinador, quer dizer que o foco poderá ser a própria solução do caso anterior ou parte dela, ou ainda, se o raciocínio está interpretando uma solução, então o foco será a classificação da solução do caso anterior. As características da solução ou da classificação do caso antigo também serão foco.

Segundo, quanto de trabalho fazer neste passo antes de passar para o controle da adaptação ou justificação? Adaptações podem ser feitas em soluções antigas antes de se submeter a um exame minucioso do *processo de adaptação* e em raciocínio interpretativo fazendo ajustes fáceis neste passo é mais vantajoso do que depois dos argumentos já terem sido montados.

E uma terceira questão é, o que fazer com a escolha da interpretação no raciocínio interpretativo? Tem-se a resposta certa, sem problemas por onde iniciar, então a escolha da primeira alternativa é eficiente, mas se todas as alternativas não estão conectadas no mesmo caminho, a escolha da primeira alternativa pode afetar a exatidão do processo.

4.3.3 - ADAPTAÇÃO

Nesta etapa a combinação da solução deverá ser adaptada para a forma da nova situação. Existem dois passos principais envolvidos, no primeiro deve-se imaginar ‘o que é preciso para ser adaptado’ e depois ‘fazer a adaptação’.

Para uma particular tarefa ou domínio inicia-se a adaptação com um conjunto de estratégias de adaptação. Uma outra questão a considerar é se existe um conjunto geral de estratégias de adaptação que podemos iniciar para algum domínio e que conduza a uma estratégia específica de adaptação. Para cada tipo de estratégia de adaptação, designa-se também o conhecimento necessário para esta aplicação.

As metodologias utilizadas no processo de adaptação também são importantes. Um caminho de identificação do que é necessário adaptar está na *inconsistência* entre a solução antiga e a nova

4.3.4 - RACIOCÍNIO DE AVALIAÇÃO: JUSTIFICAÇÃO E CRÍTICA

Neste passo uma solução ou interpretação é justificada. Pode-se criticar soluções usando toda técnica do raciocínio interpretativo baseado em casos, determinando quando uma solução derivada é a melhor alternativa. Isto é feito pela *comparação* e *contrastação* da solução proposta com outra similar. Este passo requer uma chamada recursiva do processo de memória da recuperação de casos com soluções similares. Por exemplo, se já existe um conhecido caso de falha na situação similar, o raciocinador deverá considerar se a nova situação está sujeita ou não aos mesmos problemas.

Pode-se propor também situações hipotéticas para testar a robustez da solução. Um outro caminho para criticar uma solução é simular soluções (ordinários ou com alta fidelidade).

O crítica pode requerer a recuperação de casos adicionais e pode resultar na necessidade de adaptações adicionais, este momento chama-se de *reparo*.

As principais execuções aqui são:

- Estratégias de avaliação usando casos;
- Estratégias de recuperação de casos para usar na interpretação, avaliação e justificação;
- A geração de situações hipotéticas apropriadas e estratégias de usá-las;
- Determinação da falha ou do crédito (crença) de casos antigos.

4.3.5 - TESTE DA AVALIAÇÃO

Neste passo, os resultados do raciocínio são experimentados no mundo real. Um retorno de situações reais que aconteceram ou como resultado da execução é obtida e analisada aqui. Se os resultados forem diferentes do esperado é necessária uma explicação que requer a determinação do que causou a anomalia e como preveni-la.

Neste passo é fornecido ao raciocinador um caminho da avaliação da decisão no mundo real, permitindo coletar retornos disponíveis para o aprendizado. O retorno permite anotar as conseqüências do raciocínio. Esta análise permite ao raciocinador antecipar e evitar enganos e anotar imprevistos oportunos.

Este é o processo que julga a boa qualidade da solução proposta e é feito algumas vezes no contexto de caso anterior, algumas vezes é baseado no retorno do mundo real e outras vezes é baseado na simulação realizada.

A avaliação inclui explicação das diferenças entre o que é esperado e o que realmente aconteceu, justifica as diferenças entre a solução proposta e a solução usada no passado, projeta resultados e compara e estima as possíveis alternativas. Ela mostra também o que é preciso para a adaptação adicional ou reparo da solução proposta.

4.3.6 - MEMÓRIA DE DADOS

Neste passo o novo caso é então armazenado apropriadamente na memória de casos para uso futuro.

Aqui, o processo mais importante é a escolha do caminho do *índice* do novo caso na memória. Estes *índices* devem ser escolhidos de forma que o novo caso possa ser chamado mais tarde, durante o raciocínio, quando este mais precisar. Isto significa que o raciocinador deve ser hábil em antecipar a importância do caso no raciocínio.

Neste processo são ajustadas as estruturas de indexação e organização da memória, dividindo a execução em: primeiro, escolha do *índice* apropriado para o novo caso usando vocábulos certos; segundo, verificação de que todos os outros itens permaneçam acessíveis para adicioná-los na biblioteca de casos armazenados.

4.4 - APRESENTAÇÃO DE UM RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

Nesta seção apresenta-se um RBC que tem como objetivo 'criar receitas de comida', a fim de levar a uma melhor compreensão do tipo de tarefa executada por um RBC. Exemplo de entrada, de conhecimento e da arquitetura do raciocínio utilizado é apresentado também. Pode-se citar outros RBC cujos objetivos são diferentes de acordo com [Koton, 88a, 88b, 89], [Hinrichs, 88, 89, 92; Hinrichs and Kolodner, 91], [Ashley, 90; Ashley and Rissland, 88], [Bareiss, 89; Bareiss, Porte and Weir, 88; Porter, Bareiss and Holte, 90].

4.4.1 - CHEF

CHEF - Casos baseados em um processo de planejamento de receitas [Hammond, 89].

ENTRADA DE DADOS: uma combinação de sub - objetivo que precisa planejar uma determinação.

SAÍDA DE DADOS: a saída é um plano (receita).

DOMÍNIO: Criação de receitas, e estas são vistas como planos. Estes planos fornecem a seqüência de passos que devem ser executados para concluir a criação de algum *prato de comida*.

Então, CHEF cria planos via recuperação de planos antigos que já trabalharam sobre circunstâncias similares e modifica a forma das mesmas. Por exemplo, *bife e brócolis*, são indexados por vários objetivos como bife, vegetal crespo, mistura de fritura, paladar picante.

O próximo passo, CHEF adapta o plano antigo para a forma da nova situação realizado em dois passos; primeiro ele substitui o novo objetivo por um já usado previamente. Por exemplo, supondo que se queira criar uma receita de *galinha e ervilhas nevadas* ele substitui *galinha* por bife e *ervilhas nevadas* por brócolis na receita antiga, já que galinha e bife são carnes e ervilhas e brócolis são vegetais. No segundo passo da adaptação, CHEF aplica alguns *objetos críticos* que adiciona propostas especiais na preparação dos passos do plano (receita) como: desossar, tirar a gordura, etc. Eles são caminhos de codificar conhecimentos sobre um procedimento especial associado com o uso dos objetos do domínio, o uso destes *objetos críticos* durante a adaptação mostra a inter-relação entre o uso da experiência e o conhecimento geral no sistema do RBC.

CHEF portanto, vai usar o plano e coletar o retorno do trabalho realizado. Quando o trabalho foi bom, então está terminado o processo, sendo o caso armazenado na memória e então o programa vai para a próxima tarefa. Mas se o trabalho não foi bem sucedido, CHEF tenta aprender com a situação. Ele cria uma explicação causal do porquê do plano não ter dado certo e usa aquele índice no conhecimento geral do planejamento, o qual é usado para *reparar* a falha do plano.

CHEF verifica os planos simulando-os, de forma que retornam planos parecidos com os quais o mundo real poderia suprimir,. Quando ele roda a receita original para o *bife e brócolis* pelo simulador, ele encontra que os brócolis estão encharcados, este líquido extra é causado devido ao cozimento demasiado do vegetal, então houve uma falha e esta precisa ser reconhecida. Este retorno comparado com resultados reais (do simulador) não foi o esperado, de modo que se reconheça uma falha.

CHEF escolhe uma estratégia de reparo pela primeira vista através da existência de casos similares armazenados em um TOP, que é uma estrutura que organiza as informações em função das partes das situações, a qual sugestiona um reparo e então checka as condições de adaptabilidade para cada reparo no plano. Ele aplica os reparos apropriados ao plano e fixa-o em *plano defeituoso*.

Após este passo, os dados do CHEF estão aptos a antecipar e evitar os erros que já tenham cometido. Para fazer isto, ele calcula quais são os tipos de falhas e usando-as como índices para avisar que as falhas poderiam acontecer. A escolha destes índices vem de um exame prévio, derivado da explicação destas falhas, extrai delas partes que descrevem as características responsáveis por elas. Disto sairá dois tipos de índices, sendo que um sai como um aviso de falhas no plano e o outro como plano reparado, o qual fornece um caminho de reparo sobre um problema particular.

Agora CHEF está apto para antecipar e desse modo evitar cometer o mesmo erro no futuro. Mas ainda inserindo um passo adicional no processo antes da criação de um plano: a antecipação de falhas. Esse passo que identifica, especificamente, planos com objetivos similares ao plano atual que contenha falhas, e o adiciona na descrição da situação atual que evitaria o acontecimento de tal falha.

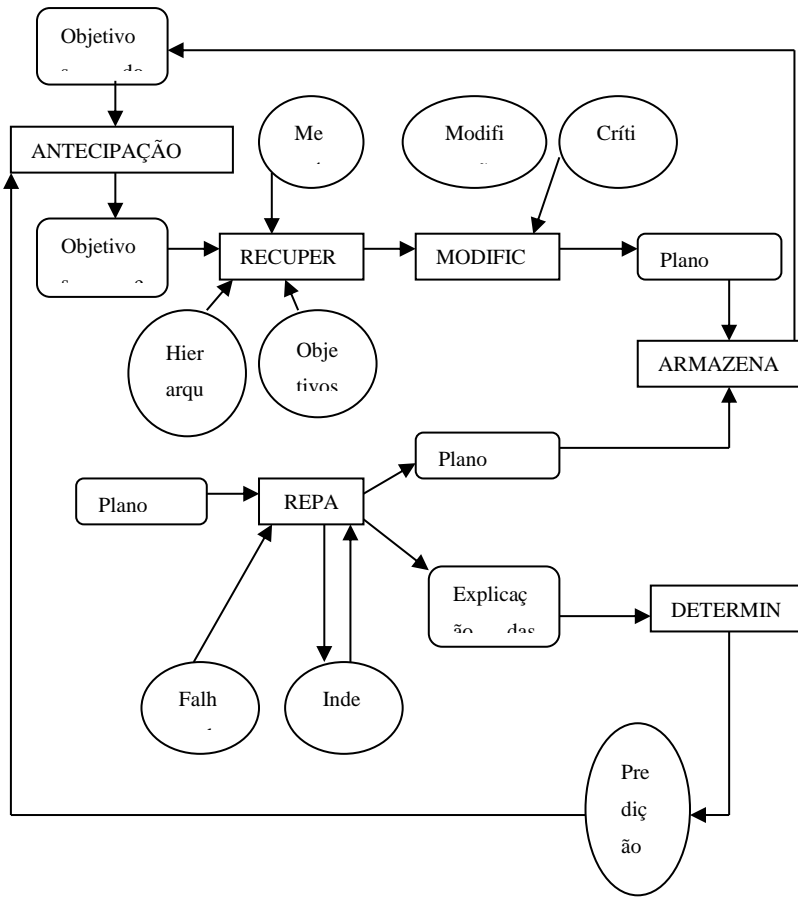


Figura 4.2 – Arquitetura Funcional de CHEF.

Na figura 4.2 são mostradas partes da arquitetura de CHEF, onde retângulos representam unidades funcionais, círculos representam as fontes de conhecimento e ovais representam entrada e saída de cada processo funcional.

4. 5- VANTAGENS E DESVANTAGENS DO RBC

4.5.1 - VANTAGENS DO RBC

1 - Permite ao raciocinador propor soluções aos problemas rapidamente, evitando tempo desnecessário em derivar respostas de ponto de partida zero.

- 2 - Permite ao raciocinador propor soluções em domínios que não são completamente entendidos por ele.
- 3 - Fornece ao raciocinador um significado das avaliações das soluções quando em algum método algorítmico está disponível.
- 4 - São utilizados no início e fim de interpretações e em definições de doenças.
- 5 - As lembranças de experiências anteriores no raciocínio são utilizadas em avisos de problemas que ocorreu no passado, alertando o raciocinador para tomar uma atitude em evitar erros cometidos no passado.
- 6 - Ajuda o raciocinador a focar as partes importantes dos problemas salientando quais características importantes.

4.5.2 - DESVANTAGENS DO RBC

- 1 - Um raciocínio baseado em casos poderia atrair casos antigos cegamente, confiando em experiências antigas sem validade na nova situação.
- 2 - Também poderia permitir soluções tendenciosas.
- 3 - As pessoas freqüentemente, especialmente novatas em determinados assuntos, não lembram do conjunto mais apropriado de casos quando estão raciocinando.

4.6 - AVALIAÇÃO DE RECUPERAÇÃO DE CASOS EM SISTEMAS DE RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

Raciocínio baseado em casos (RBC) é um dos paradigmas emergentes da modelagem do raciocínio humano (ciência cognitiva) e da construção de sistemas inteligentes de computador (Inteligência Artificial). RBC é um sistema no qual o entendimento e o raciocínio são vistos como um produto dos processos subjacente à memória, que são: memorização (armazenamento) e lembrança (recuperação).

No RBC, o processo de recuperação objetiva recuperar o mais útil caso prévio da memória de casos a fim de solucionar o novo problema e ignora outros casos irrelevantes.

- As principais características do RBC podem ser resumidas como segue:

- Forte correspondência com o raciocínio humano. Pessoas usam episódios como experiência quando resolvem os problemas;
- Aprendizado e manutenção relativamente fáceis;

- Forte capacidade de explicação; como casos que codificam informações relatando eventos que ocorreram, formando uma base natural para justificativas e explicações de conclusões sugeridas pelo sistema, já visto anteriormente.
- As estratégias ou técnicas de recuperação de casos do RBC são:
- *Similaridade (Técnica Computacional)*: calcula a relevância de casos armazenados baseado em algumas semelhanças pré- definidas através de funções de combinações;
- *Indexing (Técnica de Representação)*: utiliza uma estrutura indexada que conecta todos os casos armazenados ao caso base;
- *Técnica Híbrida*: combina os dois modelos citados acima.

Um caso pode ser considerado como um esquema compreendendo um conjunto de pares de valores de atributos, isto é, *descrições*, de acordo com [Gentner, 83] e [Kolodner, 93].

Estabelece-se uma combinação da similaridade do esquema novo com do esquema prévio, essa combinação é executada em dois passos:

1) **Similaridade Local**: determinada ao longo das descrições; ela tem sido determinada usando um conhecimento do domínio em forma de regras de combinações heurísticas e de domínio específico de acordo com [Porter, Bariess & Holte, 90].

2) **Similaridade Global**: determinada a partir das funções casamento (combinação) agregando as similaridades locais, ela calcula a similaridade de um caso novo com todos os casos prévios da memória. A seguir são apresentadas várias Funções Casamento.

4.6.1 - FUNÇÃO CASAMENTO DO VIZINHO PRÓXIMO:

A função combinação do vizinho próximo é largamente usada em RBC, ver referência [Duda and Hart, 73]. A função é dada a seguir:

$$\text{sim}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \left(1 - \frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \text{ com}$$

$\text{sim}(X, Y) \equiv$ denota a semelhança entre o caso X e Y;

x_i e $y_i \equiv$ denotam valor das descrições em X e Y, respectivamente;

$\omega_i \equiv$ denota o peso relativo ou importância da i-ésima característica com que $\omega_i \in [0,1]$;

n ≡ número total de característica nos casos $i = 1, 2, \dots, n$;

R_i ≡ denota a extensão da escala da i -ésima descrição.

A determinação da importância da descrição é distribuída em uma escala com valores qualitativos como mostrado na figura 4.3 abaixo, [Gupta, 97].

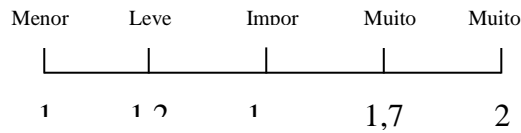


Figura 4.3 - Determinação da Importância da Descrição.

A regra do vizinho mais próximo é usada para determinar o k -ésimo caso mais relevante, sensível ao peso das características usado no cálculo das semelhanças [Wettschereck, 95], logo a tarefa fundamental de pesquisa é o aprendizado dos pesos das características [Wettschereck, 97] e [Dubitzky, 99].

4.6.2 - FUNÇÃO CASAMENTO CONTRASTE DE TVERSKY (C. C. T.)

A função C. C. T. de acordo com [Tversky, 77] é:

$$TC_{A^n, A^{pk}} = \frac{(A^n \cap A^{pk})}{(A^n \cup A^{pk}) - (A^n \cap A^{pk})}, \text{ com}$$

A^n ≡ conjunto de descrições do caso novo;

A^{pk} ≡ conjunto de descrições do k -ésimo caso prévio;

Numerador ≡ compreende um conjunto de descrições que combinam;

Denominador ≡ compreende um conjunto que inclui as descrições do novo caso e a descrição do k -ésimo caso prévio, computando assim um contraste.

Sua aplicação é limitada, já que não inclui o peso associado às descrições.

4.6.3 - FUNÇÃO CASAMENTO DO COSSENO (C. C.)

A função C. C. de acordo com [Salton, 68] é:

$$C^k = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i^n \omega_i^{pk}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (\omega_i^n)^2 \sum_{i=1}^m (\omega_i^{pk})^2}}$$

para $i=1, \dots, m$ (descrições) e para $k=1, \dots, r$ (casos prévios);

$\omega_i^n \equiv$ peso da i -ésima descrição no vetor peso do novo caso;

$\omega_i^{pk} \equiv$ peso da i -ésima descrição no vetor peso do caso prévio.

A combinação cosseno determina a semelhança global de dois casos pela comparação da frequência dos termos (peso das descrições) no novo caso e o peso dos termos no caso prévio.

A função mede o cosseno do ângulo entre o vetor peso do novo caso e vetor peso do caso prévio. Incorpora o efeito de descrições incomparáveis de um novo caso e de um caso prévio, isto é alcançado por meio do vetor peso do novo caso e do prévio, as descrições incomparáveis tem peso zero ou no caso prévio ou no novo. Entretanto, o denominador da função inclui os pesos de todas as descrições incomparáveis, computando assim um contraste.

4.6.4 - FUNÇÃO CASAMENTO COSSENO MODIFICADA (C. C. M.)

Na função C. C. M. é necessário incluir os graus de semelhança pelas descrições, logo a função modificada será de acordo com [Gupta, 97]:

$$MC^k = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i^n \omega_i^{pk} \left(1 - \left(\frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right) \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (\omega_i^n)^2 \sum_{i=1}^m (\omega_i^{pk})^2}}$$

para $i=1, \dots, m$ (descrições) e para $k=1, \dots, r$ (casos prévios);

$1 - \left(\frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right)$ denota a semelhança na i -ésima descrição do novo caso e um prévio.

A função cosseno modificada determina a similaridade global, denominado de *Grau de Casamento*, **Gcas**, entre dois casos pela comparação da frequência dos termos, isto é, o peso das descrições no novo caso e o peso dos termos do caso prévio.

A modificação na função implica que o cosseno do ângulo gerado pelo vetor peso do novo caso e do caso prévio é pesado pelo grau de semelhança do espaço de descrições *m-dimensional*.

De acordo com [Gupta, 97] uma avaliação empírica demonstrou a superioridade e a eficiência da função casamento cosseno modificada em uma má estrutura de

determinação de diagnósticos e de um ambiente de reparos. A habilidade da função cosseno modificada inclui o domínio do conhecimento, resultando em uma melhor performance em comparação com as outras funções apresentadas. De forma que esta função é adotada neste trabalho.

