

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

HYGHOR MIRANDA CÔRTEZ

**MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE REDES DE DADOS NO
ÂMBITO DO TELECOMANDO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA
ATRAVÉS DE CENTRO DE OPERAÇÃO QUE UTILIZA AS LÓGICAS FUZZY
E PARACONSISTENTE ANOTADA**

SANTOS/SP

2019

HYGHOR MIRANDA CÔRTEZ

**MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE REDES DE DADOS NO
ÂMBITO DO TELECOMANDO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA
ATRAVÉS DE CENTRO DE OPERAÇÃO QUE UTILIZA AS LÓGICAS FUZZY
E PARACONSISTENTE ANOTADA**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, do Prof. Dr. Germano Lambert-Torres e do Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos.

SANTOS/SP

2019

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

511.31 Côrtes, H. M.

C857m Título: Monitoramento de Equipamentos de Redes de Dados no âmbito do Telecomando de Sistemas Elétricos de Potência através de Centro de Operação que utiliza as Lógicas Fuzzy e Paraconsistente Anotada - Hyghor Miranda Côrtes - 2019.

163 páginas.

Orientadores: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho

Prof. Dr. Germano Lambert-Torres

Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2019.

1.Lógica Paraconsistente Anotada. 2. Lógica Fuzzy. 3.SNMP. 4.Sistema Elétrico. 5. Automação. 6. Monitoramento de Redes. I.Lambert-Torres, G., Da Silva Filho, J. I., Blos, M.F. orient. II. Monitoramento de Redes de Dados no âmbito do Telecomando de Sistemas Elétricos de Potência através de Centro de Operação que utiliza as Lógicas Fuzzy e Paraconsistente Anotada.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

*Dedico este trabalho à minha mãe, ao meu pai
e à minha esposa, que me apoiaram de diversas
maneiras durante esta importante etapa da vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me mostrado todos os caminhos a seguir e me dado forças e a perseverança necessárias para a conclusão desse curso. Sem Ele, não chegaria aonde cheguei.

Com satisfação, agradeço aos orientadores Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, Prof. Dr. Germano Lambert-Torres e Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos.

Também agradeço aos amigos Neila Karina Rodrigues e Bruno Santos Zanon, pelo incentivo e auxílio durante o Mestrado.

Por fim, agradeço a todas as demais pessoas que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta pesquisa fosse realizada.

RESUMO

O aumento constante da quantidade e complexidade de informações provenientes de equipamentos, no contexto das redes de dados na área de TI para seu correto monitoramento e gestão é uma realidade, e não é diferente no abrangente do sistema elétrico entre as redes de dados designadas como críticas, constituídas por equipamentos que proporcionam a supervisão e o controle eficaz de subestações e usinas de geração de eletricidade. Destacam-se como contribuintes para esse aumento, tratando de equipamentos em redes de dados de supervisão e controle de sistemas elétricos, a crescente quantidade de instalações e ambientes monitorados, e a evolução constante das tecnologias empregadas nos equipamentos integrantes dessas redes de dados. O aumento da quantidade e complexidade de informações pode gerar dados incompletos e contraditórios, os quais devem ser tratados ao máximo para que se mantenha um bom nível de monitoramento e, consequentemente, de gestão dessas redes de dados. Nesta dissertação, foi desenvolvido protótipo com Sistema Especialista para monitoramento dos dados de equipamentos em redes de dados, no âmbito do telecomando de usinas e subestações por Centro de Operação Regional (COR) que trata as inconsistências sem trivialização nas respostas. Para o Sistema Especialista, construíram-se algoritmos com a utilização das lógicas *Fuzzy* e Paraconsistente Anotada (LPA) de modo a analisar sinais incertos e gerar as condições de operação (com falha, normal, instável ou inconsistente/indeterminado) de equipamentos que, neste trabalho, foram identificados como importantes para o telecomando de usinas e subestações. Os equipamentos que são analisados são servidores, UACs (ligação protocolar de telecomando entre SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition* e UAC – Unidade de Aquisição e Controle) e roteadores (interface de conexão de rede de saída das instalações – geralmente utilizam-se operadoras e/ou infraestruturas compartilhadas para a interconexão entre instalações distantes e Centros de Operação para possibilitar o telecomando). O protótipo com Sistema Especialista construído com as lógicas *Fuzzy* e Paraconsistente foi inicialmente simulado em MATLAB, sendo finalmente instalado em um servidor virtualizado com *software* CLP500 (do fabricante EFACEC). Neste contexto, o protótipo foi denominado UC500/CLP500 *Para-Fuzzy*, que em ambiente virtualizado foi aplicado a um cenário de estudo constituído por um centro de operação regional, uma subestação genérica e uma usina genérica, os quais representam um ambiente de telecomando. Foram apresentados os resultados específicos de algoritmos envolvendo as lógicas Paraconsistente e *Fuzzy* (independentes e híbrido-*Para-Fuzzy*) e os resultados para casos ensaiados no cenário de estudo (condição de operação de equipamentos) com a demonstração da classificação das falhas considerando o uso do Sistema Especialista, ambos obtidos por simulações em MATLAB. Também foram apresentados os resultados de ensaios reais com testes diretamente nas lógicas do Sistema Especialista no servidor virtual. Apesar de se tratar da primeira versão do protótipo, os resultados mostraram seu bom funcionamento na sua função de monitoramento, principalmente quando existem contradições nos sinais coletados do ambiente para a análise das lógicas.