4.7 - ESTRUTURA DO PROTÓTIPO RECUPERADOR

O processo de recuperação em um RBC envolve experiências de soluções passadas armazenadas em uma memória, que são conhecidas como *casos*. Essa técnica visa recuperar os mais úteis casos prévios em direção da solução do novo problema de decisão e ignorar os casos prévios irrelevantes.

A recuperação de casos se processa da seguinte maneira, esquematizada na figura 4.4: baseada na *descrição* do novo problema de decisão, o caso base é procurado pelos casos prévios a partir de um suporte de decisão. A *procura* é feita baseada em similaridades [Bariess and King,89]. Os casos prévios passam pela função casamento e são ordenados de forma decrescente. A função casamento determina o Grau de similaridade do potencial útil dos casos prévios com um novo caso.

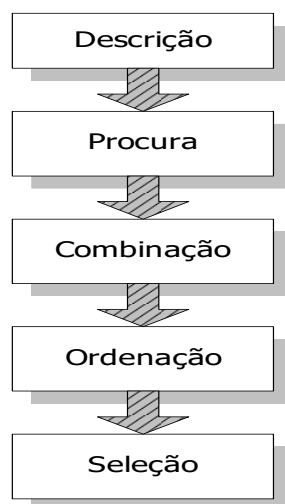


Figura 4.4 - Componentes da recuperação de um RBC.

O protótipo recuperador necessita de todo corpo de evidências fornecido pela memória, isto é, ele necessita que seja calculado o grau de casamento do caso de entrada contra todos os casos da memória.

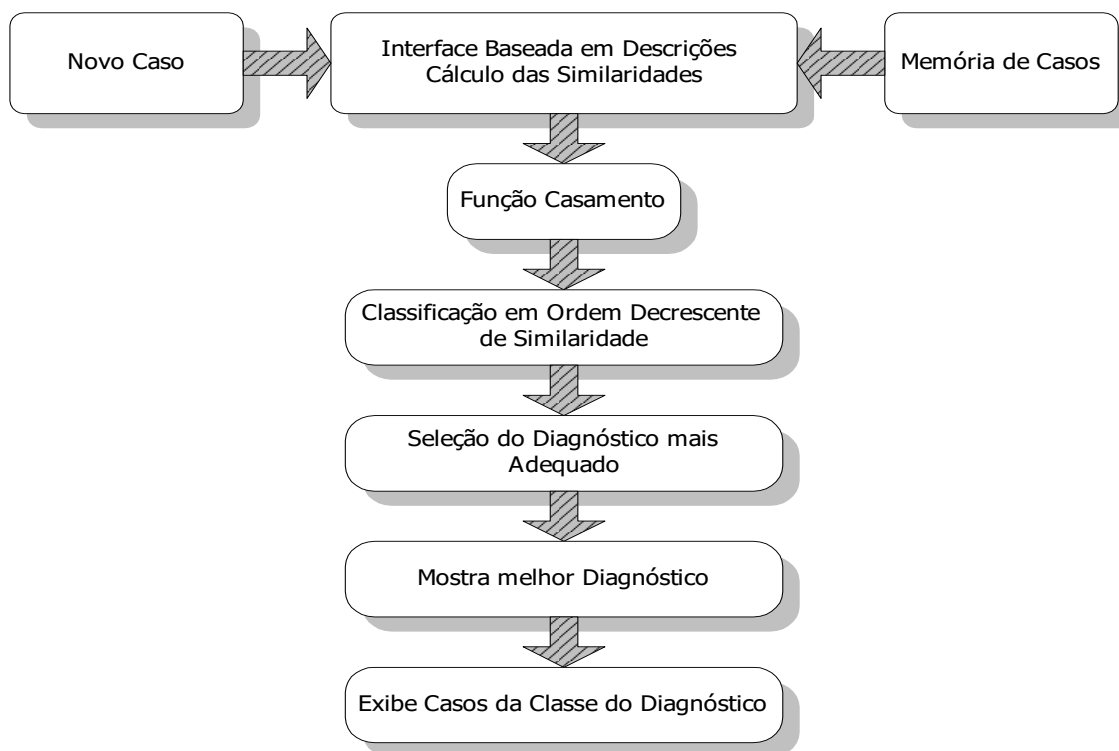


Figura 4.5 - Arquitetura de um Protótipo Recuperador.

Na figura 4.5 é mostrada a arquitetura do Protótipo Recuperador. Para cada caso da memória é definida uma função casamento entre o caso novo e o mesmo. Essa função analisa o *Grau de Crença* a favor do diagnóstico para o caso de entrada.

Os casos prévios determinados pela procura podem ser combinados pelo **Gcas** e ordenado de forma decrescente de similaridade global.

No domínio de diagnósticos, é comum ocorrerem vários casos que têm o mesmo diagnóstico, eles se manifestam por grupos de sintomas ou características diferentes. É suposto que o "diagnóstico mais apropriado" para a situação de entrada seja aquele que apresentar maior evidência a seu favor, ou seja, aquele que possuir maior Grau de Casamento, **Gcas**, que será denominado de Grau de Crença dos Diagnósticos.

O caso sugerido como o "caso mais adequado" é aquele dentre todos os casos da classe de diagnóstico selecionado, que tiver maior grau de casamento, **Gcas**, ou grau de crença. Sendo que os casos pertencentes àquela classe de diagnóstico podem auxiliar na solução do problema novo.

A vantagem em se recuperar o caso é que nele podem ser encontradas informações que foram úteis na solução de problemas anteriores e que podem ajudar na solução do novo caso.

4.8 - UMA APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO RECUPERADOR NA DETERMINAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS

Nesta seção é apresentada uma aplicação de um RBC na determinação de diagnósticos para o funcionamento de um forno para obtenção de cimento, de acordo com a referência [Sandness, 86], sem entretanto os detalhes técnicos. Sendo que o objetivo do operador do forno é obter cimento de *Qualidade Elevada*, que é determinado basicamente pelas condições do cimento.

4.8.1 - DOMÍNIO DE DECISÃO

O operador tem por fim o controle de valores de dois parâmetros do forno, denominado de *Velocidade de Rotação (VR)* e *Temperatura (T)*. Os valores desses parâmetros são fixos pelo operador observando outros quatro parâmetros, que são: *Granulação (G)*, *Viscosidade (V)*, *Cor (C)* e *Nível de pH*. Essas ações podem ser descritas por uma tabela de decisão sendo *G, V, C e pH* "atributos de condições", e *VR e T* "atributos de decisão".

Os valores dos atributos de condições quando combinados correspondem a qualidades específicas de cimento produzido no forno, e para cada um desses atributos espera-se ações apropriadas para que a qualidade seja elevada.

Todos os atributos e seus valores são listados conforme Tabela 4.1.

ATRIBUTOS	DESCRIÇÕES	EXTENSÃO DA ESCALA DE IMPORTÂNCIA
Condição	a - Granular	0 - 3
Condição	b - Viscosidade	0 - 3
Condição	c - Cor	0 - 2
Condição	d - Nível de pH	0 - 2
Decisão	e - Velocidade Rotativa	0 - 1
Decisão	f - Temperatura	0 - 3

Tabela 4.1 - Especificação das Descrições e suas extensões.

Na Tabela 4.2 são mostrados os possíveis diagnósticos e sua identificação referentes às descrições *velocidade rotativa e temperatura*.

DIAGNÓSTICO	e	f
D1	1	3
D2	0	3
D3	1	2
D4	1	1

Tabela 4.2 - Diagnósticos e suas extensões

4.8.2 - BASE DE CONHECIMENTO

A base de conhecimento para a avaliação do RBC consiste de 13 casos e está relacionada com as descrições e com seus diagnósticos como segue na Tabela 4.3:

CASOS	a	b	c	d	Diagnóstico
CASO 01	2	1	1	1	D1
CASO 02	2	1	1	0	D1
CASO 03	2	2	1	1	D1
CASO 04	1	1	1	0	D2
CASO 05	1	1	1	1	D2
CASO 06	2	1	1	2	D3
CASO 07	2	2	1	2	D3
CASO 08	3	2	1	2	D3
CASO 09	3	2	2	2	D4
CASO 10	3	3	2	2	D4
CASO 11	3	3	2	1	D4
CASO 12	3	2	2	1	D4
CASO 13	3	0	2	1	D4

Tabela 4.3 - Base de Conhecimento.

4.8.3 - RESULTADOS DO PROGRAMA PROTÓTIPO RECUPERADOS

O Protótipo Recuperador, analisado na seção anterior, foi testado para vários Casos Novos, utilizando a Base de Conhecimento, de acordo com a tabela 4.3 acima, e levando em consideração as condições das descrições mostradas na tabelas 4.1 e os possíveis Diagnósticos descritos na tabela 4.2. Serão apresentados os resultados de dois casos, sendo uma primeira apresentação da determinação do Diagnóstico para o segundo Caso Novo - [2 2 2 1], isto é, sendo a Base de Conhecimento mais simples. Para segunda apresentação, o Caso Novo considerado foi - [2 1 0 2], sendo que a Base de Conhecimento utilizada possui uma memória de Casos Prévios maior, ou seja, seu conhecimento é mais abrangente.

4.8.3.1 - CASO NOVO [2 2 2 1]

ANÁLISE DE RECUPERACAO DE CASOS

CASO NOVO:	2	2	2	1
Caso encontrado na Base de Conhecimento:	0			
Nenhum Caso Encontrado				

Início do Processo de Cálculo

ORDEM	Gcas	CASO	DIAGNÓSTICO
1	0.8771	3	D1
2	0.8498	12	D4
3	0.7868	9	D4
4	0.7692	7	D3
5	0.7687	1	D1
6	0.7518	11	D4
7	0.7171	2	D1
8	0.7071	10	D4
9	0.6671	13	D4
10	0.6537	8	D3
11	0.6472	5	D2
12	0.6432	6	D3
13	0.5871	4	D2

Nova Base de Conhecimento:

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
2	2	2	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	2
1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	2	0	2
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1	0	1	0	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1

Novo Vetor Diagnóstico:

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

GRAU DE CRENÇA DOS DIAGNÓSTICOS:

Cr (D1) = 7.876363 e-001

Cr (D2) = 6.171434 e-001

Cr (D3) = 6.887090 e-001

Cr (D4) = 7.249683 e-001

DIAGNÓSTICO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:

Maior Grau de Crença: 7.876363 e-001

Diagnóstico do Maior Grau de Crença: D1

Casos do Diagnóstico mais adequado: C1, C2, C3

CASO PRÉVIO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:

Maior Grau de Casamento: 8.770580 e-001

Caso com maior Grau de Casamento: C3

4.8.3.2 - CASO NOVO [2 1 0 2]

ANÁLISE DE RECUPERAÇÃO DE CASOS

CASO NOVO: 2 1 0 2

Caso encontrado na Base de Conhecimento: 0

Nenhum Caso Encontrado

Início do Processo de Cálculo

ORDEM	Geas	CASO	DIAGNÓSTICO
1	0.9487	6	D3
2	0.8629	7	D3
3	0.7559	1	D1
4	0.7333	8	D3
5	0.6804	2	D1
6	0.6789	9	D4
7	0.6676	3	D1
8	0.6676	19	D3
9	0.6547	18	D4
10	0.5883	10	D4
11	0.5855	14	D1
12	0.5774	15	D4
13	0.5556	5	D2
14	0.4976	12	D4
15	0.4491	4	D2
16	0.4454	13	D4
17	0.4170	11	D4
18	0.2869	16	D4
19	0.2345	17	D4

Nova Base de Conhecimento:

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
2	2	2	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3	2
1	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	2	0	2
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1	0	1	0	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
C15	C16	C17	C18	C19	C20								
3	1	1	2	1	2								
1	3	3	3	1	1								
1	2	1	2	2	0								
1	1	0	2	2	2								

Novo Vetor Diagnóstico:

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	3	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C16	C17	C18	C19	C20										
1	1	1	1	1										
1	1	1	2	2										
0	0	0	0	0										
0	0	0	0	0										

GRAU DE CRENÇA DOS DIAGNÓSTICOS:

Cr (D1) = 6.723629 e-001

Cr (D2) = 5.023029 e-001

Cr (D3) = 8.031095 e-001

Cr (D4) = 4.867452 e-001

DIAGNÓSTICO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:	
Maior Grau de Crença:	8.031095 e-001
Diagnóstico do Maior Grau de Crença:	D3
Casos do Diagnóstico mais adequado:	C6, C7, C8, C19
CASO PRÉVIO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:	
Maior Grau de Casamento:	9.486833 e-001
Caso com maior Grau de Casamento:	C6

4.9 - COMENTÁRIOS

A idéia básica deste capítulo foi apresentar como um RBC recupera conhecimento e como um protótipo recuperador executa esta função. O protótipo recuperador desenvolvido neste trabalho, atua de tal modo que este conhecimento seja armazenado de forma a permitir simular ações futuras na determinação de diagnósticos.

Existem vários tipos de sistemas baseados em casos que podem ser construídos. Se o RBC processar como um modelo cognitivo, então se pode pensar em construções de sistemas que podem interagir com as pessoas em um caminho natural para resoluções de problemas.

Várias funções casamento foram mencionadas na determinação de diagnósticos e a função mais eficiente, de acordo com referência, foi a Função Casamento Cosseno Modificada denominada neste trabalho de Grau de Casamento, **Gcas**.

A média do Grau de Casamento para um específico diagnóstico determina o *Grau de Crença* a favor deste diagnóstico como solução do novo caso em questão.

A estrutura do Protótipo Recuperador necessita de todo corpo de evidências fornecido pela memória, de forma que é calculado o Grau de Casamento do caso de entrada contra todos os casos da memória.

CAPÍTULO 5

LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA DE TRÊS VALORES EM RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS

5.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo propõe-se a junção do modelo de funções de crença, descrença e de especialidade para recuperação de casos no domínio de determinação de diagnósticos. Deseja-se aplicar a Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v na determinação de diagnósticos de um Raciocínio Baseado em Casos - RBC, ou seja, implementar o algoritmo Para-Especialista na estrutura do protótipo recuperador do RBC.

A implementação da lógica paraconsistente de três valores em um sistema inteligente permite trabalhar com informações inconsistentes, indefinições, com conhecimentos parciais e com conhecimentos especialistas, assim, o comportamento do sistema torna-se mais abrangente se aproximando mais do mundo real e suas resoluções.

Este capítulo se divide em seções da seguinte forma: a seção 5.2 consta da implementação do algoritmo Para-Especialista no protótipo recuperador de um RBC, a seção 5.3 faz um detalhamento do RBC-Para-Especialista, a seção 5.4 aplica o RBC-Para-Especialista, a seção 5.5 compara os resultados obtidos da aplicação do RBC-Para-Especialista com um RBC Tradicional e finalmente na seção 5.6 os comentários sobre o capítulo.

5.2 - IMPLEMENTAÇÃO DO PARA-ESPECIALISTA EM RBC

Para fazer a implementação do algoritmo Para- Especialista em um RBC, a proposta do modelo é sugerir o diagnóstico que parece mais adequado para a nova situação, com base no conhecimento armazenado, de acordo com uma análise da lógica paraconsistente de três valores - LPA3v. Em cada caso mostrar dentre aqueles de mesmo diagnóstico, o que mais se aproxima da nova situação.

A arquitetura projetada para implementar o modelo é vista na figura 5.1

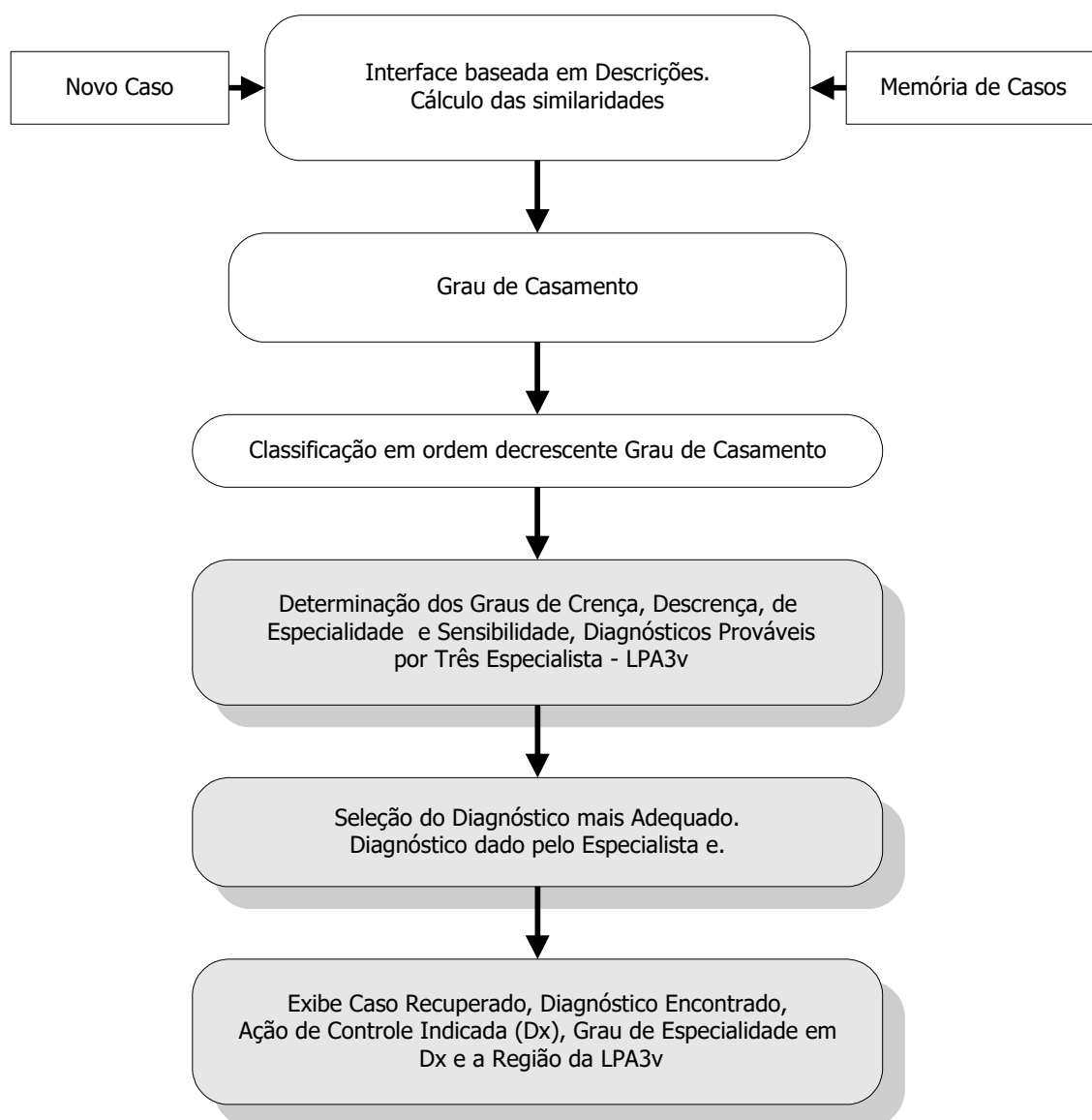


Figura 5.1 - Arquitetura de um Protótipo Recuperador com LPA3v subjacente.

Para este protótipo é necessário todo o corpo de evidências fornecido pela memória, isto é, ele necessita que seja computado o grau de casamento do caso de entrada

contra todos os casos da memória, como no protótipo recuperador apresentado no capítulo anterior.

O protótipo é constituído por seis módulos de processamento.

Comparando este novo Protótipo Recuperador, que tem a LPA3v como suporte de análise, em relação ao Protótipo Recuperador do capítulo anterior, que não analisa as situações de Inconsistências e Indefinições, as diferenças são mostradas nos módulos, destacados com sombra, que se referem à aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v.

No primeiro módulo, a entrada de um novo caso e a chamada de casos da memória têm o mesmo procedimento que no protótipo anterior, a partir do cálculo das similaridades.

No segundo e terceiro módulos calcula-se o Grau de Casamento e sua classificação em ordem decrescente de acordo com o protótipo anterior.

No quarto módulo há uma junção das técnicas do RBC com a LPA3v, o ambiente já está preparado para a aplicação do algoritmo Para - Especialista apresentado no capítulo 3, de forma que a partir do Grau de Crença, Descrença e do Grau de Especialidade para o Novo Caso, obtém-se os diagnósticos de três especialistas diferentes.

No quinto módulo seleciona-se o diagnóstico mais adequado à nova situação, ou seja, entendido como sendo o diagnóstico dado por um especialista de Grau de Especialidade e . Não há, nesta estrutura, a determinação de novos diagnósticos, mas uma relação com os diagnósticos fornecidos pela Base de Conhecimento através do *Grau de Especialidade* da LPA3V. Com esta nova estrutura é possível introduzir novos conhecimentos, ou novos diagnósticos na Base de Conhecimento quando for necessário, mas isto só é realizado depois de se fazer uma primeira execução do programa.

No último módulo são mostrados: o caso que foi recuperado para solucionar a nova situação, o diagnóstico encontrado, a ação de controle indicada (Dx), o grau de especialidade em relação à ação de controle e a região da LPA3v em que se encontra o especialista de maior grau de especialidade.

- O caso recuperado tem a mesma interpretação daquele caso discutido em uma recuperação de RBC que não utiliza a LPA3v, de acordo com o capítulo 4.
- A ação de controle determinada para o novo caso é alguma ação dentre as fornecidas pela base de conhecimento, de forma não estar criando nenhuma ação de controle nova. Por esse motivo o diagnóstico encontrado não será considerado

um novo diagnóstico na base de conhecimento, mas vinculado com a ação de controle através do *grau de especialidade, e*.

- O *diagnóstico encontrado* fica desta forma disponível no sentido que, se em algum momento o raciocinador quiser acrescentá-lo como ação de controle da base de conhecimento, o procedimento será, somente alterar seu *grau de especialidade, e* para o valor máximo 1 e a *ação de controle* relacionada a ele assume o valor numérico do respectivo diagnóstico encontrado.

Este novo protótipo baseado na LPA3v será denominado neste trabalho de RBC-Para-Especialista.

5.3 - DETALHES CONSTRUTIVOS DO RBC-PARA-ESPECIALISTA

O RBC - Para - Especialista oferece uma alternativa lógica baseada em duas teorias, a Lógica Paraconsistente e Sistema de Raciocínio. O mesmo faz um tratamento lógico de forma Paraconsistente para que as contradições e as incertezas possam ser inseridas e tratadas, de um modo não trivial, numa estratégia de tomada de decisão automática.

A fim de apresentar uma idéia geral e mais abrangente do RBC-Para-Especialista, na figura 5.2 está montado um esquema em diagrama, que exhibe o processo de entrada do novo caso a ser analisado:

- A recuperação de todos os casos da memória de dados;
- O cálculo do Grau de Casamento e sua ordenação decrescente;
- A aplicação do algoritmo Para - Especialista da LPA3v e conseqüentemente a determinação dos três possíveis diagnósticos, ou seja, a opinião de três especialistas diferentes sobre uma situação nova (caso novo), sendo que o diagnóstico adotado na LPA3v é o de grau de especialidade e;
- Finalmente a recuperação do caso mais adequado em relação ao diagnóstico anteriormente encontrado.

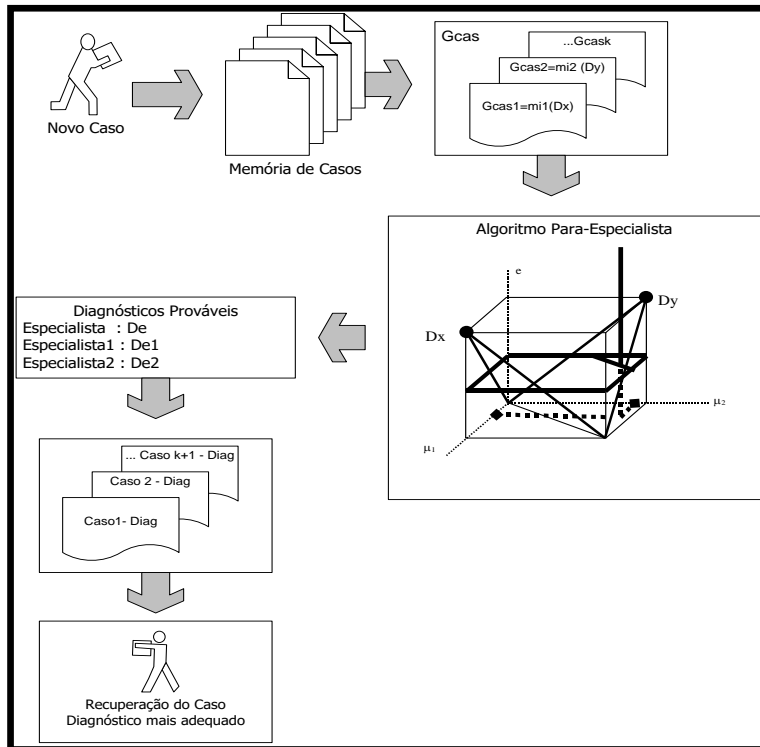


Figura 5.2 - Diagrama de um Protótipo Recuperador com LPA3v subjacente.

No que se referente à Lógica Paraconsistente de Três Valores - LPA3v vale ressaltar algumas características importantes:

a) Como foi apresentado no capítulo 3, para iniciar uma análise paraconsistente no cubo analisador necessita-se dos valores dos *graus de crença e de descrença*. De forma que ao final da ordenação do grau de casamento com seus respectivos casos e diagnósticos, espera-se que estes graus estejam estabelecidos!

b) O que se deve fazer é relacionar os graus de casamento ordenado com os graus de crença e descrença da seguinte maneira:

Da definição intuitiva dos graus de crença e descrença tem-se:

Grau de Crença é a evidência favorável à proposição P, grau de Descrença é a evidência contrária à proposição P.

Assumindo que a proposição P seja:

Diagnóstico i como solução do Caso Novo.

Então, os valores dos graus de crença e descrença podem ser interpretados como:

O Grau de Crença é a evidência favorável ao Diagnóstico i como solução do Caso Novo e o Grau de Descrença é a evidência contrária ao Diagnóstico i como solução do Caso Novo.

Como o conjunto do grau de casamento já foi devidamente ordenado decrescentemente e, como definido acima, o grau de crença é aquele de maior grau de casamento, nota-se que o grau de descrença sempre estará em uma ordem menor que o grau de crença e será aquele que corresponder à primeira evidência desfavorável à ocorrência do *diagnóstico i, Di*.

Em uma aplicação do algoritmo Para- Especialista no Sistema de Raciocínio com o Protótipo Recuperador atuando da maneira como apresentada no capítulo anterior, *sempre* ocorrerá a situação descrita acima. Isto não garante que aplicando o algoritmo Para- Especialista em outra estrutura de Sistema de Decisão ocorrerá esta mesma situação, pois dependerá de toda uma análise da mesma.

Com essa definição pode-se agora fazer uma análise do cubo da LPA3v para estudar o novo caso, já que todos os graus estão claramente estipulados.

5.4 - UMA APLICAÇÃO DO RBC-PARA-ESPECIALISTA NA DETERMINAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS

Nesta seção é apresentada uma aplicação do RBC-Para-Especialista na determinação de diagnósticos.

Para efeito de comparação, a aplicação do RBC-Para-Especialista tem como domínio o mesmo utilizado no capítulo anterior, ou seja, um funcionamento de um forno para obtenção de cimento, assim como toda especificação dos parâmetros utilizados de acordo com a referência [Sandness, 86], sem, entretanto os detalhes técnicos.

Os valores dos atributos de condições quando combinados correspondem a qualidades específicas de cimento produzido no forno, e para cada um desses atributos espera-se ações apropriadas para que a qualidade seja elevada.

Todos os atributos e seus valores são listados conforme Tabela 5.1.

ATRIBUTOS	DESCRIÇÕES	EXTENSÃO DA ESCALA DE IMPORTÂNCIA
Condição	a - Granular	0 - 3
Condição	b - Viscosidade	0 - 3
Condição	c - Cor	0 - 2
Condição	d - Nível de pH	0 - 2
Decisão	e - Velocidade Rotativa	0 - 1
Decisão	f - Temperatura	0 - 3

Tabela 5.1 - Especificação das Descrições e suas extensões.

Na Tabela 5.2 são mostrados os possíveis diagnósticos e sua identificação referentes às descrições *velocidade rotativa* e *temperatura*.

DIAGNÓSTICO	E	f
D1	1	3
D2	0	3
D3	1	2
D4	1	1

Tabela 5.2 - Diagnósticos e suas extensões

A aplicação do algoritmo RBC-Para-Especialista é aplicada à mesma base de conhecimento da aplicação do capítulo anterior, fornecida na tabela 5.3, com treze (13) casos, de tal forma que suas descrições estão devidamente quantificadas e seus respectivos diagnósticos.

CASOS	A	b	c	d	Ação de Controle
CASO 01	2	1	1	1	D1
CASO 02	2	1	1	0	D1
CASO 03	2	2	1	1	D1
CASO 04	1	1	1	0	D2
CASO 05	1	1	1	1	D2
CASO 06	2	1	1	2	D3
CASO 07	2	2	1	2	D3
CASO 08	3	2	1	2	D3
CASO 09	3	2	2	2	D4
CASO 10	3	3	2	2	D4
CASO 11	3	3	2	1	D4
CASO 12	3	2	2	1	D4
CASO 13	3	0	2	1	D4

Tabela 5.3 - Base de Conhecimento.

5.4.1-RESULTADOS DO PROGRAMA RBC-PARA-ESPECIALISTA

O RBC-Para-Especialista, analisado na seção anterior, foi testado para vários Casos Novos, utilizando a Base de Conhecimento, de acordo com a tabela 5.3 acima, e levando em consideração as condições das descrições mostradas na tabelas 5.1 e os possíveis Diagnósticos ou Ações de Controle descritos na tabela 5.2, para este exemplo o número de ações está limitado em quatro D1, D2, D3 e D4.

Assim como no capítulo anterior, apresentam-se os resultados dos mesmos casos analisados anteriormente. O primeiro caso analisado é C14 - [2 2 2 1] com a Base de Conhecimento mais simples (13 casos). Segundo caso analisado é C20 - [2 1 0 2], sendo que a Base de Conhecimento utilizada possui uma memória de Casos Prévios um pouco maior, ou seja, seu conhecimento é mais abrangente.

5.4.1.1 - CASO NOVO [2 2 2 1]

ANÁLISE DE RECUPERAÇÃO DE CASOS

CASO NOVO: 2 2 2 1
Caso encontrado na Base de Conhecimento: 0
Nenhum Caso Encontrado

Início do Processo de Cálculo

ORDEM	Gcas	CASO	DIAGNÓSTICO
1	0.8771	3	D1
2	0.8498	12	D4
3	0.7868	9	D4
4	0.7692	7	D3
5	0.7687	1	D1
6	0.7518	11	D4
7	0.7171	2	D1
8	0.7071	10	D4
9	0.6671	13	D4
10	0.6537	8	D3
11	0.6472	5	D2
12	0.6432	6	D3
13	0.5871	4	D2
Diagnósticos em Decisão:			$Dx - Dy = 1-4$
Valor do Grau de Crença:			$\mu_1 = 0.8771$
Valor do Grau de Descrença:			$\mu_2 = 0.8498$
Entre com o valor da Sensibilidade s.			0.1

DETERMINAÇÃO DO DIAGNÓSTICO NA LPA3v

Grau de Crença Analisado	$\mu_1: 0.8771$	Graus de Certeza e Incerteza:
Grau de Descrença Analisado	$\mu_2: 0.8498$	GC = 0.0272
Grau do Especialista Gerado	e : 0.0272	GI = 0.7269

Para Grau do Especialista Gerado - e: $e = 0.0272$			
Pontos Notáveis para e:			
$qD1 =$	1.0000; 0.9728		
$qD4 =$	0.9728; 1.0000		
$q\rightarrow D1 =$	0.0000; 0.0272		
$q\rightarrow D4 =$	0.0272; 0.0000		
Valores de Controle para e:			
$C1 =$	0.0272 $C2 =$ -0.0272		
$C3 =$	0.9728 $C4 =$ -0.9728		
Determinação do Diagnóstico para e: D1			
Análise será feita para as variações de e:			
$e1 =$	-0.0728	$e2 =$ 0.1272	
Novos Valores para s, e1(MAIOR OU IGUAL A ZERO) e e2:			
Novo s =	0.0272	Novo e1 = 0.0072	Novo e2 = 0.1272
Para Grau de Especialidade 1: $e1 = 0.0072$			
Pontos Notáveis para e1:			
$qD1 =$	1.0000; 1.0000		
$qD4 =$	1.0000; 1.0000		
$q\rightarrow D1 =$	0.0000; 0.0072		
$q\rightarrow D4 =$	0.0072; 0.0000		
Valores de Controle para e1:			
$C1 =$	0.0072 $C2 =$ -0.0072		
$C3 =$	0.9928 $C4 =$ -0.9928		
Determinação do Diagnóstico para e1: D1			
Para Grau de Especialidade 2: $e2 = 0.1272$			
Pontos Notáveis para e2:			
$QD1 =$	1.0000; 0.8728		
$QD4 =$	0.8728; 1.0000		
$q\rightarrow D1 =$	0.0000; 0.1272		
$q\rightarrow D4 =$	0.1272; 0.0000		
Valores de Controle para e2:			
$C1 =$	0.1272 $C2 =$ -0.1272		
$C3 =$	0.8728 $C4 =$ -0.8728		
Determinação do Diagnóstico para e2: TqD1			

DIAGNÓSTICOS PROVÁVEIS NA LPA3v

Para e2:	T→qD1
Para e:	D1
Para e1:	D1

NOVA BASE DE CONHECIMENTO

CASO	a	b	c	d	Diag	Ação de Contr	e	GC	GI	Diag de e2	Caso Recup
1	2	1	1	1	D1	D1	1	1	0	-	-
2	2	1	1	0	D1	D1	1	1	0	-	-
3	2	2	1	1	D1	D1	1	1	0	-	-
4	1	1	1	0	D2	D2	1	1	0	-	-
5	1	1	1	1	D2	D2	1	1	0	-	-
6	2	1	1	2	D3	D3	1	1	0	-	-
7	2	2	1	2	D3	D3	1	1	0	-	-
8	3	2	1	2	D3	D3	1	1	0	-	-
9	3	2	2	2	D4	D4	1	1	0	-	-
10	3	3	2	2	D4	D4	1	1	0	-	-
11	3	3	2	1	D4	D4	1	1	0	-	-
12	3	2	2	1	D4	D4	1	1	0	-	-
13	3	0	2	1	D4	D4	1	1	0	-	-
14	2	2	2	1	D5	D1	0.0272	0.0272	0.7269	T→qD1	C3

DIAGNÓSTICO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:

Caso mais adequado ao Novo Caso	:	CASO 3
Diagnóstico encontrado	:	5
Ação de Controle Indicada (Dx)	:	D1
Grau de Especialidade em Relação à Ação de Controle (Dx):	:	0.0272
Diagnóstico com maior grau de especialidade	:	T→qD1

5.4.1.2 - CASO NOVO [2 1 0 2]

ANÁLISE DE RECUPERAÇÃO DE CASOS

CASO NOVO:	2	1	0	2
Caso encontrado na Base de Conhecimento: 0	Nenhum Caso Encontrado			

Início do Processo de Cálculo

ORDEM	Gcas	CASO	DIAGNÓSTICO
1	0.9487	6	3
2	0.8629	7	3
3	0.7559	1	1
4	0.7333	8	3
5	0.6804	2	1
6	0.6789	9	4
7	0.6676	3	1
8	0.6676	19	8
9	0.6547	18	5
10	0.5883	10	4
11	0.5855	14	5
12	0.5774	15	6
13	0.5556	5	2
14	0.4976	12	4
15	0.4491	4	2
16	0.4454	13	4
17	0.4170	11	4
18	0.2869	16	5
19	0.2345	17	7

Diagnósticos em Decisão:	$Dx - Dy = 3 - 1$
Valor do Grau de Crença:	$\mu_1 = 0.9487$
Valor do Grau de Descrença:	$\mu_2 = 0.7559$
Entre com o valor da Sensibilidade s.	0.1

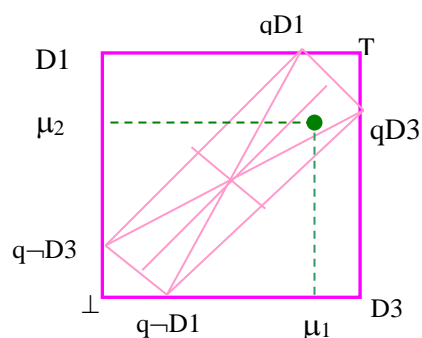
DETERMINAÇÃO DO DIAGNÓSTICO NA LPA3v

Grau de Crença Analisado	$\mu_1: 0.9487$	Graus de Certeza e Incerteza:
Grau de Descrença Analisado	$\mu_2: 0.7559$	GC = 0.1928
Grau do Especialista Gerado	e : 0.1928	GI = 0.7046

Para Grau do Especialista Gerado - e: 0.1928		
Pontos Notáveis para e:		
qD3 =	1.0000; 0.8072	
qD1 =	0.8072; 1.0000	
q-D3 =	0.0000; 0.1928	
q-D1 =	0.1928; 0.0000	
Valores de Controle para e:		
C1 = 0.1928	C2 = -0.1928	
C3 = 0.8072	C4 = -0.8072	
Determinação do Diagnóstico para e:		D3
Análise será feita para as variações de e:		
e1 = 0.0928	e2 = 0.2928	

Para Grau de Especialidade 1: e1 = 0.0928		
Pontos Notáveis para e1:		
qD3 =	1.0000; 0.9072	
qD1 =	0.9072; 1.0000	
q-D3 =	0.0000; 0.0928	
q-D1 =	0.0928; 0.0000	
Valores de Controle para e1:		
C1 = 0.0928	C2 = -0.0928	
C3 = 0.9072	C4 = -0.9072	
Determinação do Diagnóstico para e1:		D3

Para Grau de Especialidade 2:	$e2 = 0.2928$
Pontos Notáveis para e2:	
qD3 =	1.0000; 0.7072
qD1 =	0.7072; 1.0000
q-D3 =	0.0000; 0.2928
q-D1 =	0.2928; 0.0000
Valores de Controle para e2:	
C1 =	0.2928 C2 = -0.2928
C3 =	0.7072 C4 = -0.7072
Determinação do Diagnóstico para e2:	TqD3



DIAGNÓSTICOS PROVÁVEIS NA LPA3v

Para e2:	T→qD3
Para e:	D3
Para e1:	D3

NOVA BASE DE CONHECIMENTO

CASO	a	b	c	d	Diag	Ação de Cont	e	GC	GI	Diag de e2	Caso Recup
1	2	1	1	1	D1	D1	1	1	0	-	
2	2	1	1	0	D1	D1	1	1	0	-	
3	2	2	1	1	D1	D1	1	1	0	-	
4	1	1	1	0	D2	D2	1	1	0	-	
5	1	1	1	1	D2	D2	1	1	0	-	
6	2	1	1	2	D3	D3	1	1	0	-	
7	2	2	1	2	D3	D3	1	1	0	-	
8	3	2	1	2	D3	D3	1	1	0	-	
9	3	2	2	2	D4	D4	1	1	0	-	
10	3	3	2	2	D4	D4	1	1	0	-	
11	3	3	2	1	D4	D4	1	1	0	-	
12	3	2	2	1	D4	D4	1	1	0	-	
13	3	0	2	1	D4	D4	1	1	0	-	
14	2	2	2	1	D5	D1	0.0272	0.0272	0.7269	T→qD1	C3
15	3	1	1	1	D6	D4	0.0095	0.0095	0.6878	T→qD4	C13
16	1	3	2	1	D6	D4	0.0676	0.0676	0.5476	T→qD4	C11
17	1	3	1	0	D7	D4	0.1648	0.1648	0.5479	T→qD4	C16
18	2	3	2	2	D6	D4	0.0348	0.0348	0.7627	T→qD4	C10
19	1	1	2	2	D8	D3	0.0203	0.0203	0.4464	T→qD3	C6
20	2	1	0	2	D8	D3	0.1928	0.1928	0.7046	T→qD3	C6

DIAGNÓSTICO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:		
Caso mais adequado ao Novo Caso	:	CASO 6
Diagnóstico encontrado	:	8
Ação de Controle Indicada (Dx)	:	D3
Grau de Especialidade em Relação à Ação de Controle (Dx):	:	0.1928
Diagnóstico com maior grau de especialidade	:	T→qD3

5.5 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO PROGRAMA RBC-PARA-ESPECIALISTA COM RBC TRADICIONAL

Nesta seção é feita a comparação entre os resultados obtidos de uma Recuperação de Casos na determinação de Diagnósticos, usando o programa "RBC- Para - Especialista" com suporte da LPA3v e usando um RBC Tradicional, no qual seu protótipo recuperador não tem o suporte da LPA3v.