Palavras-chave: Lógica Paraconsistente Anotada. Lógica Fuzzy. SNMP. Sistema Elétrico. Automação. Monitoramento de Redes.

ABSTRACT

The constant increase in the quantity and complexity of information coming from equipment in the context of data networks in the area of IT for its correct monitoring and management is a reality, and it is no different in data networks in the comprehensive system, among them the networks of data designated as critical constituted by equipment that provides the supervision and effective control of substations and power generation plants. They stand out as contributors to this increase, dealing with equipment in data networks for supervision and control of electrical systems, the growing number of installations and monitored environments, and the constant evolution of the technologies used in the equipment integrating these data networks. In this dissertation, a prototype was developed with Specialist System to monitor the data of equipment present in data networks in the remote control of power plants and substations by Regional Operation Center (COR) that deals with the inconsistencies without trivialization in the answers. For the Specialist System, algorithms were constructed using Fuzzy Logic and Paraconsistent Annotated Logic (LPA) to analyze uncertain signals and generate operating conditions (fault, normal, unstable or inconsistent / indeterminate) for equipment that was used in this work identified as important for the remote control of power plants and substations. The equipment that is analyzed are servers, UACs (remote control protocol link between SCADA-Supervisory Control and Data Acquisition and UAC-Acquisition and Control Unit) and routers (the network connection interface of the premises output - because they are usually used by operators and / or shared infrastructures for the interconnection between distant facilities and Operation Centers to enable the remote control). The prototype with Expert System built with Fuzzy and Paraconsistent Logics was initially simulated in spreadsheets and MATLAB was finally installed on a virtualized server with software CLP500 (from the manufacturer EFACEC). In this context the prototype was named UC500 / CLP500 *Para-Fuzzy*, and in its application in a virtualized environment, it was applied to a study scenario consisting of 1 regional operation center (COR), 1 generic substation and 1 generic plant, in which a remote control environment. The specific results of algorithms involving the Paraconsistent and Fuzzy (independent and hybrid-to-Fuzzy) logics and the results for cases tested in the study scenario (equipment operation condition) with the demonstration of the classification of the failures considering the use of the expert system were presented, both obtained by MATLAB simulations. The actual test results with tests directly in the system logic expert on the virtual server UC500 / CLP500 *Para-Fuzzy* were also presented. Although its first version, the results showed the good functioning of the prototype in its monitoring function, especially when there are contradictions in the signals collected from the environment to analyze the logics.