Na tabela 5.4 são apresentados os dados de trinta casos estudados para determinação de diagnósticos na operação de um forno de cimento e a recuperação do caso mais adequado, de acordo com os resultados obtidos no capítulo 4, item 4.8 referente ao RBC e de acordo com os resultados obtidos do item anterior referente à LPA3v.

CASO					RBC		RBC-Para-Especialista						
	a	b	c	d	Diag	Caso Recup	Diag	Diag-e2	Ação Controle	Diag Base	GC = e	GI	Caso Recup
C1	2	1	1	1	D1	-	D1	-	D1	-	-	-	-
C2	2	1	1	0	D1	-	D1	-	D1	-	-	-	-
C3	2	2	1	1	D1	-	D1	-	D1	-	-	-	-
C4	1	1	1	0	D2	-	D2	-	D2	-	-	-	-
C5	1	1	1	1	D2	-	D2	-	D2	-	-	-	-
C6	2	1	1	2	D3	-	D3	-	D3	-	-	-	-
C7	2	2	1	2	D3	-	D3	-	D3	-	-	-	-
C8	3	2	1	2	D3	-	D3	-	D3	-	-	-	-
C9	3	2	2	2	D4	-	D4	-	D4	-	-	-	-
C10	3	3	2	2	D4	-	D4	-	D4	-	-	-	-
C11	3	3	2	1	D4	-	D4	-	D4	-	-	-	-
C12	3	2	2	1	D4	-	D4	-	D4	-	-	-	-
C13	3	0	2	1	D4	-	D4	-	D4	-	-	-	-
C14	2	2	2	1	D1	C3	D5	TqD1	D1	D1	0.1272	0.7269	C3
C15	3	1	1	1	D4	C13	D6	TqD4	D4	D4	0.0095	0.6878	C13
C16	1	3	2	1	D4	C11	D6	TqD4	D4	D4	0.0676	0.5476	C11
C17	1	3	1	0	D4	C16	D7	TqD5	D6	D4	0.1648	0.5479	C16
C18	2	3	2	2	D4	C10	D6	TqD4	D4	D4	0.0348	0.7627	C10
C19	1	1	2	2	D3	C6	D8	TqD3	D3	D3	0.0203	0.4464	C6
C20	2	1	0	2	D3	C6	D8	TqD3	D3	D3	0.1928	0.7046	C6
C21	3	1	0	1	D1	C15	D9	T	D6	D4	0.1516	0.7633	C15
C22	1	3	0	0	D4	C17	D10	T	D7	D4	0.1370	0.7700	C17
C23	2	3	1	1	D4	C17	D11	TqD7	D7	D4	0.0371	0.7275	C17
C24	1	2	0	0	D2	C3	D5	TqD1	D1	D1	0.0471	0.4614	C3
C25	3	3	0	0	D4	C11	D6	TqD4	D4	D4	0.0935	0.6758	C11
C26	1	1	2	1	D2	C19	D12	TqD8	D8	D3	0.0330	0.6403	C19
C27	2	1	1	0	D1	C2	D1	D1	D1	D1	1	0	C2
C28	1	1	1	2	D3	C6	D8	TqD3	D3	D3	0.0398	0.7132	C6
C29	1	0	0	1	D2	C5	D13	TqD2	D2	D2	0.0835	0.3307	C5
C30	3	0	0	1	D1	C21	D14	T	D9	D4	0.0406	0.8663	C21

Tabela 5.4 - Base de dados para determinação de diagnóstico e recuperação de casos.

Fazendo uma análise comparativa entre os casos apresentados, primeiramente, observa-se que tanto para o RBC-Para-Especialista quanto para o RBC Tradicional, os casos recuperados foram os mesmos, visto que o princípio do protótipo de recuperação é utilizar-se da técnica da similaridade entre caso novo e casos da memória sendo que o mesmo é aplicado às duas estruturas de decisão.

Mas em relação aos diagnósticos há resultados que não correspondem entre si para determinados casos, o que era de se esperar, já que a determinação desses é baseada em princípios diferentes para cada estrutura.

Para a estrutura RBC observa-se uma inconsistência de informações em quatro casos, mostrado na tabela 5.5:

Caso	a	b	c	d	RBC			RBC-Para-Especialista			
					Diag Determ	Diag Caso Recup	Caso Recup	Diag Determ	Ação Controle	Diag Base	Caso Recup
C21	3	1	0	1	D1	D4	C15	D9	D6	D4	C15
C24	1	2	0	0	D2	D1	C3	D5	D1	D1	C3
C26	1	1	2	1	D2	D3	C19	D12	D8	D3	C19
C30	3	0	0	1	D1	D4	C21	D14	D9	D4	C21

Tabela 5.5 - Informações inconsistentes na determinação de diagnósticos para RBC.

Para estas quatro situações, na estrutura RBC, os casos recuperados não estão contidos no conjunto dos respectivos *diagnósticos determinados* e sim no conjunto dos *diagnósticos do caso recuperado*, conforme colunas 6, 7 e 8 da tabela acima, de forma que ocorre uma inconsistência entre os casos recuperados e seus diagnósticos determinados.

Enquanto que na estrutura RBC-Para-Especialista, isto é evitado devido ao suporte fornecido pela LPA3v, que indica como *diagnóstico determinado* àquele proveniente do caso recuperado, não permitindo haver nenhuma inconsistência de dados.

Nesta estrutura todos casos novos têm como *diagnóstico determinado* diagnósticos com novos índices, porém não significa que um novo diagnóstico está sendo indicado, mas uma nova maneira de se relacionar com a *ação de controle* da base de conhecimento, ou seja, uma relação de pertinência com os quatro diagnósticos D1, D2, D3 ou D4, através do Grau de Especialidade da LPA3v. A situação que apresenta um caso novo com *diagnóstico determinado* como sendo um diagnóstico da base de conhecimento significa que este é um próprio caso da base, por exemplo, o caso C27 da tabela 5.4, tem como caso novo o caso C2 da base de conhecimento.

Em relação ao *diagnóstico e2* observa-se que o mesmo está descrevendo a opinião de um especialista em determinado assunto com um grau de especialidade maior do que outros dois especialistas consultados *e1*, *e* como explicado no capítulo 3, sua opinião está se referindo sempre à *ação de controle indicada* pelo programa Para-Especialista e pode-se dizer que sua exigência em relação aos diagnósticos é mais apurada. Suas respostas são analisadas em regiões do QUPC (Quadrado Unitário do Plano Cartesiano), de tal forma que as possíveis regiões de ocorrência de um caso novo ser analisado, são mostradas na figura 5.3 a seguir.

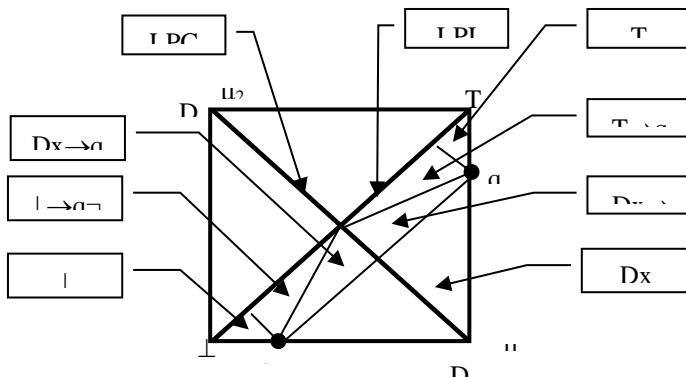


Figura 5.3 - Possíveis regiões no QUPC para respostas de e2 .

Devido à própria estrutura do RBC-Para-Especialista, na qual o valor do grau de crença sempre é maior ou igual ao grau de descrença, $\mu_1 \geq \mu_2$, exclui-se a possibilidade do caso novo se encontrar na região acima da Linha Perfeitamente Inconsistente - LPI. O que se observa da tabela 5.4 é que o GC - Grau de Certeza e GI - Grau de Incerteza sendo ambos maior ou igual a 0, indica que $\mu_1 + \mu_2 \geq 1$ fazendo com que as possibilidades fiquem restritas à região acima da Linha Perfeitamente Consistente - LPC, ou seja, *T Inconsistente*, *T → qDx Inconsistente tendendo à quase Diagnóstico x*, *Dx → qDx Diagnóstico x tendendo à quase Diagnóstico x* e *Dx Diagnóstico x*.

De acordo com a determinação do algoritmo Para-Especialista do capítulo 3, os resultados do comportamento do diagnóstico do especialista e2 nos casos novos podem ser mostrados na tabela 5.6.

	T → qDx	T	Dx	Dx → qDx	Total
--	----------------	----------	-----------	-----------------	--------------

Número de Casos	13	3	1	0	17
Porcentagem	76%	18%	6%	0%	100%

Tabela 5.6 - Comportamento do diagnóstico de e2.

A região predominante dos resultados foi $T \rightarrow qDx$ *Inconsistente tendendo à quase Diagnóstico x*, em dezessete casos novos treze se encontraram nesta região, 76%, a região T com 18%, a região Dx com ocorrência de um caso e com nenhuma ocorrência a região $Dx \rightarrow qDx$.

A região $T \rightarrow qDx$ predomina sobre as outras devido às características das Variáveis de Controle, C1 e C3, e dos Graus de Certeza e Incerteza, GC e GI, conforme explicado no capítulo 2 e 3. Da tabela 5.4 observa-se que o Grau de Certeza é sempre menor que o Grau de Incerteza, $GC < GI$, o que satisfaz a condição da determinação desta região.

A região T ocorre quando o Grau de Incerteza for maior que a Variável de Controle C3, $GI \geq C3$, condição satisfeita para três casos conforme a tabela 5.6.

A região Dx ocorre quando o Grau de Certeza for maior que a Variável de Controle C1, $GC \geq C1$, condição satisfeita para um caso conforme a tabela 5.5 e pode-se observar também pela tabela 5.4 que neste caso o GC foi de valor máximo 1, e o GI foi de valor mínimo 0.

A falta de ocorrência da região $Dx \rightarrow qDx$ se deve ao fato que não houve casos que apresentasse Grau de Certeza maior que Grau de Incerteza, $GC \geq GI$.

5.6 - COMENTÁRIOS

A idéia básica deste capítulo foi propor a junção da Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores na determinação de diagnósticos de um Raciocínio Baseado em Casos, ou seja, implementar o algoritmo Para-Especialista na estrutura do protótipo recuperador do RBC. O RBC-Para-Especialista oferece uma alternativa lógica baseada em duas teorias, a Lógica Paraconsistente e Sistema de Raciocínio, fazendo um tratamento lógico de forma Paraconsistente a fim de que as inconsistências e as incertezas

possam ser inseridas e tratadas, de um modo não trivial, numa estratégia de tomada de decisão automática.

Do item 5.5, da comparação dos resultados obtidos, aplicando-se os métodos RBC Tradicional e RBC-Para-Especialista pode-se observar:

- a) Os *casos recuperados* foram os mesmos para as duas técnicas, já que a técnica utilizada para tal, em ambas estruturas, foi da similaridade.
- b) Em relação aos *diagnósticos determinados* ocorrem situações de inconsistências na estrutura do RBC Tradicional, enquanto que na estrutura do RBC-Para-Especialista isto é evitado devido ao suporte fornecido pela LPA3v.
- c) Os *Novos Casos* têm como diagnóstico determinado, diagnósticos com novos índices indicando uma relação de pertinência com as ações de controle da base de conhecimento através do *Grau de Especialidade* da LPA3v.
- d) Em relação ao *diagnóstico e2*, dado por um especialista com maior conhecimento no assunto, suas respostas são analisadas em regiões do QUPC, que se restringem à região que situada acima da LPC - Linha Perfeitamente Consistente e abaixo da LPI - Linha Perfeitamente Inconsistente. A região predominante dos resultados obtidos foi 'Inconsistente tendendo à quase Diagnóstico x', $T \rightarrow qDx$, isto ocorreu devido às características das Variáveis de Controle, C1 e C3 e dos Graus de Certeza e Incerteza, GC e GI, sendo que os comportamentos dos Graus satisfazem a condição de que: $GC < GI$. A região de 'Inconsistência', T, ocorre para $GI \geq C3$. A região 'Diagnóstico x', Dx, ocorre para $GC \geq C1$. A falta de ocorrência da região $Dx \rightarrow qDx$ se deve ao fato que não houve casos que apresentassem $GC \geq GI$.

Pode-se concluir que a junção das técnicas *LPA3v e RBC* apresentada foi alcançada com sucesso, satisfazendo a proposta de se ter uma estrutura híbrida. Visto que algumas situações do RBC tradicional apresentaram inconsistências nos seus dados. Assim, com a introdução da LPA3v no RBC para tomada de decisões automática, os mesmos foram tratados adequadamente, fornecendo respostas mais condizentes com a realidade, de forma que os casos recuperados eram consistentes com seus respectivos diagnósticos. É importante notar que este tipo de sistema híbrido pode ser implementado para resolver diversas situações do mundo real.

CAPÍTULO 6

RESTABELECIMENTO DE SUBESTAÇÕES

ELÉTRICAS COM RBC-PARA- ESPECIALISTA

6.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma subestação necessita de um controle permanente e supervisão de seus componentes, que sejam feitos automaticamente, o mais rápido possível e com o maior grau de confiabilidade. Para esse controle já existem programas que desempenham esta tarefa.

Este capítulo tem como objetivo utilizar a Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v e a Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v em um Sistema de Raciocínio Baseado em Casos, para resolver problemas de um restabelecimento de subestação elétrica de uma maneira mais efetiva, modelando estes sistemas complexos baseados no comportamento mais próximo do ser humano.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: na seção 6.2 comenta-se sobre a funcionalidade do restabelecimento de subestações, na seção 6.3 descreve-se sobre os dados operacionais do restabelecimento automático, na seção 6.4 descreve-se numericamente o restabelecimento automático, na seção 6.5 apresenta-se uma extensão do RBC - Para - Especialista, na seção 6.6 apresentam-se estratégias utilizadas para o restabelecimento, na seção 6.7 apresentam-se exemplos ilustrativos de restabelecimento e finaliza o capítulo com a seção 6.8 com alguns comentários.

6.2 - RESTABELECIMENTO DE SUBESTAÇÕES

Uma interrupção no fornecimento de energia aos consumidores é considerada uma condição anormal, originando grandes perturbações. Porém, são inevitáveis a ocorrências de defeitos em um sistema de potência, sejam de causas internas ou externas, de fenômenos elétricos ou ambientais ou ainda humanos. Procura-se minimizar os seus

efeitos e garantir a continuidade da operação através de técnicas e equipamentos na recomposição do sistema após desligamentos parciais ou totais de seus equipamentos.

Um sistema que possui o restabelecimento automático para iniciar ou não a recomposição do sistema deve estar preparado para fazer uma avaliação das causas da ocorrência, delimitar a área com defeito pela atuação da proteção e caracterizar o tipo do defeito, se permanente ou transitório. O restabelecimento da subestação se inicia após a eliminação do defeito [CEMIG, 91b]. Os relés de proteção sentem a anormalidade através das características de funcionamento do sistema, que são: tensão, corrente, frequência, etc. Após detectarem essa anormalidade acionam o equipamento de manobra para isolar o componente defeituoso.

Dependendo do arranjo da subestação, algumas partes sem problemas são envolvidas no desligamento, devido à ausência de equipamentos de manobras adequados para interromper correntes de curto-circuito elevadas.

O defeito pode ser de ordem transitória ou permanente. Se for transitório, os componentes desenergizados podem ser colocados em operação por um esquema de restabelecimento automático, após o tempo de eliminação da falta. No caso do defeito ser permanente, a parcela do sistema que realmente apresenta o defeito fica desenergizada aguardando manutenção, isso é feito através de manobras das chaves seccionadoras. O restabelecimento de partes dos componentes desenergizados deve seguir a ordem de importância da tabela 6.1 abaixo:

Fontes	Linha de Transmissão
Transformação	Transformadores
	Auto-transformadores
Carga	Linha de Transmissão
	Alimentadores
Controle	Banco de capacitores
	Reatores e Síncronos

Tabela 6.1 - Hierarquia de Restabelecimento

A função básica do restabelecimento é diminuir o tempo total de paralisação do fornecimento de energia aos consumidores, de forma segura e eficiente. Quanto mais eficiente o sistema de restabelecimento automático, menor o tempo e o número de consumidores interrompidos.

Os dados do processo de restabelecimento de subestação se constituem na seqüência de operações, nos estados pré e pós falta dos equipamentos de manobra e dos

relés de proteção. O restabelecimento terá sua seqüência definida após uma análise desses dados.

Devido à complexidade operativa de uma subestação, pois agrupa vários conceitos e domínios, torna-se necessário arquitetar todo o conjunto de operações para obter resultados, implementando cada fração. Havendo a necessidade de tratamento e validação das medições (dados de entrada) e do diagnóstico (identificação da necessidade de ação) para a determinação de estratégias de ação operativa [**Lambert - Torres, 93**].

6.2.1 - RESTABELECIMENTO INTELIGENTE

A operação de uma subestação é complexa devido à grande quantidade de variáveis que devem ser manipuladas. O operador da mesma tem que ser capaz de manipular vários tipos de dados e informações, a fim de responder às mais diversas solicitações no que se refere à supervisão e controle de subestações.

Com a tecnologia digital introduzida nas subestações e com a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial, torna-se viável o seu processo de automação, além do aumento de qualidade no modo de operá-la [**CIGRÉ, 93a**] [**CIGRÉ, 93b**].

Um sistema automático de restabelecimento de subestação pode ser definido de forma a normalizar operativamente a subestação após desligamentos parciais ou totais de seus componentes, reintegrando-a ao sistema de forma estável. Ainda deve ser viável a sua utilização no automatismo de religamentos ou no restabelecimento de componentes após desligamentos manuais ou forçados [**Ribeiro, 92a**].

O restabelecimento da configuração normal de operação de uma subestação, após uma contingência, é estruturado por critérios pré-estabelecidos por estudos de engenharia e inclui o raciocínio de identificação da necessidade de ações de restabelecimento, de validação de medições, de diagnóstico e de estruturação do plano de manobras. Todas essas funções de aspecto decisório podem ser automatizadas através de técnicas de Inteligência Artificial [**Lambert - Torres, 92**] [**Ribeiro, 92b**].

As técnicas em Inteligência Artificial aplicada em automação são das mais variadas devido ao grande avanço tecnológico e ao grande número de pesquisas que vem sendo realizadas.

6.2.2 - TÉCNICA DE RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO DE SUBESTAÇÕES

O objetivo é o de restabelecer a subestação de forma eficiente e rápida, reintegrando-a ao sistema elétrico de potência o mais próximo possível da configuração em que se encontrava antes da perturbação, excluindo apenas os componentes defeituosos ou afetados por faltas permanentes, e aqueles que poderiam levar novamente a subestação ou o sistema à nova ocorrência [Ribeiro, 92a].

As linhas mestras de raciocínio adotadas pelo operador da subestação devem ser explícitas para estabelecer a técnica dos procedimentos do restabelecimento automático, quando da ocorrência da contingência.

Ao longo do processo de recomposição da subestação, a cada manobra de restabelecimento é avaliada a influência nas condições operativas do sistema, de forma a validar o que já foi realizado e liberar para a próxima execução do restabelecimento.

6.3 - DESCRIÇÃO DE UM RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA

Nesta seção é descrito o restabelecimento automático de uma subestação elétrica típica do sistema elétrico da CEMIG, assim como os diagnósticos desejáveis para uma determinada configuração da subestação e os vários tipos de diagnósticos possíveis de se encontrar.

A subestação considerada neste trabalho é a mostrada na figura 6.1, sendo do tipo Barra Principal e de Transferência, um dos modelos mais utilizados pela CEMIG [Ribeiro, 92a].

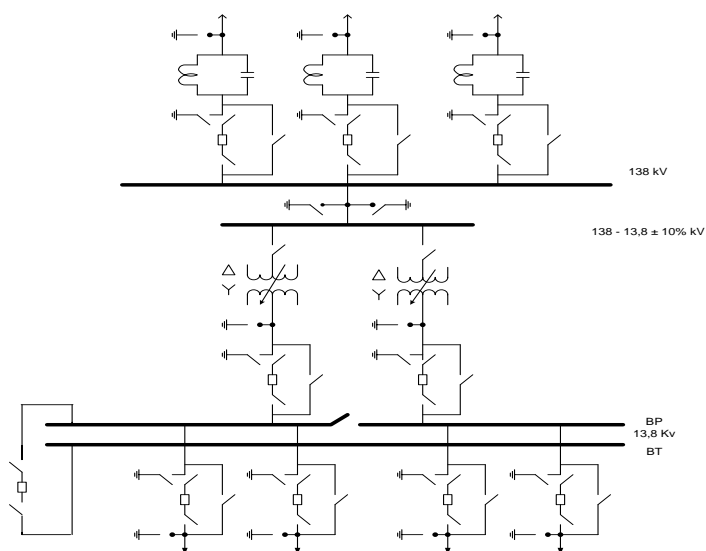


Figura 6.1 - Arranjo da subestação elétrica estudada.

Para um melhor entendimento do restabelecimento da subestação elétrica acima, a figura 6.1 é representada de forma mais compacta, simplificando sua configuração.

Assim a subestação estudada é mostrada pela figura 6.2 a seguir.

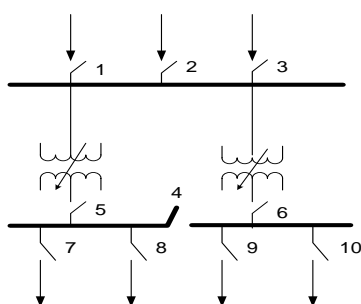


Figura 6.2 - Arranjo simplificado da subestação elétrica.

6.3.1 - DADOS E PROCEDIMENTOS OPERATIVOS DA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA

No exemplo ilustrativo mostrado neste capítulo assume-se que, as três linhas que fornecem energia à subestação têm uma mesma disponibilidade de oferta, 35 MW.

O sistema possui três tipos de carregamento durante o dia: carregamento leve, moderado e de ponta (pesado), de forma que as demandas são alteradas no período, dependendo da hora do dia. Supondo que as quatro cargas são equilibradas, tem-se que:

- a) Durante o carregamento leve - demanda de 10 MW;
- b) Durante o carregamento moderado - demanda de 15 MW;
- c) Durante o carregamento de ponta - demanda de 25 MW.

A potência nominal de cada um dos transformadores é de 50 MVA.

Após uma contingência na subestação elétrica especificada na figura 6.2, o restabelecimento da configuração normal de operação vai incluir um raciocínio de identificação da necessidade de ações e de um plano de manobras das chaves.

A configuração da subestação possui algumas restrições e necessidades para o restabelecimento, tais como:

- a) A chave 4 somente pode ser ligada quando apenas um dos dois transformadores estiver energizado;
- b) É necessário que a chave 7 seja ligada em qualquer situação após uma contingência.

6.3.2 - TIPOS DE DIAGNÓSTICOS

Os diagnósticos desejáveis no restabelecimento da configuração normal e os vários tipos de diagnósticos possíveis de se encontrar para as diferentes configurações da subestação após uma ocorrência de contingência são denominados neste trabalho como:

- *Diagnóstico Ótimo - O*

É aquele diagnóstico que se *deseja* para o restabelecimento da condição normal da subestação, sem violar nenhuma condição técnica nem deixar se suprir alguma das necessidades esperadas.

- *Diagnóstico Correto - C*

É aquele diagnóstico que *está correto* para restabelecer a condição normal da subestação, ou seja, não viola nenhuma condição técnica, mas deixa de suprir alguma das necessidades esperadas.

- *Diagnóstico Não Correto - NC*

É aquele diagnóstico que *não está correto* para restabelecer a condição normal da subestação, de forma que viola alguma condição técnica e/ou deixa de suprir algumas das necessidades esperadas.

- *Diagnóstico Mínimo - MIN*

É aquele diagnóstico que não muda nenhuma condição operativa da subestação, ou seja, a posição final das chaves é igual à posição inicial, não resultando em nenhuma mudança.

Um exemplo de cada diagnóstico pode ser conseguido, para a subestação operando com **carregamento leve**, utilizando-se como estado inicial da subestação a posição das chaves como mostrado na figura 6.3.

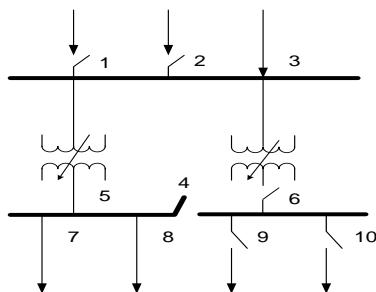


Figura 6.3 - Configuração da subestação elétrica selecionada.

De acordo com a figura acima, as chaves possuem a seguinte característica para a atual configuração:

Chave 1 - Desligada;	Chave 6 - Desligada;
Chave 2 - Desligada;	Chave 7 - Ligada;
Chave 3 - Ligada;	Chave 8 - Ligada;
Chave 4 - Desligada;	Chave 9 - Desligada;
Chave 5 - Ligada;	Chave 10 - Desligada.

Para esta situação o sistema apresenta os seguintes diagnósticos:

Diagnóstico Ótimo - O

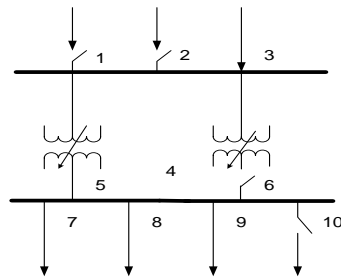


Figura 6.4 - Configuração do diagnóstico ótimo para subestação.

- Características:
- Chave 4 - Ligada;
 - Chave 7 - Ligada;
 - Chave 8 - Ligada;
 - Chave 9 - Ligada;
 - Chave 10 - Desligada.

Comentários: Como somente a chave 3 está ligada, então a potência fornecida para a subestação é de apenas 35 MW, além disso, a subestação se encontra com um carregamento leve e um dos transformadores foi afetado pela contingência, logo a chave 4 pode ser ligada e, de acordo com as demandas das cargas, as chaves 7, 8 e 9 também são ligadas. Lembrando que uma exigência do sistema é de que a carga referente à chave 7 seja sempre atendida logo após uma contingência, ou seja, que a chave 7 seja sempre ligada. Assim, a configuração não viola nenhuma condição técnica e nem deixa de suprir qualquer das necessidades esperadas. De forma que esta é a configuração do *diagnóstico ótimo*.

Diagnóstico Correto - C

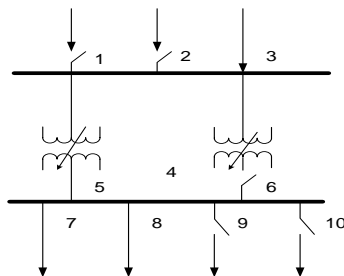


Figura 6.5 - Configuração do diagnóstico correto para subestação.

Características: Chave 4 - Ligada;
 Chave 7 - Ligada;
 Chave 8 - Ligada;
 Chave 9 - Desligada;
 Chave 10 - Desligada.

Comentários: Assim como no diagnóstico ótimo, as restrições e necessidades descritas para subestação continuam as mesmas, entretanto nas características descritas acima, as chaves ligadas são 4, 7 e 8, as quais restabelece a condição normal da subestação, não violando nenhuma condição técnica, mas deixando de suprir a necessidade da carga 9. De forma que esta é a configuração do *diagnóstico correto*.

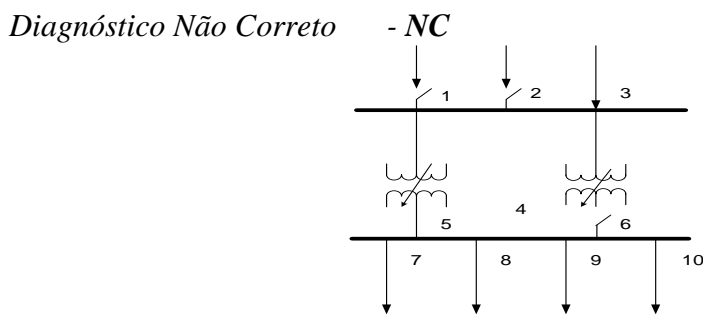


Figura 6.6 - Configuração do diagnóstico não correto para subestação.

Características: Chave 4 - Ligada;
 Chave 7 - Ligada;
 Chave 8 - Ligada;
 Chave 9 - Ligada;
 Chave 10 - Ligada.

Comentários: Assim como nos diagnósticos anteriores, as restrições e necessidades descritas para subestação continuam as mesmas, porém nas características descritas acima as chaves ligadas são 4, 7, 8, 9 e 10, situação que viola tecnicamente o restabelecimento, já que de 35 MW de potência fornecida não supri as cargas 7, 8, 9 e 10 (40 MW). De forma que esta é a configuração do *diagnóstico não correto*.

Diagnóstico Mínimo - *MIN*

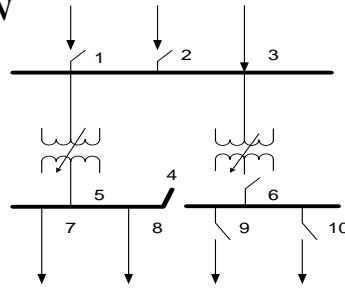


Figura 6.7 - Configuração do diagnóstico mínimo para subestação.

Características: Chave 4 - Desligada;
Chave 7 - Ligada;
Chave 8 - Ligada;
Chave 9 - Desligada;
Chave 10 - Desligada.

Comentários: Como já foi mencionada, a resposta do diagnóstico mínimo é igual à posição inicial das chaves, não trazendo nenhum fato novo que possa ser aplicado à subestação. De forma que esta é a configuração do *diagnóstico mínimo*.

Para uma situação que não seja *mínima* adota-se a denominação de *situação não mínima*.

6.4 - DESCRIÇÃO NUMÉRICA DE UM RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO

Nesta seção é apresentada uma descrição numérica para a determinação de diagnósticos no restabelecimento automático de uma subestação elétrica a fim de aplicar o programa "RBC - Para - Especialista", ou seja, aplicar a lógica paraconsistente anotada de três valores em um RBC de restabelecimento de subestações.

6.4.1 - DOMÍNIO DE DECISÃO

O operador da subestação controla a posição de cinco chaves na subestação: 4, 7, 8, 9 e 10, conforme mostrado na figura 6.8. Para tal, ele deve observar a posição das dez

chaves e o carregamento da subestação. As chaves 1, 2, 3, 5 e 6 são operadas automaticamente pelo sistema de proteção. As ações do operador podem ser descritas por uma tabela de decisão sendo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e CR "atributos de condições", e 4, 7, 8, 9 e 10 "atributos de decisão".

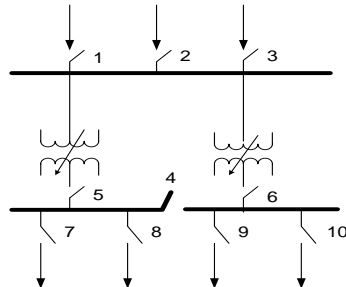


Figura 6.8 - Arranjo da subestação elétrica estudada.

Os valores dos atributos de condições quando combinados correspondem a configurações específicas da subestação elétrica, e para cada um desses atributos esperam-se ações apropriadas para que o restabelecimento seja executado. Na figura 6.9 é determinada a importância de cada chave para a subestação estudada:

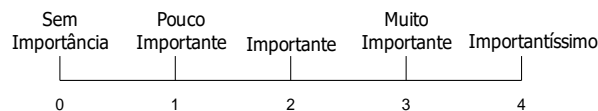


Figura 6.9 - Determinação da Importância das Chaves.

Na figura 6.10 é determinada a importância do *Carregamento da Subestação*:

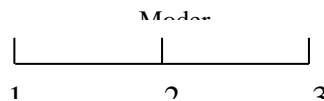


Figura 6.10 - Determinação da Importância do Carregamento da Subestação.

Todos os atributos e seus valores são listados conforme Tabela 6.2.

ATRIBUTOS	DESCRIÇÕES	EXTENSÃO DA ESCALA DE IMPORTÂNCIA
Condição	1 - Chave 1	0 - aberto ou 1 - fechado
Condição	2 - Chave 2	0 - aberto ou 1 - fechado
Condição	3 - Chave 3	0 - aberto ou 1 - fechado
Condição	4 - Chave 4	0 - aberto ou 2 - fechado
Condição	5 - Chave 5	0 - aberto ou 3 - fechado
Condição	6 - Chave 6	0 - aberto ou 2 - fechado
Condição	7 - Chave 7	0 - aberto ou 4 - fechado
Condição	8 - Chave 8	0 - aberto ou 1 - fechado
Condição	9 - Chave 9	0 - aberto ou 1 - fechado
Condição	10 - Chave 10	0 - aberto ou 1 - fechado
Condição	CR - Carregamento	1 - leve, 2 - moderado ou 3 - pesado
Decisão	4 - Chave 4	0 - aberto ou 2 - fechado
Decisão	7 - Chave 7	0 - aberto ou 4 - fechado
Decisão	8 - Chave 8	0 - aberto ou 1 - fechado
Decisão	9 - Chave 9	0 - aberto ou 1 - fechado
Decisão	10 - Chave 10	0 - aberto ou 1 - fechado

Tabela 6.2 - Especificação das Descrições e suas extensões.

6.4.2 - BASE DE CONHECIMENTO

Esta base de conhecimento consiste, neste exemplo, de 32 casos, relacionando estados iniciais das chaves e seus diagnósticos como segue na Tabela 6.3:

CASOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CR	Diagnóstico
1	1	0	0	0	0	2	0	0	1	1	1	D1
2	1	0	1	0	0	2	0	0	1	1	2	D1
3	1	0	0	0	3	0	4	1	0	0	1	D1
4	0	0	1	0	3	0	4	1	0	0	1	D2
5	1	1	0	0	3	0	4	1	0	0	2	D2
6	0	1	0	0	3	0	4	1	0	0	1	D2
7	0	1	0	0	0	2	0	0	1	1	1	D3
8	0	1	1	0	0	2	0	0	1	1	2	D3
9	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	D4
10	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	3	D4
11	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	3	D4
12	1	0	0	0	0	2	0	0	1	1	2	D5
13	1	1	1	0	0	2	0	0	1	1	3	D5
14	1	1	0	0	3	0	4	1	0	0	1	D6
15	1	1	1	0	3	0	4	1	0	0	1	D6

16	0	0	1	0	0	2	0	0	1	1	2	D7
17	0	0	1	0	0	2	0	0	1	1	1	D7
18	0	1	0	0	0	2	0	0	1	1	2	D8
19	1	1	0	0	0	2	0	0	1	1	3	D8
20	1	0	0	0	3	2	4	1	0	0	2	D9
21	1	1	1	0	3	0	4	1	0	0	3	D9
22	1	1	0	0	3	2	4	1	1	1	2	D10
23	1	1	1	0	3	2	4	1	1	1	3	D10
24	0	1	0	0	3	2	4	0	1	1	1	D11
25	1	0	0	0	3	2	4	1	0	1	1	D12
26	0	1	1	0	3	2	4	0	1	0	3	D13
27	1	0	0	0	3	2	4	0	1	0	2	D13
28	1	0	1	0	3	2	4	0	0	1	3	D14
29	1	0	0	0	3	2	4	0	0	1	2	D14
30	0	0	1	0	3	0	4	0	0	0	3	D15
31	0	0	1	0	3	2	4	0	0	0	3	D15
32	0	1	0	0	3	2	1	1	1	0	1	D16

Tabela 6.3 - Base de Conhecimento.

Na Tabela 6.4 são mostrados os possíveis diagnósticos e sua identificação referentes às suas descrições.

DIAGNÓSTICO	4	7	8	9	10
D1	2	4	1	1	0
D2	2	4	1	0	1
D3	2	4	0	1	1
D4	2	4	0	0	0
D5	2	4	0	0	1
D6	2	4	1	1	1
D7	2	4	0	1	0
D8	2	4	1	0	0
D9	0	4	1	0	0
D10	0	4	1	1	1
D11	0	4	0	1	1
D12	0	4	1	0	1
D13	0	4	0	1	0
D14	0	4	0	0	1
D15	0	4	0	0	0
D16	0	4	1	1	0

Tabela 6.4 - Diagnósticos e suas características

A base de conhecimento é um resultado da experiência do especialista, logo é uma situação muito particular de cada subestação, já que as ocorrências de contingências são

experiências localizadas em suas áreas e o restabelecimento para a configuração normal é específico para cada situação. Não obstante este fato, as tabelas 6.4 e 6.5 podem ser obtidas de chaveamentos passados da subestação ou de estudos teóricos nela realizados.

Definido os diagnósticos e as características do restabelecimento para a base de conhecimento acima, o objetivo agora é aplicar o programa RBC - Para - Especialista para resolver o problema de restabelecimento se subestação para qualquer arranjo.

6.5 - EXTENSÃO DO RBC - PARA - ESPECIALISTA

Para fazer a implementação do algoritmo "Para-Especialista" em um RBC que tem como domínio o restabelecimento de uma subestação elétrica, propõe-se um modelo que sugere ações de controle restritas somente aos casos da base de conhecimento fornecida, e não mais, como na técnica utilizada no capítulo anterior, que sugere ações de controle dos casos de toda memória.

A diferença entre as técnicas está na manipulação do Grau de Casamento. O Novo Grau de Casamento é calculado como segue:

$$NGcas^k = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i^n \omega_i^{pk} \left(1 - \left(\frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right) \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (\omega_i^n)^2 \sum_{i=1}^m (\omega_i^{pk})^2}} \times e$$

Para $i = 1, \dots, m$ (descrições)

Para $k = 1, \dots, r$ (casos prévios);

$1 - \left(\frac{(x_i - y_i)}{R_i} \right) \equiv$ Denota a semelhança na i -ésima descrição do novo caso e um prévio.