Keywords: Paraconsistent Annotated Logic. Fuzzy Logic. SNMP. Electrical System. Automation. Network Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura típica para sistema de automação de uma subestação	26
Figura 2 – Arquitetura típica para sistema de automação de uma usina.	27
Figura 3 – Hierarquia de sistema de automação de subestações e usinas, COR e COS	28
Figura 4 – Topologias de rede. a) Irregular, b) Estrela, c) Anel e d) Barramento.	30
Figura 5 – Pilha do protocolo IEC 60870-5-104	36
Figura 6 – Classificação de alguns tipos de lógica	39
Figura 7 – Reticulado finito de quatro estados	41
Figura 8 – Reticulado finito de Hasse com anotações da LPA2v	43
Figura 9 – Representação dos graus de certeza e de contradição	44
Figura 10 – Representação do grau de certeza	45
Figura 11 – Representação do grau de contradição	45
Figura 12 – Representação dos estados lógicos extremos e não extremos	46
Figura 13 – Reticulado da LPA2v com valores de graus de certeza e de contradição	52
Figura 14 – Reticulado da LPA2v com as regiões discriminadas no reticulado	52
Figura 15 – Funções de pertinência elaboradas no eixo das contradições	53
Figura 16 – Funções de pertinência elaboradas no eixo das certezas.	54
Figura 17 – Problemática e objetivo do projeto da Lógica Híbrida <i>Para-Fuzzy</i>	54
Figura 18 – Fases do projeto <i>Para-Fuzzy</i>	55
Figura 19 – Quadro representativo das regras de inferência	55
Figura 20 – Saída de sinal único (<i>crisp value</i>) após aplicação da junção das lógicas Paraconsistente e <i>Fuzzy</i> (híbrida <i>Para-Fuzzy</i>)	56
Figura 21 – Arquitetura de rede para o Sistema de Monitoramento <i>Para-Fuzzy</i>	59
Figura 22 – Arquitetura lógica para o Sistema de Monitoramento <i>Para-Fuzzy</i>	60
Figura 23 – Visão geral do Sistema de Monitoramento <i>Para-Fuzzy</i>	63
Figura 24 – Bloco de código para conversão de variáveis de coleta para servidor(es), roteador(es) (interface(s) de rede) e UAC(s) (ligação(ões) protocolar(es))	65
Figura 25 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência favorável para servidor de ambiente SCADA considerando <i>sn_p1_fav_t</i> e <i>sn_m1_fav_t</i> (<i>sv_tipo_1_fuzzy_favoravel</i>)	66
Figura 26 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência desfavorável para servidor de ambiente SCADA considerando <i>sn_p2_des_t</i> e <i>sn_m2_des_t</i> (<i>sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel</i>)	67
Figura 27 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência favorável para servidor de ambiente SCADA considerando <i>sn_p1_fav_t</i> e <i>sn_aa1_fav_t</i> (<i>sv_tipo_2_fuzzy_favoravel</i>)	69
Figura 28 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência desfavorável para servidor de ambiente SCADA (<i>sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel</i>)	71
Figura 29 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência favorável para interface de comunicação de roteador considerando ambiente de telecomando SCADA (<i>interface_rede_fuzzy_favoravel</i>)	72
Figura 30 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência desfavorável para interface de comunicação de roteador considerando ambiente de telecomando SCADA (<i>interface_rede_fuzzy_desfavoravel</i>)	74
Figura 31 – Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência favorável para ligação	