$e \equiv$ denota o Grau de Especialidade da LPA3v que relaciona o grau de pertinência em relação ao diagnóstico Dx que está sendo analisado.

A arquitetura projetada para implementar o modelo é vista na figura 6.11.

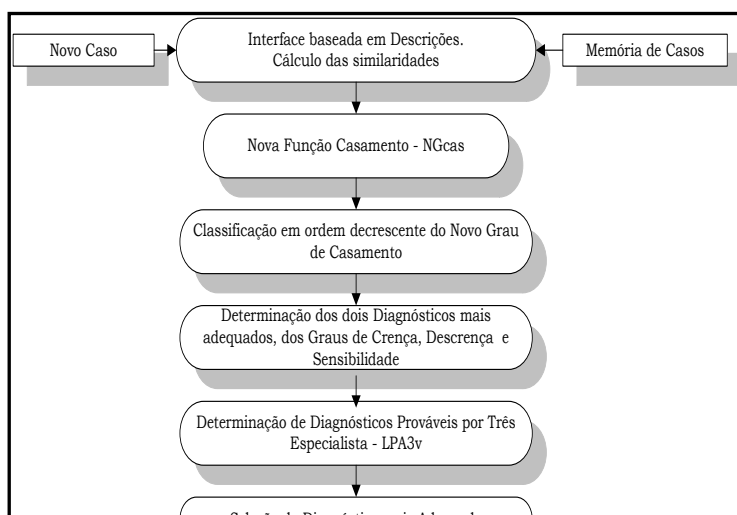


Figura 6.11 - Arquitetura de um Protótipo Recuperador com LPA3v para Restabelecimento de SE.

No primeiro módulo, as entradas do novo caso e dos casos da memória são realizadas da mesma forma que nos protótipos anteriores apresentados, isto é, através das similaridades.

No segundo módulo, calcula-se o Novo Grau de Casamento mostrado anteriormente.

No terceiro módulo, classifica-se em ordem decrescente o Novo Grau de Casamento, é neste módulo que é destacada a diferença entre o protótipo recuperador do capítulo anterior: *O Novo Grau de Casamento (NGcas) é calculado a partir do Grau de Especialidade da LPA3v de cada caso, sendo que para os casos da base de conhecimento seu valor é sempre máximo, ou seja, igual a 1, e para os casos novos seu valor sempre é menor do que 1, com exceção do caso novo que for igual a algum caso da base de conhecimento.* Com este procedimento, durante a classificação em ordem decrescente dos Graus de Casamento todos os graus dos casos da base de conhecimento se ordenarão primeiramente para depois vir à ordenação dos graus dos casos novos, ou seja, a procura se restringe somente aos casos da base de conhecimento inicial.

A seguir é mostrado um exemplo ilustrativo da extensão do RBC-Para-Especialista para uma subestação elétrica que tenha as seguintes características mostradas na figura 6.12 abaixo.

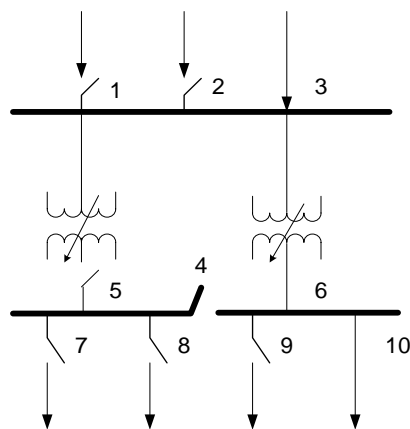


Figura 6.12 - Arranjo da subestação elétrica utilizada na Extensão do RBC-Para-Especialista.

CASO NOVO - [0 0 1 0 0 2 0 0 0 1 3]

ANÁLISE DE RECUPERACAO DE CASOS

CASO NOVO:	0 0 1 0 0 2 0 0 0 1 3
Caso encontrado na Base de Conhecimento: 0	
- Nenhum Caso Encontrado	

Início do Processo de Cálculo

ORDEM	Ngcas	CASO	DIAGNÓSTICO
1	0.8199	9	4
2	0.8199	10	4
3	0.8199	11	4
4	0.8000	13	5
5	0.8000	28	14
6	0.7877	31	15
7	0.7591	19	8
8	0.7454	30	15
9	0.7333	26	13
10	0.7303	23	10
11	0.6667	21	9
12	0.6390	16	7

13	0.6025	2	1
14	0.6025	7	3
15	0.5477	12	5
16	0.5477	18	8
17	0.5164	29	14
18	0.4619	17	7
19	0.4472	22	10
20	0.4303	20	9
21	0.4303	27	13
22	0.3464	1	1
23	0.3464	8	3
24	0.3443	5	2
25	0.2928	24	11
26	0.2928	25	12
27	0.2309	4	2
28	0.1952	15	6
29	0.1952	32	16
30	0.1155	3	1
31	0.1155	6	2
32	0.1054	14	6

Diagnósticos em Decisão:	$Dx - Dy = 4 - 5$
Valor do Grau de Crença:	$\mu_1 = 0.8199$
Valor do Grau de Descrença:	$\mu_2 = 0.8000$
Grau do Especialista Gerado:	$e = 0.0199$
Valor da Sensibilidade s.	0.1000

DETERMINAÇÃO DO DIAGNÓSTICO NA LPA3v

Para Grau do Especialista Gerado - e: 0.0199			
Pontos Notáveis para e:			
qD4 =	1.0000; 0.9801		
qD8 =	0.9801; 1.0000		
q-D4 =	0.0000; 0.0199		
q-D8 =	0.0199; 0.0000		
Valores de Controle para e:			
C1 =	0.0199 C2 = -0.0199		
C3 =	0.9801 C4 = -0.9801		
Determinação do Diagnóstico para e: D4			
A Análise será feita para as variações de e:			
e1 =	-0.0801	e2 = 0.1199	
Novos Valores para s, e1(MAIOR OU IGUAL A ZERO) e e2:			
Novo s =	0.0100	Novo e1 = 0.0099	Novo e2 = 0.1199

Para Grau de Especialidade 1:	$e1 = 0.0099$		
Pontos Notáveis para e1:			
qD4 =	1.0000; 0.9901		
qD8 =	0.9901; 1.0000		
q→D4 =	0.0000; 0.0099		
q→D8 =	0.0099; 0.0000		
Valores de Controle para e1:			
C1 =	0.0099	C2 =	-0.0099
C3 =	0.9901	C4 =	-0.9901
Determinação do Diagnóstico para e1:		D4	

Para Grau de Especialidade 2:	$e2 = 0.1199$		
Pontos Notáveis para e2:			
qD8 =	1.0000; 0.8801		
qD4 =	0.8801; 1.0000		
q→D8 =	0.0000; 0.1199		
q→D4 =	0.1199; 0.0000		
Valores de Controle para e2:			
C1 =	0.1199	C2 =	-0.1199
C3 =	0.8801	C4 =	-0.8801
Determinação do Diagnóstico para e2:		TqD4	

DIAGNÓSTICOS PROVÁVEIS NA LPA3v

Para e2:	T→qD4
Para e:	D4
Para e1:	D4

NOVA BASE DE CONHECIMENTO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CR	Diag.	Ação de Contr.	e	Diag de e2	Caso Recup.
1	1	0	0	0	0	2	0	0	1	1	1	D1	-	-	-	-
2	1	0	1	0	0	2	0	0	1	1	2	D1	-	-	-	-
3	1	0	0	0	3	0	4	1	0	0	1	D1	-	-	-	-
4	0	0	1	0	3	0	4	1	0	0	1	D2	-	-	-	-
5	1	1	0	0	3	0	4	1	0	0	2	D2	-	-	-	-
6	0	1	0	0	3	0	4	1	0	0	1	D2	-	-	-	-
7	0	1	0	0	0	2	0	0	1	1	1	D3	-	-	-	-
8	0	1	1	0	0	2	0	0	1	1	2	D3	-	-	-	-
9	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	D4	-	-	-	-
10	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	3	D4	-	-	-	-
11	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	3	D4	-	-	-	-
12	1	0	0	0	0	2	0	0	1	1	2	D5	-	-	-	-

13	1	1	1	0	0	2	0	0	1	1	3	D5	-	-	-	-
14	1	1	0	0	3	0	4	1	0	0	1	D6	-	-	-	-
15	1	1	1	0	3	0	4	1	0	0	1	D6	-	-	-	-
16	0	0	1	0	0	2	0	0	1	1	2	D7	-	-	-	-
17	0	0	1	0	0	2	0	0	1	1	1	D7	-	-	-	-
18	0	1	0	0	0	2	0	0	1	1	2	D8	-	-	-	-
19	1	1	0	0	0	2	0	0	1	1	3	D8	-	-	-	-
20	1	0	0	0	3	2	4	1	0	0	2	D9	-	-	-	-
21	1	1	1	0	3	0	4	1	0	0	3	D9	-	-	-	-
22	1	1	0	0	3	2	4	1	1	1	2	D10	-	-	-	-
23	1	1	1	0	3	2	4	1	1	1	3	D10	-	-	-	-
24	0	1	0	0	3	2	4	0	1	1	1	D11	-	-	-	-
25	1	0	0	0	3	2	4	1	0	1	1	D12	-	-	-	-
26	0	1	1	0	3	2	4	0	1	0	3	D13	-	-	-	-
27	1	0	0	0	3	2	4	0	1	0	2	D13	-	-	-	-
28	1	0	1	0	3	2	4	0	0	1	3	D14	-	-	-	-
29	1	0	0	0	3	2	4	0	0	1	2	D14	-	-	-	-
30	0	0	1	0	3	0	4	0	0	0	3	D15	-	-	-	-
31	0	0	1	0	3	2	4	0	0	0	3	D15	-	-	-	-
32	0	1	0	0	3	2	1	1	1	0	1	D16	-	-	-	-
33	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	3	D17	D4	0.0199	T→qD4	C9

DIAGNÓSTICO MAIS ADEQUADO AO NOVO CASO:	
Caso mais adequado ao Novo Caso: CASO 9	
Diagnóstico encontrado:	17
Ação de Controle Indicada (Dx):	D4
Grau de Especialidade em Relação à Ação de Controle (Dx):	0.0199
Diagnóstico com maior grau de especialidade :	T→qD4

6.6 - DESCRIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS PARA O RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO

Na automatização do restabelecimento da configuração normal de operação das subestações é necessário um raciocínio de identificação das ações e de um plano de manobras das chaves ou plano de chaveamento, de forma que nesta seção descrevem-se as estratégias usadas para o restabelecimento automático e sobre a sua temporalidade.

6.6.1 - ESTRATÉGIAS USADAS PARA UM RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO OU PLANO DE CHAVEAMENTO

O problema será solucionado através da repetição do algoritmo descrito na seção anterior. Quando uma nova configuração surgir na subestação, ela será apresentada ao algoritmo podendo resultar, como visto, em 4 respostas: *O*, *C*, *NC* e *MIN*. As regras da estratégia serão então as seguintes:

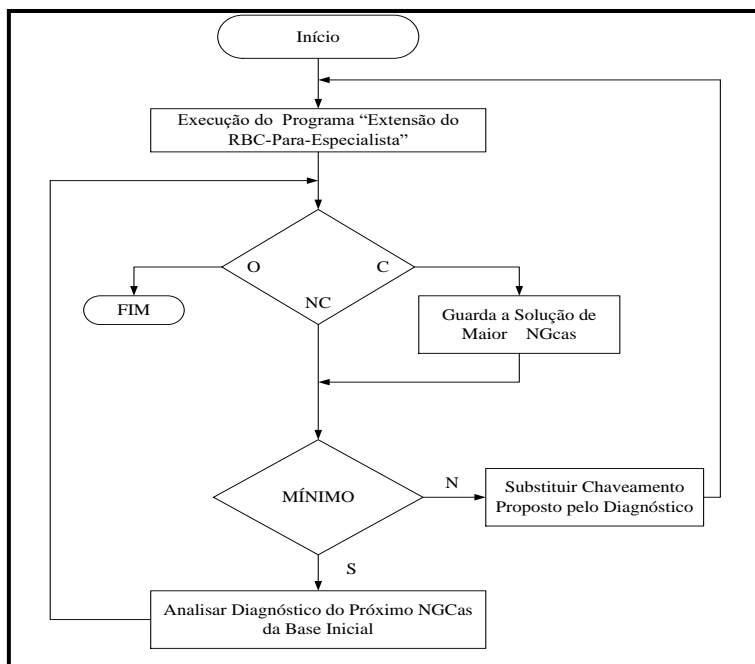


Figura 6.13 - Fluxograma do algoritmo para o restabelecimento de uma subestação elétrica.

Por simplicidade não se colocou no fluxograma um contador, que na prática existe para determinar o número máximo de iterações que se permitirá de execuções do programa, para se encontrar a solução.

6.6.2 - TEMPORALIDADE ou EXTENSÃO DA LPA3v PARA LPA4v

Retomando o Cubo analisador unitário da LPA3v, pode-se analisar um ponto se movendo ao longo do cubo, como mostra a figura 6.14.

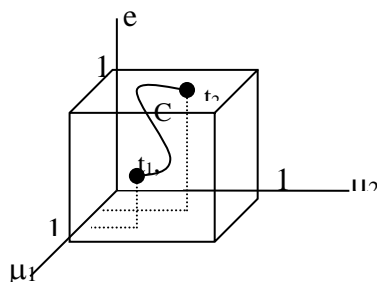


Figura 6.14 - Temporalidade no cubo unitário da LPA3v.

No tempo t_1 o ponto se encontra na posição s_1 , no tempo t_2 o ponto se encontra na posição s_2 , de forma que no decorrer do tempo o ponto descreve uma curva C no interior do Cubo Unitário.

Este comportamento permite introduzir na Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v mais uma variável anotada, o tempo t , estendendo assim para Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v. Na LPA4v o ponto no Cubo Unitário é representado pela quádrupla (μ_1, μ_2, e, t) , mostrado na figura 6.14. O intuito de introduzir mais uma variável anotada na representação do ponto é poder analisar a evolução comportamental dos especialistas.

Assim um *neófito* (especialista de grau $e=0$) face à sua inexperiência, vai adquirindo conhecimento à medida que a variável, tempo, vai transcorrendo e supõe-se que seu grau de especialidade vá aumentando a fim de se decidir entre os dois diagnósticos D_x ou D_y , que se encontram no topo do cubo unitário. Esta análise pode ser feita para qualquer nível de especialidade.

6.6.3 - A LPA4v NO RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO

Transladando a análise da LPA4v ao panorama do restabelecimento automático de uma subestação, significa que se pode visualizar o comportamento dos diagnósticos durante a execução do programa Extensão do RBC–Para-Especialista até atingir o seu objetivo, que é de encontrar o *Diagnóstico Ótimo* para a configuração da subestação após a ocorrência de uma contingência.

O gráfico 6.1, abaixo ilustra o comportamento dos diagnósticos para uma situação específica de restabelecimento automático usando a Extensão do RBC-Para-Especialista.

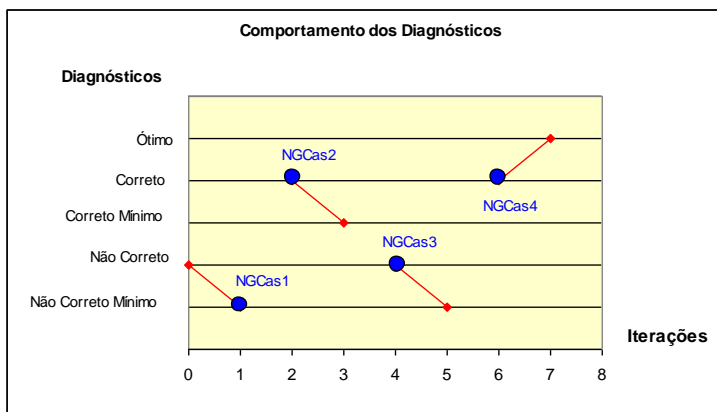


Gráfico 6.1 - Temporalidade dos diagnósticos.

6.7 - EXEMPLOS ILUSTRATIVOS DE RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO

Adota-se o arranjo simplificado da subestação elétrica de acordo com a figura 6.8 e a base de conhecimento de 32 casos de acordo com a tabela 6.3.

Assim pode-se fazer a simulação das estratégias estabelecidas no item 6.6 para alguns exemplos ilustrativos, de tal maneira que se possa analisar o comportamento dos diagnósticos no decorrer do tempo, sendo que a cada passo o algoritmo apresentado na seção anterior é executado.

6.7.1 - EXEMPLO DE RESTABELECIMENTO I

A configuração da subestação analisada após a ocorrência de uma contingência é mostrada na figura 6.15 abaixo, e possui um diagnóstico "correto".

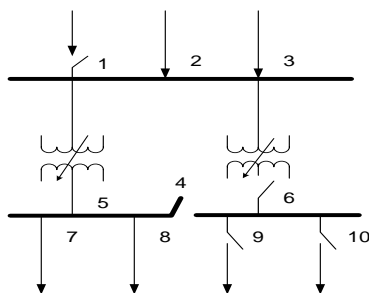


Figura 6.15 - Arranjo da subestação elétrica para o caso I.

Para o caso de entrada - [01103041001] de acordo com as descrições a configuração do sistema é tal que; a condição do carregamento da subestação é mínima, ou seja, menos importante (1) e as chaves possuem a seguinte característica:

- Chave 1 - Desligada; Chave 2 - Ligada; Chave 3 - Ligada;
- Chave 4 - Desligada; Chave 5 - Ligada; Chave 6 - Desligada;
- Chave 7 - Ligada; Chave 8 - Ligada; Chave 9 - Desligada;
- Chave 10 - Desligada.

Aplicando o algoritmo de restabelecimento proposto no item anterior, vem que:

a) PASSO: Execução do Programa para novo caso [01103041001]

Na execução do programa, as três primeiras soluções com maior grau de casamento foram:

N	GCas	Caso	Diag.	4	7	8	9	10
1	0.4211	15	6	2	4	1	1	1
2	0.4152	4	2	2	4	1	0	1
3	0.4152	6	2	2	4	1	0	1

Tabela 6.5 - Três primeiras soluções para o caso - [01103041001]

Então, se toma como saída desta etapa a **solução 1**, da tabela 6.5 acima, Diagnóstico 6.

b) PASSO: Determinação do Tipo de Diagnóstico

Observa-se que o diagnóstico para este estado da subestação é "ÓTIMO", pois nenhuma das condições técnicas é violada e toda a carga possível é alimentada.

Pode-se representar o comportamento do diagnóstico de acordo com o gráfico 6.2.

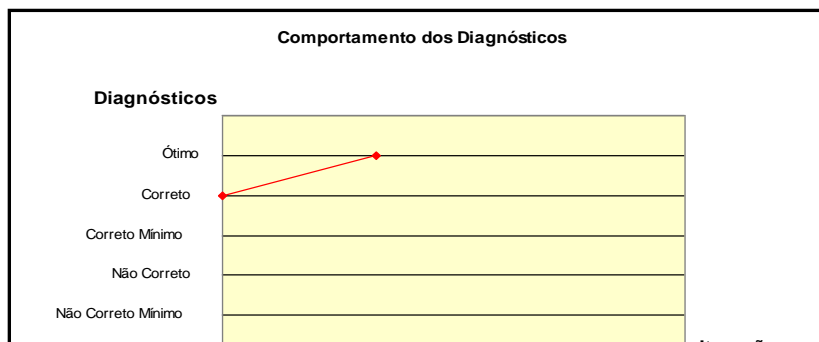


Gráfico 6.2 - Temporalidade do diagnóstico ótimo para uma configuração correta da SE.

Percebe-se do gráfico 6.2, o comportamento da temporalidade dos diagnósticos, partindo-se do diagnóstico CORRETO, para a subestação da figura 6.15, a primeira iteração do algoritmo encontra um diagnóstico ÓTIMO.

6.7.2 - EXEMPLO DE RESTABELECIMENTO II

A configuração da subestação analisada após a ocorrência de uma contingência é mostrada na figura 6.16 abaixo, e possui um diagnóstico "não correto".

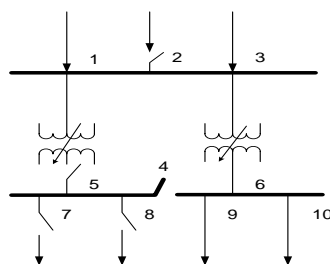


Figura 6.16 - Arranjo da subestação elétrica para o caso II.

Para o caso de entrada - [10100200111] de acordo com as descrições a configuração do sistema é tal que; a condição do carregamento da subestação é mínima, ou seja, menos importante (1) e as chaves possuem a seguinte característica:

Chave 1 - Ligada; Chave 2 - Desligada; Chave 3 - Ligada;

Chave 4 - Desligada; Chave 5 - Desligada; Chave 6 - Ligada;
 Chave 7 - Desligada; Chave 8 - Desligada; Chave 9 - Ligada;
 Chave 10 - Ligada.

Aplicando o algoritmo de restabelecimento proposto no item anterior, vem que:

a) PASSO: Execução do Programa para novo caso [10100200111]

Na execução do programa, as três primeiras soluções com maior grau de casamento foram:

N	GCas	Caso	Diag.	4	7	8	9	10
1	0.7454	1	D1	2	4	1	1	0
2	0.7454	17	D7	2	4	0	1	0
3	0.7037	2	D1	2	4	1	1	0

Tabela 6.6 - Três primeiras soluções para o caso - [10100200111]

Então, se toma como saída desta etapa a **solução 1**, da tabela 6.6 acima, Diagnóstico 1.

b) PASSO: Determinação do Tipo de Diagnóstico

Observa-se que o diagnóstico para este estado da subestação é "CORRETO", mas não "ótimo", pois nenhuma das condições é violada, mas nem toda a carga possível é alimentada.

c) PASSO: Armazena o Maior Grau de Casamento

d) PASSO: Determinação da Característica do Diagnóstico - Mínimo ou Não Mínimo

Observa-se que o diagnóstico é "não mínimo", pois muda pelo menos uma condição operativa da subestação, ou seja, a posição final das chaves não é igual à posição inicial.

e) PASSO: Substituição da Solução

Neste passo, substitui-se o plano de chaveamento proposto pelo diagnóstico 1, tal que, o novo caso a ser analisado é: [10120241101]

f) PASSO: Execução do Programa para o novo caso [10120241101]

Na execução do programa, as três primeiras soluções com maior grau de casamento foram:

N	GCas	Caso	Diag.	4	7	8	9	10
1	0.3509	15	D6	2	4	1	1	1
2	0.3509	25	D12	0	1	1	0	1
3	0.3509	32	D16	0	1	1	1	0

Tabela 6.7 - Três primeiras soluções para o caso - [10120241101]

Então, se toma como saída desta etapa a **solução 1**, Diagnóstico 6.

g) PASSO: Determinação do Tipo de Diagnóstico

Observa-se que o diagnóstico para este estado da subestação é "ÓTIMO", pois nenhuma das condições técnicas é violada e toda a carga possível é alimentada. Assim, pode-se representar o comportamento do diagnóstico de acordo com o gráfico 6.3.

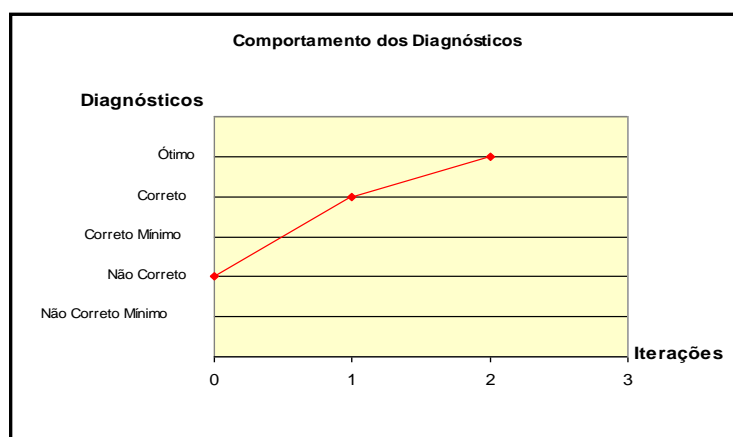


Gráfico 6.3 - Temporalidade do diagnóstico correto para uma configuração não correta da SE.

Percebe-se do gráfico 6.3, o comportamento da temporalidade dos diagnósticos, partindo-se do diagnóstico NÃO CORRETO para a subestação da figura 6.16, a primeira iteração do algoritmo determina um diagnóstico CORRETO, e já a segunda iteração encontra um diagnóstico ÓTIMO.

6.7.3 - EXEMPLO DE RESTABELECIMENTO III

A configuração da subestação analisada após a ocorrência de uma contingência é mostrada na figura 6.17 abaixo, e possui um diagnóstico “não correto”.

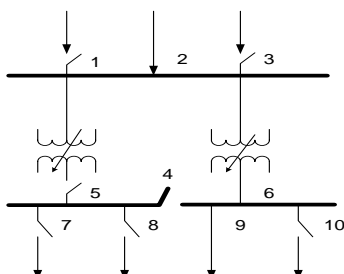


Figura 6.17 - Arranjo da subestação elétrica para o caso III.

Para o caso de entrada - [01000200103] de acordo com as descrições a configuração do sistema é tal que; a condição do carregamento de carga é a máxima, ou seja, muito importante (3) e as chaves possuem a seguinte característica:

Chave 1 - Desligada; Chave 2 - Ligada; Chave 3 - Desligada;

Chave 4 - Desligada; Chave 5 - Desligada; Chave 6 - Ligada;

Chave 7 - Desligada; Chave 8 - Desligada; Chave 9 - Ligada;

Chave 10 - Desligada.

Aplicando o algoritmo de restabelecimento proposto no item anterior, vem que:

a) PASSO: Execução do Programa para novo caso [01000200103]

Na execução do programa, as três primeiras soluções com maior grau de casamento foram:

N	Gcas	Caso	Diag.	4	7	8	9	10
1	0.8281	C19	D8	2	4	1	0	0
2	0.8199	C10	D4	2	4	0	0	0
3	0.8199	C11	D4	2	4	0	0	0

Tabela 6.8 - Três primeiras soluções para o caso - [01000200103]

Então, se toma como saída desta etapa a **solução 1**, da tabela 6.8 acima, Diagnóstico 8.

b) PASSO: Determinação do Tipo de Diagnóstico

Observa-se que o diagnóstico para este estado da subestação é "NÃO CORRETO", pois viola uma condição técnica. Como o carregamento é pesado (3), o mesmo não tem condições de suprir as cargas 7 e 8 ao mesmo tempo.

c) PASSO: Determinação da Característica do Diagnóstico - Mínimo ou Não Mínimo

Observa-se que o diagnóstico é "não mínimo", pois muda pelo menos uma condição operativa da subestação, ou seja, a posição final das chaves não é igual à posição inicial.

e) PASSO: Substituição da Solução

Neste passo, substitui-se o plano de chaveamento proposto pelo diagnóstico 8, tal que, o novo caso a ser analisado é: [0102024**1003**]

f) PASSO: Execução do Programa para o novo caso [0102024**1003**]

Na execução do programa, as três primeiras soluções com maior grau de casamento foram:

N	GCas	Caso	Diag.	4	7	8	9	10
1	0.5367	C10	D4	2	4	0	0	0
2	0.5237	C21	D9	0	4	1	0	0
3	0.5237	C26	D13	0	4	0	1	0

Tabela 6.9 - Três primeiras soluções para o caso - [0102024**1003**]

Então, se toma como saída desta etapa a **solução 1**, Diagnóstico 2.

g) PASSO: Determinação do Tipo de Diagnóstico

Observa-se que o diagnóstico para este estado da subestação é "ÓTIMO", pois nenhuma das condições técnicas é violada e toda a carga possível é alimentada. Assim, pode-se representar o comportamento do diagnóstico de acordo com o gráfico 6.4.

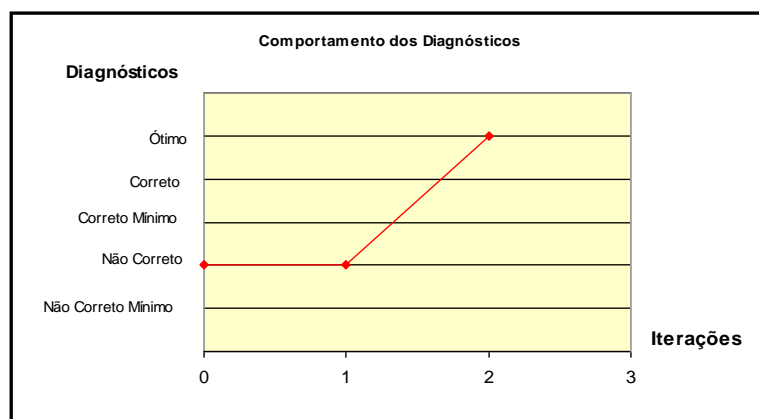


Gráfico 6.4 - Temporalidade do diagnóstico não correto para uma configuração não correta da SE.

Percebe-se do gráfico 6.4, o comportamento da temporalidade dos diagnósticos, partindo-se do diagnóstico NÃO CORRETO para a subestação da figura 6.17, a primeira iteração do algoritmo determina um diagnóstico NÃO CORRETO, e já a segunda iteração encontra um diagnóstico ÓTIMO.

6.8 - COMENTÁRIOS

Neste capítulo procurou-se esclarecer a complexidade das ações em um restabelecimento do sistema, além de se apresentar, brevemente, técnicas básicas de restabelecimento automático de subestações.

Utilizou-se um arranjo simplificado para representar a subestação elétrica estudada. Definiram-se os diagnósticos possíveis para restabelecer a configuração normal da subestação como: Diagnóstico Ótimo, Correto, Não Correto e Diagnóstico em situação de Mínimo.

Determinou-se a extensão da escala de importância das chaves da subestação e do carregamento de carga, com esses dados especificaram-se numericamente os atributos de condição como sendo as descrições [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 CR], os atributos de decisão [4 7 8 9 10], os possíveis diagnósticos que totalizaram em dezesseis, e definiu-se a *Base de Conhecimento de 32 casos*, em cima da qual se fez toda simulação.

Com relação ao programa RBC-Para-Especialista, fez-se uma *extensão* do mesmo, a fim de restringir as ‘Ações de Controle’ somente aos casos da base de conhecimento fornecida, e não mais, como na técnica utilizada no capítulo anterior, que sugere ações de controle dos casos de toda memória. Assim, apresentou-se a arquitetura do *Protótipo Recuperador com a LPA3v*, de forma que foi utilizado o *Novo Grau de Casamento (NGcas)* calculado a partir do Grau de Especialidade da LPA3v de cada caso. Assim, para os casos da base de conhecimento o valor do Grau de Especialidade é sempre máximo, ou seja, igual a um (1), e para os casos novos seu valor sempre é menor do que um (1), com exceção do caso novo que for igual a algum caso da base de conhecimento. Desta maneira a procura de casos se restringe somente aos casos da base de conhecimento inicial.

Na automatização do restabelecimento das subestações é necessário ter um raciocínio de identificação das ações e de um plano de chaveamento, isto é descrito através das Estratégias para Determinação do *Diagnóstico Ótimo*, ou seja, o fim da procura do diagnóstico só ocorre quando se encontrar o diagnóstico ideal para restabelecer a subestação elétrica às condições normais de operação.

Esta procura pelo *Diagnóstico Ótimo* conduziu ao encontro de mais uma anotação da Lógica Paraconsistente Anotada no que se refere à temporalidade dos diagnósticos ou a evolução comportamental dos diagnósticos no interior do cubo analisador unitário da LPA3v, estendendo desta forma para Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v, cujo ponto no cubo é representado pela quádrupla (μ_1, μ_2, e, t) . A quarta dimensão *tempo* permite a visualização do comportamento dos especialistas nas tomadas de decisão de um sistema específico.

Três exemplos de restabelecimento automático foram apresentados utilizando a metodologia proposta, apresentando bons resultados. É importante notar que a base de conhecimento, ou seja, a lista de casos foi selecionada ao acaso. Como ela incorpora o conhecimento do sistema, as qualidades dos resultados podem variar conforme o número de casos e sua abrangência no espaço estudado.

A metodologia proposta poderia ser igualmente aplicada a outros arranjos de subestação, tais como barra dupla, disjuntor e um quarto, disjuntor e meio, entre outros.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

7.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho foi orientado no sentido de se apresentar um método de analisar conceitos teóricos aplicados na investigação científica, objetivando a aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de Três e de Quatro Valores, LPA3v e LPA4v, em um Sistema de Raciocínio Baseado em Casos - RBC na determinação de diagnósticos de um restabelecimento de subestação elétrica.

Muitas vezes situações reais não se enquadram na análise da Lógica Clássica, que é limitada quando se tratam de situações de inconsistências, indefinições, ambigüidades, etc. Por conseguinte, necessita-se buscar Sistemas Lógicos mais eficientes em que se permitam manipular diretamente toda esta faixa de informações que descrevem um mundo real.

A Lógica Paraconsistente se constitui num desfecho, num conhecimento que surgiu e se desenvolveu segundo uma história determinada por necessidades impostas pelo cotidiano e "conduzida pela intuição". Os resultados dos estudos apresentados neste trabalho evidenciam que os métodos de aplicações das Lógicas Paraconsistentes são métodos alternativos para dar tratamento adequado a estas situações.

Esta tese de doutorado é uma contribuição para o avanço de pesquisas em Inteligência Artificial aplicada em Sistemas de Potência, e que os resultados e as conclusões aqui apresentadas possam ser úteis como suporte de novas e promissoras pesquisas.

Na modelagem do comportamento de máquinas baseada no comportamento humano, como na modelagem do RBC, as situações de contradições presente no cotidiano do ser humano, tornam-se barreiras intransponíveis ou de difíceis tratamentos quando tratadas pela Lógica Clássica. As Lógicas Paraconsistentes Anotada de Três Valores e Anotada de Quatro Valores, LPA3v e LPA4v, mostram-se eficientes nos tratamentos destas situações, visto que, elas são referidas por intermédio de graus de crença, descrença, especialidade e da temporalidade, de modo a configurar uma lógica de evidências.

7.2 - RETICULADO ASSOCIADO À LPA2v

O reticulado associado à LPA2v descrito através do QUPC com graus de *crença e descrença* tem como vértices os *estados lógicos: Inconsistente, Paracompleto, Verdade e Falso*.

Para melhor visualização do QUPC, definiram-se os graus de *incerteza e de certeza* de forma a delimitar regiões para os *estados extremos e não-extremos*. Com estes graus adota-se os *valores de controle de limite* que ajustados mudam as características do reticulado.

Mais uma medida de interesse é o grau de *definição* que é representada por círculos concêntricos no ponto I (Indefinição) no QUPC, de modo que, à medida que se distancia deste ponto a situação analisada se torna mais bem definida, chegando ao máximo nas situações *verdadeira, falsa, paracompleta ou inconsistente*.

Discutiu-se a aplicação do *operador de negação* e pode-se concluir que para inseri-lo basta descontar de uma unidade os valores dos sinais de *crença e descrença*. Apresentou-se o método de obtenção do operador de negação a partir dos graus de *certeza e incerteza*: *Os graus de certeza e incerteza permanecem com o mesmo valor em módulo, apenas troca-se o sinal*. O que se conclui que basta mudar a polaridade (positivo, negativo) do sinal dos graus de *certeza e incerteza* e fazer a análise paraconsistente nos sinais.

Em relação aos *conectivos de disjunção e de conjunção* o que se fez foi um procedimento de *Maximização e de Minimização* dos graus de *crença e de descrença* entre as proposições estudadas. Apresentou-se o método de obtenção do conectivo de disjunção: *O conectivo \vee (OU) faz a Maximização entre os valores dos graus de crença e faz a Minimização entre os valores dos graus de descrença entre duas proposições ou método do retângulo*. Apresentou-se o método de obtenção do conectivo de conjunção: *O conectivo \wedge (E) faz a Minimização entre os valores dos graus de crença e faz a Maximização entre os valores dos graus de descrença entre duas proposições ou método do retângulo*. O objetivo da aplicação dos métodos apresentados é que os mesmos possibilitam uma extensão da lógica clássica, quer dizer: Se as proposições com as quais trabalhamos forem *bem comportada* toda fórmula válida no cálculo clássico deve continuar inalterada, o que foi observado na Tabela Verdade 1.

7.3 - EXTENSÃO DA LPA2v PARA LPA3v

Partindo da interpretação do QUPC da LPA2v introduziu-se ao plano formado pelos graus de crença e de descrença um eixo perpendicular, que é interpretado como *Grau de Especialidade* de tal maneira que se estende a LPA2v para a LPA3v.

Na LPA3v interpreta-se um ponto obtido de uma tripla ordenada (μ_1, μ_2, e) plotado no *Cubo analisador unitário*. O cubo unitário pode ser delimitado por regiões relacionadas com os três graus, resultando em *estados lógicos de saída* de um ponto qualquer.

Um caso particular do cubo unitário é para o plano com grau de especialidade $e=0.5$, no qual se se restringir ao par (μ_1, μ_2) o resultado dos estudos retorna aos estudos do capítulo 2 referente à LPA2v, de modo que todas as considerações analisadas podem ser expandidas de acordo com o acréscimo ou decréscimo do grau de especialidade.

As regiões externas definidas foram: *Regiões de Diagnósticos Dx e Dy*, *Regiões Paracompleta e Inconsistente*. Além destas foram estudadas as *Regiões Tendenciosas* que se localizam no interior do cubo unitário envolvidas pelas regiões externas.

Na interpretação do cubo unitário observou-se que os quase-pontos notáveis se deslocam dos vértices da Linha Perfeitamente Consistente - LPC até aos vértices da Linha Perfeitamente Inconsistente - LPI com o decréscimo do grau de especialidade. Desta forma as regiões de Diagnósticos Dx e Dy, partem de dois pontos $(1,0,1)$ e $(0,1,1)$, respectivamente, para um grau de especialidade máximo, $e = 1$, até chegar no máximo das regiões, para um grau de especialidade mínimo, $e = 0$, Neófito. Em relação às regiões Paracompleta e Inconsistente, o procedimento se torna o inverso, partindo das regiões máximas, com $e = 1$, para finalmente se encontrar nos pontos Paracompleto e Inconsistente, $(0,0,0)$ e $(1,1,0)$, respectivamente, com $e = 0$, ressaltando que para um especialista Neófito tudo lhe é permitido, portanto os estados paracompleto e inconsistente não são considerados, somente nesta situação.

Os graus de crença, descrença e de especialidade são relacionados a partir de dois planos: $\pi_1: e = \mu_1 - \mu_2$ e $\pi_2: e = \mu_2 - \mu_1$, e a partir desta relação apresentou-se o método de obtenção do grau de especialidade na Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v, a partir dos graus de crença e de descrença.

A descrição das regiões delimitadas no cubo analisador unitário e a relação entre os graus de crença, descrença e de especialidade originaram o algoritmo *Para-*

Especialista possibilitando os estudos dos comportamentos em Sistemas Especialistas baseados na LPA3v.

O algoritmo *Para-Especialista* permite obter opiniões de três graus de especialidade diferentes sobre um assunto específico (e_1, e, e_2), partindo do conhecimento dos graus de crença e de descrença em relação ao assunto. De forma poder decidir entre dois ou mais diagnósticos referente ao assunto em discussão.