	protocolar de UAC considerando ambiente de telecomando SCADA (ligacao_protocolar_uac_fuzzy_favoravel).....	76
Figura 32 –	Bloco de função <i>Fuzzy</i> para gerar grau de evidência desfavorável para ligação protocolar de UAC considerando ambiente de telecomando SCADA (ligação_protocolar_uac_fuzzy_desfavoravel).....	77
Figura 33 –	Bloco de função Paraconsistente para transformar <i>fav[0]</i> e <i>des[0]</i> em <i>gc</i> e <i>gct</i> (Paraconsistente)	79
Figura 34 –	Ilustração <i>crisp</i> não condizente pela aproximação de $\perp$ com acionamento de funções opostas	80
Figura 35 –	Ilustração da região do reticulado na qual se tem <i>crisp</i> não condizente pela aproximação de $\perp$ com acionamento de funções opostas	80
Figura 36 –	Bloco de função Paraconsistente-Fuzzy para transformar <i>gc</i> e <i>gct</i> em <i>pf[14]</i> -> <i>crisp</i> e pertinências de 12 estados lógicos (<i>Para-Fuzzy</i>)	81
Figura 37 –	Reticulado com subdivisão de área para variáveis <i>el</i> e <i>el_1</i> do algoritmo <i>Para-Fuzzy</i> , cuja seleção é função do elemento seletor.....	82
Figura 38 –	Bloco de função para transformar vetor com <i>crisp</i> e 12 estados lógicos em condição de operação para servidor, roteador (interface de rede) ou UAC (ligação de protocolo) (parafuzzy_cond_op_1).....	83
Figura 39 –	Bloco de função para transformar vetor com <i>crisp</i> e 12 estados lógicos em condição de operação para servidor, roteador (interface de rede) ou UAC (ligação de protocolo) (parafuzzy_cond_op_2).....	84
Figura 40 –	Bloco de função que recebe dois estados de condição de operação de roteador (interface de rede) / servidor / UAC (ligação protocolar) e produz estado de condição de operação resultante (duas_cond_op_para_cond_op_resul).....	85
Figura 41 –	Diagrama de blocos do subsistema especialista de condição de operação de servidor.....	86
Figura 42 –	Diagrama de blocos do subsistema especialista de condição de operação de roteador (interface de rede).....	87
Figura 43 –	Diagrama de blocos do subsistema especialista de condição de operação de UAC (ligação de protocolar)	87
Figura 44 –	Diagrama lógico genérico do sistema especialista completo.....	88
Figura 45 –	Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,8400 e <i>Gct</i> = 0 para servidor Scatex – Ensaio 1.....	104
Figura 46 –	Saída <i>crisp_no2</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,8400 e <i>Gct</i> = 0 para servidor Scatex – Ensaio 1.....	105
Figura 47 –	Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,1218 e <i>Gct</i> = 0 para servidor Scatex – Ensaio 2.....	106
Figura 48 –	Saída <i>crisp_no2</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,8220 e <i>Gct</i> = 0 para servidor Scatex – Ensaio 2.....	107
Figura 49 –	Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = 0,8400 e <i>Gct</i> = 0 para servidor Scatex – Ensaio 3.....	109
Figura 50 –	Saída <i>crisp_no2</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,8400 e <i>Gct</i> = 0 para servidor Scatex – Ensaio 3.....	110
Figura 51 –	Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,8400 e <i>Gct</i> = 0 para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1	111
Figura 52 –	Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para <i>Gc</i> = -0,2118 e <i>Gct</i> = 0 para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2	112

Figura 53 – Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para $G_c = +0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3	113
Figura 54 – Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para $G_c = -0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1.....	115
Figura 55 – Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para $G_c = +0,0662$ e $G_{ct} = 0$ para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2.....	116
Figura 56 – Saída <i>crisp_no1</i> e pertinências <i>Fuzzy</i> para $G_c = +0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3.....	117
Figura 57 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 1	120
Figura 58 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 2 no SCADA-Scatex para servidor Scatex– Ensaio 1	121
Figura 59 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 2	123
Figura 60 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 2 no SCADA-Scatex para servidor Scatex– Ensaio 2	124
Figura 61 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 3	127
Figura 62 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 2 no SCADA-Scatex para servidor Scatex– Ensaio 3	127
Figura 63 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para rot. 1 int. 3 da Usina 1 – Ensaio 1	129
Figura 64 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para rot. 1 int. 3 da Usina 1 – Ensaio 2	131
Figura 65 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para rot. 1 int. 3 da Usina 1 – Ensaio 3	133
Figura 66 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para lig. prot. 1 da UAC 1 da Usina 1 – Ensaio 1.....	135
Figura 67 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para lig. prot. 1 da UAC 1 da Usina 1 – Ensaio 2.....	137
Figura 68 – Ilustração da tela <i>Para-Fuzzy</i> para Nó 1 no SCADA-Scatex para lig. prot. 1 da UAC 1 da Usina 1 – Ensaio 3.....	139
Figura 69 – Ilustração da <i>tela principal</i> no SCADA-Scatex para ferramenta de monitoramento	140
Figura 70 – Ilustração da <i>tela de Instalação – Usina Genérica 1</i> no SCADA-Scatex para ferramenta de monitoramento.....	140
Figura 71 – Ilustração da <i>tela de Instalação – Subestação Genérica 1</i> no SCADA-Scatex para ferramenta de monitoramento.....	141
Figura 72 – Ilustração do reticulado com conceito NAP com ênfase na distância D para uma situação analisada X	142
Figura 73 – Ilustração do reticulado subdividido em regiões com a projeção de uma situação analisada X	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função sv_tipo_1_fuzzy_favoravel	66
Tabela 2 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel	68
Tabela 3 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função sv_tipo_2_fuzzy_favoravel	70
Tabela 4 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel	71
Tabela 5 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função interface_rede_fuzzy_favoravel.....	73
Tabela 6 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função interface_rede_fuzzy_desfavoravel	74
Tabela 7 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função ligacao_protocolar_uac_fuzzy_favoravel	76
Tabela 8 – Regras de inferência <i>Fuzzy</i> para bloco de função canal_protocolo_uac_fuzzy_desfavoravel	78
Tabela 9 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de processamento alto, médio e baixo de servidor Scatex.....	89
Tabela 10 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de memória alta, média e baixa de servidor Scatex	89
Tabela 11 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de alocação de arquivos (disco) alta, média e baixa de servidor Scatex .	90
Tabela 12 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de processamento alto, médio e baixo de servidor UC500/CLP500 SCADA	90
Tabela 13 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de memória alta, média e baixa de servidor UC500/CLP500 SCADA.....	91
Tabela 14 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de alocação de arquivos alta, média e baixa de servidor UC500/CLP500 SCADA.....	91
Tabela 15 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa de interface de rede de saída de roteador 1 da Usina Genérica 1	92
Tabela 16 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo de interface de rede de saída de roteador 1 da Usina Genérica 1.....	92
Tabela 17 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa de interface de saída de roteador 2 da Usina Genérica 1.....	93
Tabela 18 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo para interface de saída de roteador 2 da Usina Genérica 1.....	93
Tabela 19 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa para interface de rede de saída de roteador 1 da Subestação Genérica 1.....	94
Tabela 20 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo para interface de rede de saída de roteador 1 da	

Subestação Genérica 1	94
Tabela 21 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa para interface de saída de roteador 1 de Centro de Operação	95
Tabela 22 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo para interface de saída de roteador 1 do Centro de Operação	95
Tabela 23 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa para interface de saída de roteador 2 do Centro de Operação	96
Tabela 24 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo para interface de saída de roteador 2 do Centro de Operação	96
Tabela 25 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1	97
Tabela 26 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1	97
Tabela 27 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para condição de taxa alta, média e baixa de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Subestação Genérica 1	98
Tabela 28 – Valores de ajuste de funções de pertinências <i>Fuzzy</i> para número de erros alto, médio e baixo de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Subestação Genérica 1	99
Tabela 29 – Pertinência dos estados lógicos para $G_{ct} = 0$ e variações de G_c de 0,1	101
Tabela 30 – Pertinência dos estados lógicos para $G_{ct} = -0,1$ e variações de G_c de 0,1	102
Tabela 31 – Pertinência estados lógicos para $G_{ct} = 0,1$ e variações de G_c de 0,1 ..	103
Tabela 32 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 para servidor Scatex – Ensaio 1	104
Tabela 33 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 2 para servidor Scatex – Ensaio 1	105
Tabela 34 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 para servidor Scatex – Ensaio 2	107
Tabela 35 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 2 para servidor Scatex – Ensaio 2	108
Tabela 36 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 para servidor Scatex – Ensaio 3	109
Tabela 37 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 2 para servidor Scatex – Ensaio 3	110
Tabela 38 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 (<i>único</i>) para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1	111
Tabela 39 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 (<i>único</i>) para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2	113
Tabela 40 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 (<i>único</i>) para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3	