A proposta de aplicação do *Para-Especialista* em Sistemas Especialistas de Inteligência Artificial é um método de se dar tratamento às informações contraditórias que se apresenta como mais uma contribuição deste trabalho.

7.4 - EXTENSÃO DA LPA3v PARA LPA4v

Retomando o Cubo analisador unitário da LPA3v, pode-se analisar um ponto se movendo ao longo do cubo, de forma a descrever uma curva no interior do Cubo Unitário.

Este comportamento permitiu introduzir na Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v mais uma variável anotada, o tempo t , estendendo assim para Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v.

Na LPA4v o ponto no Cubo Unitário é representado pela quádrupla (μ_1, μ_2, e, t) . O intuito de introduzir mais uma variável anotada na representação do ponto é poder analisar a evolução comportamental dos especialistas, visualizar o comportamento dos especialistas nas tomadas de decisão de um sistema específico.

7.5 - A LPA3v EM UM RBC

A junção das técnicas *LPA3v* e *RBC* apresentada neste trabalho foi alcançada com sucesso, satisfazendo a proposta de se ter uma estrutura híbrida. Visto que algumas situações do RBC tradicional apresentaram inconsistências nos seus dados. Assim, com a introdução da LPA3v no RBC para tomada de decisões automática, os mesmos foram tratados adequadamente, fornecendo respostas mais condizentes com a realidade, de forma que os casos recuperados eram consistentes com seus respectivos diagnósticos. É

importante notar que este tipo de sistema híbrido pode ser implementado para resolver diversas situações do mundo real.

Com a junção da Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores na determinação de diagnósticos de um Raciocínio Baseado em Casos pode-se implementar o algoritmo Para - Especialista na estrutura do protótipo recuperador do RBC, denominado RBC-Para-Especialista. O RBC-Para-Especialista faz um tratamento lógico de forma Paraconsistente, a fim de que as inconsistências e as incertezas possam ser inseridas e tratadas, de um modo não trivial, numa estratégia de tomada de decisão automática.

Da comparação dos resultados obtidos, aplicando-se os métodos RBC Tradicional e RBC- Para- Especialista, pode-se observar:

- a) Os *casos recuperados* foram os mesmos para as duas técnicas, já que a técnica utilizada para tal, em ambas estruturas, foi da similaridade;
- b) Em relação aos *diagnósticos determinados* ocorrem situações de inconsistências na estrutura do RBC Tradicional, enquanto que na estrutura do RBC-Para-Especialista isto é evitado, ou seja, *não há inconsistência entre os casos recuperados e seus respectivos diagnósticos* devido ao suporte fornecido pela LPA3v;
- c) Os *Novos Casos* têm como diagnóstico determinado, diagnósticos com novos índices indicando uma relação de pertinência com as ações de controle da base de conhecimento através do *Grau de Especialidade da LPA3v*;
- d) Em relação ao *diagnóstico e2*, opinião dada por um especialista com maior conhecimento no assunto, suas respostas são analisadas em regiões do QUPC, que se restringem à região que situada acima da LPC - Linha Perfeitamente Consistente e abaixo da LPI - Linha Perfeitamente Inconsistente, para a esta situação em particular (LPA3v-RBC).

Considerando a observação (d), conclui-se que dependendo do sistema de raciocínio manipulado ocorre predominância e/ou restrições de regiões no QUPC, isto devido aos comportamentos dos Graus de Certeza e Incerteza (GC, GI) e das Variáveis de Controle (C1, C2, C3, C4), estas podem ou não satisfazer as condições apresentadas no algoritmo Para-Especialista apresentado no capítulo 3.

Fez-se uma *extensão* do RBC-Para-Especialista, a fim de restringir as ações de controle somente aos casos da base de conhecimento fornecida, e não mais, como na técnica utilizada no capítulo anterior, que sugere ações de controle dos casos de toda memória. Assim, apresentou-se a arquitetura do Protótipo Recuperador com a LPA3v, de

forma que foi utilizado o Novo Grau de Casamento (**NGcas**) calculado a partir do Grau de Especialidade da LPA3v de cada caso.

A técnica proposta, RBC- Para- Especialista, satisfaz a condição de se ter uma estrutura na tomada de decisões automática que possa recuperar casos da memória e tratá-los mesmo que forem dados inconsistentes, porém de forma a não trivializar a determinação dos diagnósticos, fornecendo respostas mais condizentes com a realidade.

7.6 - TÉCNICAS LPA4v-RBC EM UM RESTABELECIMENTO AUTOMÁTICO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

O objetivo deste item é o de restabelecer a subestação elétrica de forma eficiente e rápida, reintegrando-a ao sistema elétrico de potência o mais próximo possível da configuração em que se encontrava antes da perturbação.

A linha de raciocínio estabelecida como procedimento do restabelecimento automático, quando da ocorrência de contingência, engloba as técnicas "LPA4v e RBC".

Primeiramente, utilizou-se um arranjo simplificado para representar a subestação elétrica estudada. Definiram-se os diagnósticos para restabelecer a configuração normal da subestação como: *Diagnóstico Ótimo, Correto, Não Correto e Diagnóstico Mínimo*.

Utilizou-se o programa Extensão do RBC-Para-Especialista, a fim de restringir a recuperação das ações de controle somente à lista de casos da base de conhecimento fornecida e não mais a toda memória de casos.

No processo de automação do restabelecimento das subestações é necessário ter como ações um plano de chaveamento para retomar à configuração normal. Esta etapa é descrita através das 'estratégias' apresentadas no item 6.6, cujo objetivo é determinar o *Diagnóstico Ótimo*, ou seja, o fim da procura do diagnóstico da subestação só ocorre quando se encontrar o melhor diagnóstico para restabelecê-la.

Estas 'estratégias' unem as técnicas *LPA4v e RBC* com o intuito de garantir a consistência entre os casos recuperados e a determinação dos seus diagnósticos, além de permitir a visualização do comportamento dos diagnósticos nas tomadas de decisão dos especialistas no sistema em questão.

As técnicas LPA4v e RBC aplicadas ao restabelecimento de subestação apresentam vantagens, visto que levam em consideração situações mais próximas da

realidade, tratando assim as inconsistências e os diferentes tipos de Diagnósticos de forma não trivial, tornando os sistemas mais confiáveis e consistentes. Além disso, apresentam uma rápida solução do problema.

Exemplificou-se um restabelecimento automático para três exemplos de uma subestação típica da CEMIG, e utilizando o algoritmo das estratégias, conforme analisado anteriormente, pode-se verificar que os resultados, logo na primeira iteração, foram: diagnóstico ótimo, correto e não correto, respectivamente para os três exemplos. Para o primeiro exemplo o resultado foi excelente, para os outros dois exemplos a solução convergiu para o *diagnóstico ótimo* logo na segunda iteração. Entretanto, é importante notar que a base de conhecimento, ou seja, a lista de casos foi selecionada ao acaso e que a mesma metodologia poderia ser aplicada para qualquer arranjo ou configuração de subestação.

7.7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como exposto no início desta tese, um dos objetivos foi propor um Sistema Híbrido com a junção da Lógica Paraconsistente Anotada e o RBC, sendo este alcançado com sucesso nesta pesquisa. Conforme analisado no capítulo 5, observaram-se algumas situações do RBC tradicional com inconsistências nos seus dados. Assim, a introdução da LPA3v no RBC foi de fundamental importância, já que o RBC tendo como suporte a Lógica Paraconsistente, as situações de inconsistências foram tratadas. O que mostra a possibilidade de implementação deste tipo de sistema híbrido, onde se consideram os estados definidos na Lógica Paraconsistente Anotada.

Além desta contribuição, este trabalho apresentou uma expansão da Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores - LPA2v, em seguida a extensão da LPA2v para Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores - LPA3v e conseqüentemente para Lógica Paraconsistente Anotada de Quatro Valores - LPA4v. A LPA3v e a LPA4v são alternativas propostas no trato de conhecimentos incertos, inconsistentes e indefinidos em um raciocínio de sistemas especialistas. Além de poder manipular informações que variam com o tempo, isto significa que se trabalha com situações freqüentemente encontradas no mundo real.

Especificamente, trabalhou-se em um Sistema Especialista em Restabelecimento de Subestação Elétrica com a aplicação das técnicas LPA4v e RBC.

Esta pesquisa demonstra a funcionalidade e possibilidade de aplicação da LPA3v e LPA4v em projetos de Sistema de Restabelecimento de Subestação Elétrica e que no futuro podem ser projetados com maior complexidade, de forma a receber mais informações, ampliando ainda mais suas possibilidades de atuação.

7.8- LINHAS DE PESQUISAS

Algumas linhas de pesquisa são sugeridas baseadas nos resultados obtidos.

1) Estudo das propriedades topológicas do cubo analisador unitário da LPA3v com outras partições e com resoluções diferentes.

2) Estudo voltado para a lógica matemática no que se refere à ampliação das anotações da Lógica Paraconsistente Anotada, ou seja, um estudo teórico da Lógica Paraconsistente Anotada de Três Valores e Anotada de Quatro Valores. Também fazendo uma abordagem estatística do limite da aplicabilidade das anotações da Lógica Paraconsistente Anotada.

3) Implementação e estudos do algoritmo *Para- Especialista* em Sistemas Especialistas. Esta proposta sugere a aplicação do algoritmo em conjunto com regras de um Sistemas Especialistas podendo aumentar sua eficiência e reduzir o processo de aquisição de conhecimento.

4) Implementação e estudos do algoritmo *Para- Especialista* em Sistemas de Redes Neurais, a fim de poder garantir que o aprendizado das redes seja consistente e eficiente mesmo para dados inconsistentes.

5) Aplicação do algoritmo *Para-Especialista* em Sistemas de Controle de Robótica, já que em robôs móveis autônomos sua eficiência é comprometida por vários fatores, sendo um deles a complexidade do sistema de controle de navegação em ambiente estruturado sem uma supervisão externa. A lógica binária é restrita para agir em situações cujas

condições ambientais são variadas resultando em estímulos contraditórios, por isso é necessário buscar sistemas lógicos em que se permitam manipular estas contradições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Abe, 92] Abe, J. M. “*Fundamentos da Lógica Anotada*”, tese de Doutorado, FFLCH/USP - São Paulo, 1992.
- [ABNT, 86] ABNT, dicionário brasileiro de eletricidade, Rio de Janeiro, ABNT/ COBEI, 1986.
- [Ashley, 90] Ashely, K. D., “*Modelling legal argument: Reasoning with cases and hypotheticals*”, Cambridge, MA: MIT Press, Bradford Books, 1990.
- [Ashley and Rissland, 88] Ashley, K. D. and Rissland, E. L., “*Compare and contrast: A test of expertise*”, In Proceedings of AAAI- 87. Cambridge, MA: AAAI Press/ MIT Press, 1987.
- [Bareiss, 89] Bareiss, E. R., “Exemplar- based knowledge acquisition: A unified approach to concept representation, classification, and learning”, Boston: Academic Press, 1989.
- [Bareiss and King, 99] Bareiss, R. and King, J. A., “*Similarity assessment in case- based reasoning*”, in Proc, DARPA Workshop Case- Based Reasoning, San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, pp. 67 - 71, 1989.
- [Bareiss, Porter and Weir, 88] Bareiss, E. R.; Porter, B. W. and Weir, C. C., “Protos. Na exemplar- based learning apprentice”, International Journal of Man- Machine Studies 29: 549- 561, 1988.
- [Cakebread, 74] Cakebread, R. J., Reichert, K, Schutte, H. G., “*Substation design criteria for simple, reliable and safe service*”, Paris: CIGRÉ 23-05, 1974.
- [Caminha, 77] Caminha, Amadeu Casal, “*Introdução à proteção dos sistemas elétricos*”, Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1977.
- [Carvalho, 95] Carvalho, A. C. C., et al., “*Disjuntores e Chaves – Aplicação em Sistemas de Potência*”, Niterói: Editora da Universidade Federal Fluminense, 1995.
- [CEMIG, 91a] CEMIG, “*Projeto de arranjo típico do equipamento externo*”, Belo Horizonte: CEMIG, 1991.
- [CEMIG, 91b] CEMIG, “*Manual de controle do sistema, critérios para o restabelecimento de linhas de transmissão e alimentadores de distribuição do sistema*”, Belo Horizonte: CEMIG, 1991, (NO- OP/ OS2- 03. 002)
- [CIGRÉ, 93a] CIGRÉ, Pratical use of expert systems in planning and operation of power systems, TF 38.06.03, Électra, nº 146, pp30-67, Fevereiro 1993.
- [CIGRÉ, 93b] CIGRÉ, Exploring user requirements of expert systems in power system operation and control, TF 39.03, Électra, nº 146, pp68-84, Fevereiro 1993.

[Da Costa, 90] Da Costa, N. C. A. & Henschen, L. J. & Subrahmanian, V. S., "*Automatic Theorem Proving in Paraconsistent Logics: Theory and Implementation*", Estudos Avançados - Coleção Documentos N°03, USP, São Paulo, 1990.

[Da Costa, 91] Da Costa, N. C. A. & Abe, J. M. & Subrahmanian, V. S. "*Remarks on Annotated Logic*", Zeitschrift fur Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik, Vol. 37, pp.561-570, 1991.

[Da Costa, Subrahmanian e Vago, 91] Da Costa, N. C. A. & Subrahmanian, V. S. & Vago, C. "*The Paraconsistent Logic $P\tau$* ", Zeitschrift fur Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik, Vol. 37, 139 - 148, 1991.

[Da Costa, 93] Da Costa, Newton C. A., "*Sistemas Formais Inconsistentes*", apresentado originalmente como tese (cátedra) em 1963 - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade do Paraná, Curitiba, Paraná, 1993.

[Da Costa, 99] Da Costa, Newton C. A., Abe, J. M., Murolo, A. C., "Lógica Paraconsistente Aplicada", Editora Atlas, 1999.

[Da Silva Filho, 99] Da Silva Filho, J. I., "Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada com Dois Valores - LPA2v com Construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos", Tese de doutorado apresentada a EPUSP, São Paulo, 1999.

[Dubitzky, 99] Dubitzky, W., Azuaje, F., Lopes, P., Black, N., McCullagh, P. and Song, P., "*On local and global features weight discovery for case- based reasoning*", in Proc. ISCA 14th Int. Conf. Computers and Their Applications, pp107-110, 1999.

[Duda and Hart, 73] Duda, R. and Hart, P., "*Pattern classification and scene analysis*", New York, Wiley, 1973.

[Gentner, 83] Gentner, D., "*Structure mapping: A theoretical framework for analogy*", Cognitive Sci., vol. 7, pp155-170, Apr.- June, 1983.

[Gupta, 97] Gupta, K. M. and Montazemi, A. R., "*Empirical Evaluation of Retrieval in Case- Based Reasoning Systems Using Modified Cosine Matching Function*", IEEE Transactions on Systems, man and cybernetics - Part A: Systems and Humans, vol. 27, n° 5, september, 1997.

[Hammond, 89] Hammond, K. J., "*Case- based planning: Viewing planning as a memory task*", Boston: Academic Press, 1989.

[Hinrichs, 88] Hinrichs, T. R., "*Towards an architecture for open world problem solving*", in Proceedings: Workshop on case- based reasoning (DARPA), Clearwater, Florida. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1988.

[Hinrichs, 89] Hinrichs, T. R., "*Strategies for adaptation and recovery in a design problem solver*", in Proceedings: Workshop on case- based reasoning (DARPA), Pensacola Beach, Florida. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1989.

[Hinrichs, 92] Hinrichs, T. R., "*Problem solving in open worlds: A case study in design*", Northvale, NJ: Erlbaum, 1992.

[Hinrichs and Kolodner, 91] Hinrichs, T. R. and Kolodner, J., "*The roles of adaptation in case-based design*", in Proceedings of AAAI- 91, Cambridge, MA: AAAI Press / MIT Press, 1991.

[Kleene, 52] Kleene, Stephen C., "*Introduction to Metamathematics*", Wolters-Noordhoff Publishing - Groningen, North-Holland Publishing Company - Amsterdam, pp 332-340, 1952.

[Kolodner, 93] Kolodner, Janet, "*Case- Based Reasoning*", San Mateo CA, Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

[Koton, 88a] Koton, P., "*Reasoning about evidence in causal explanation*", in Proceedings of AAAI-88, Cambridge, MA: AAAI Press/ MIT Press, 1988.

[Koton, 88b] Koton, P., "*Integrating case-based and causal reasoning*", in Proceedings of the Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Northvale, NJ: Erlbaum, 1988.

[Koton, 89] Koton, P., "*Using experience in learning and problem solving*", Ph. D. diss., Department of Computer Science, MIT, 1989.

[Krause e Da Costa, 02] Comunicação escrita entre Prof. Décio Krause e Prof. Newton da Costa, 2002.

[Lambert- Torres, 92] Lambert- Torres, Germano, Rossi, R., Ribeiro, G. M., Valiquette, B. e Mukhedkar, D., "*Computer program package for power system protection and control*", In: 34 th CIGRÉ SESSION BIENNAL MEETING, paper 39-304, Paris, França, aug. 31 -set. 5, 1992.

[Lambert- Torres, 93] Lambert- Torres, G., Costa, C. I. A., Ribeiro, G. M. e Silva, A., P. A., "*ESRASE - Sistema Especialista para Restabelecimento Automático de Subestações*", Anais do I Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, I SBAI, pp. 115-124, Rio Claro, Brasil, set. 8-101, 1993.

[Pearl, 93] Pearl, J., "*Artificial Intelligence*", Belief networks revisited, vol. 59, pp. 49-56, Amsterdam, 1993.

[Porter, Bareiss and Holte, 90] Porter, B. W.; Bareiss, R. and Holte, R. C.. "*Concept learning and heuristic classification in weak- theory domains*", Artificial Intelligence 45: 229- 263, 1990.

[Quinlan, 86] Quinlan, J. R., "*Induction of decision trees. Machine learning*", 1 (1): 81-106, 1986.

[Ribeiro, 92a] Ribeiro, G. M., "Sistemas Especialistas para o Restabelecimento Automático de Subestações", Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, EFEI, 1992.

[**Ribeiro, 92b**] Ribeiro, G. M. e Lambert- Torres, Germano, "*ESRASE - Expert System for Automatic Restoration of Substations*", In: III Symposium of Specialists of Electric Operational and Expansion Planning, Belo Horizonte, Brasil, 18 a 22 de Maio de 1992.

[**Salton, 68**] Salton, G., "*Automatic Information Organization and Retrieval*", New York: McGraw- Hill, 1968.

[**Sandness, 86**] Sandness, G. D., "*A Parallel Learning System*", CS 890 Class Paper, Carnegie - Mellon University, pp. 1-12, 1986.

[**Schank, 92**] Schank, R., *Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People*, Cambridge University Press, 1982.

[**Shafer, 76**] Shafer, G. "*A Mathematical Theory of Evidence* ", Princeton University Press, 1976

[**Subrahmanian, 87**] Subrahmanian, V. S., "*On the semantics of quantitative Logic programs*", Proc. 4 th. IEEE Symposium on Logic Programming, Computer Society Press, Washington D C, 173-182, 1987.

[**Tversky, 77**] Tversky, A., "*Features of similarity*", Psychol. Ver., vol. 84, pp. 327 - 352, July, 1977.

[**Wettschereck, 95**] Wettschereck, D. and Aha, D., "*Weighting features*", in Lecture Notes in Artificial Intelligence: Case Based Reasoning Research and Development, M. Veloso and A . Aamodt, Eds., New York: Springer- Verlag, vol.1010, pp347-358, 1995.

[**Wettschereck, 97**] Wettschereck, D., Aha, D. and Mohre, T., "*A review and empirical evaluation of feature weighting methods for a class of lazy learning algorithms*", Artificial Intelligence Rev., vol. 11, pp273-314, 1997.