.....	114
Tabela 41 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 (<i>único</i>) para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1	115
Tabela 42 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 (<i>único</i>) para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2	116
Tabela 43 – Principais parâmetros de análise <i>Para-Fuzzy</i> do Nó 1 (<i>único</i>) para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3	117
Tabela 44 – Informações coletadas por dois canais SNMP do servidor Scatex - Ensaio 1	118
Tabela 45 – Lista de variáveis do Nó 1 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 1	119
Tabela 46 – Lista de variáveis do Nó 2 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 1	119
Tabela 47 – Condição de operação resultante para servidor Scatex – Ensaio 1 ...	120
Tabela 48 – Informações coletadas por dois canais SNMP do servidor Scatex – Ensaio 2	121
Tabela 49 – Lista de variáveis do Nó 1 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 2	122
Tabela 50 – Lista de variáveis do Nó 2 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 2	122
Tabela 51 – Condição de operação resultante para servidor Scatex – Ensaio 2 ...	123
Tabela 52 – Informações coletadas por dois canais SNMP do servidor Scatex – Ensaio 3	124
Tabela 53 – Lista de variáveis do Nó 1 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 3	125
Tabela 54 – Lista de variáveis do Nó 2 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 3	125
Tabela 55 – Condição de operação resultante para servidor Scatex – Ensaio 3 ...	126
Tabela 56 – Informações coletadas por dois canais SNMP com roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1	128
Tabela 57 – Lista de variáveis do Nó 1 (<i>único</i>) do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1	128
Tabela 58 – Informações coletadas por dois canais SNMP com roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2	129
Tabela 59 – Lista de variáveis do Nó 1 (<i>único</i>) do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2	130
Tabela 60 – Informações coletadas por dois canais SNMP com roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3	131
Tabela 61 – Lista de variáveis do Nó 1 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3	132
Tabela 62 – Informações coletadas por um canal IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1	133

Tabela 63 – Lista de variáveis do Nó 1 (<i>único</i>) do “ <i>print view</i> ” e “ <i>print preview</i> ” do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para ligação protocolar 1 com UAC 1 da usina Genérica 1 – Ensaio 1.....	134
Tabela 64 – Informações coletadas por um canal IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2.....	135
Tabela 65 – Lista de variáveis do Nó 1 (<i>único</i>) do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do UC500/CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para ligação protocolar 1 com UAC 1 da usina Genérica 1 – Ensaio 2.....	136
Tabela 66 – Informações coletadas por um canal IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3.....	137
Tabela 67 – Lista de variáveis do Nó 1 do <i>print view</i> e do <i>print preview</i> do CLP500 <i>Para-Fuzzy</i> e SCADA-Scatex para ligação protocolar 1 com UAC 1 da usina Genérica 1 – Ensaio 3	138
Tabela 68 – Diferenças entre valores de ensaios realizados em MATLAB e <i>softwares</i> CLP500/Scatex	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASN	<i>Abstract Syntax Notification</i>
ASN.1	<i>Abstract Syntax Notification One</i>
BER	<i>Basic Encoding Rules</i>
CCITT	<i>Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique</i>
COR	Centro de Operação Regional
COS	Centro de Operação do Sistema
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DIO	Distribuidor interno óptico
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IAONA	<i>Industrial Automation Open Networking Alliance</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPV4	<i>Internet Protocol (versão 4)</i>
IPV6	<i>Internet Protocol (versão 6)</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LP	Lógica Paraconsistente
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada
LPA2v	Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de 2 valores
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
OID	<i>Object ID</i>
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnect</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PIMS	<i>Plant Information Management System</i>
RFC	<i>Request for Comments</i>

ROD	Rede Operativa de Dados
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SGPM	<i>Simple Gateway Monitoring Protocol</i>
SMI	<i>Structure of Management Information</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TI	Tecnologia da Informação
UAC	Unidade de Aquisição e Controle
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VLAN	<i>Virtual Local Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
MUX	<i>Multiplexador</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sim$	Operador de negação
μ	Grau de crença (ou evidência favorável)
λ	Grau de descrença (ou evidência desfavorável)
$\mathbb{R}$	Conjunto dos números reais
F	Falso
T	Inconsistente
V	Verdadeiro
$\perp$	Paracompleto ou indeterminado
pT	Conotação de inconsistência à proposição p
pV	Conotação de verdade à proposição p
pF	Conotação de falsidade à proposição p
$p\perp$	Conotação de paracompleteza à proposição p
$P\mu$	Sentença proposicional
QUPC	Quadrado unitário no plano cartesiano
G_C	Grau de certeza
G_{CR}	Grau de certeza real
G_{CT}	Grau de contradição
V	Verdadeiro
F	Falso
p	Proposição p
q	Proposição q
V_{cic}	Valor máximo de controle de incerteza
V_{cve}	Valor máximo de controle de certeza
V_{cpa}	Valor mínimo de controle de incerteza
V_{cfa}	Valor mínimo de controle de certeza
φ	Intervalo de certeza
$(\pm)$	Intervalo de certeza sinalizado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Objetivo principal	23
1.2	Objetivos secundários	23
1.3	Justificativa e relevância do tema	24
1.4	Conceitos para monitoramento de equipamentos de rede de dados para telecomando de subestações e usinas por Centro de Operação	25
1.4.1	<i>Sistemas digitais em sistema elétrico</i>	25
1.4.2	<i>Conceito de sistemas de automação em sistema elétrico</i>	25
1.4.2.1	Sistema de Automação de Subestações e Usinas	26
1.4.2.2	Centro de Operação Regional (COR) e Centro de Operação do Sistema (COS)	27
1.4.3	<i>Redes de dados</i>	28
1.4.4	<i>Alguns princípios de redes de dados</i>	29
1.4.4.1	Classificação das Redes de Dados	29
1.4.4.2	Topologias das Redes	29
1.4.4.3	Meios de Transmissão	30
1.4.4.4	Sentido da Transmissão	31
1.4.4.5	Equipamentos Utilizados em Redes de Dados	31
1.4.4.6	Equipamentos adicionais ao Funcionamento de uma Rede de Dados	32
1.4.5	<i>Segmentação de rede</i>	32
1.4.6	<i>Conceito de rede operativa de dados no âmbito de sistemas elétricos telecomandados</i>	33
1.5	Protocolos de comunicação	33
1.5.1	<i>Conceito de protocolos de comunicação de automação no âmbito de sistemas elétricos telecomandados</i>	33
1.5.1.1	IEC60870-5	34
1.5.2	<i>Conceito de protocolo de gerência de rede SNMP no âmbito de sistemas elétricos telecomandados</i>	36
1.5.2.1	Simple Network Management Protocol (SNMP)	36
1.6	Monitoramento de dados básicos para rede de dados de telecomando de usinas e subestações por Centro de Operação Regional (COR)	37
1.7	Lógicas Paraconsistente e Fuzzy	38
1.7.1	<i>A Lógica Clássica</i>	38
1.7.2	<i>Lógicas não Clássicas</i>	39
1.7.3	<i>Lógica Paraconsistente</i>	40
1.7.3.1	Lógica Paraconsistente Anotada	40
1.7.3.2	Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois Valores	42
1.7.4	<i>Conjuntos Fuzzy e Lógica Fuzzy</i>	46
1.7.4.1	Conjuntos Fuzzy e terminologia	47
1.7.5	<i>Associação da Lógica Fuzzy com a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (Lógica Híbrida Para-Fuzzy)</i>	51
1.7.5.1	Análise Paraconsistente/Fuzzy	51
1.7.5.2	Elaboração das Funções de Pertinência	53
1.7.5.3	Definições do Projeto Para-Fuzzy	54
2	MATERIAIS E MÉTODOS	57
2.1	Plataforma de testes	57
2.1.1	<i>Equipamentos e softwares utilizados</i>	57

2.1.2	<i>Cenário de estudo para sistema de monitoramento de rede de dados com uso das lógicas Paraconsistente e Fuzzy</i>	58
2.1.3	<i>Arquitetura das comunicações do servidor de monitoramento UC500/CLP500 Para-Fuzzy com equipamentos do cenário de estudo...</i>	60
2.1.4	<i>Interfaces com o usuário e funcionalidades previstas com o funcionamento do software do sistema de monitoramento de rede de dados com as lógicas Paraconsistente e Fuzzy</i>	62
2.2	<i>Detalhamento do sistema especialista com lógicas Paraconsistente e Fuzzy do sistema de monitoramento de rede de dados para análise da condição de operação de equipamentos</i>	62
2.3	<i>Modelagem dos sinais</i>	89
2.3.1	<i>Para dados do servidor Scatex</i>	89
2.3.1.1	Processamento	89
2.3.1.2	Memória	89
2.3.1.3	Disco Rígido	90
2.3.2	<i>Para dados do servidor UC500/CLP500 SCADA</i>	90
2.3.2.1	Processamento	90
2.3.2.2	Memória	91
2.3.2.3	Disco Rígido	91
2.3.3	<i>Para dados de interface de rede de saída de roteador 1 da Usina Genérica 1</i>	91
2.3.3.1	Taxa	91
2.3.3.2	Erro	92
2.3.4	<i>Para dados de interface de rede de saída de roteador 2 da Usina Genérica 1</i>	92
2.3.4.1	Taxa	92
2.3.4.2	Erro	93
2.3.5	<i>Para dados de interface de rede de saída de roteador 1 da Subestação Genérica 1</i>	93
2.3.5.1	Taxa	94
2.3.5.2	Erro	94
2.3.6	<i>Para dados de interface de rede de saída de roteador 1 para Centro de Operação</i>	94
2.3.6.1	Taxa	95
2.3.6.2	Erro	95
2.3.7	<i>Para dados de interface de rede de saída de roteador 2 para Centro de Operação</i>	95
2.3.7.1	Taxa	96
2.3.7.2	Erro	96
2.3.8	<i>Para dados de ligação protocolar IEC 104 com UAC 1 da Usina Genérica 1</i>	96
2.3.8.1	Taxa	97
2.3.8.2	Erro	97
2.3.9	<i>Para dados de ligação protocolar IEC 104 com UAC 1 da Subestação Genérica 1</i>	98
2.3.9.1	Taxa	98
2.3.9.2	Erro	98
3	RESULTADOS	100
3.1	Resultados em MATLAB	100
3.1.1	<i>Para a Lógica Híbrida Para-Fuzzy</i>	100

3.1.2	<i>Para o subsistema especialista de condição de operação de servidor..</i>	103
3.1.3	<i>Para o subsistema especialista de condição de operação de roteador (interface de rede)</i>	110
3.1.4	<i>Para o subsistema especialista de condição de operação de UAC (ligação protocolar)</i>	114
3.2	Resultados dos softwares CLP500 <i>PARA-FUZZY</i> e SCADA-Scatex	118
3.2.1	<i>Lista de variáveis e telas específicas</i>	118
3.2.2	<i>Telas abrangentes e telas específicas (sistema de monitoramento)</i>	139
4	DISCUSSÃO	142
4.1	Comportamento da Lógica Híbrida <i>Para-Fuzzy</i>	142
4.2	Com relação ao sistema de monitoramento em softwares CLP500/Scatex.	143
4.2.1	<i>Diferença de valores entre MATLAB e softwares CLP500/Scatex x Resposta da condição de operação dos equipamentos analisados</i>	143
4.2.2	<i>Ajustes dos valores das funções de pertinência para blocos Fuzzy “de geração de graus de evidência favorável e desfavorável”</i>	144
5	CONCLUSÕES	146
5.1	Trabalhos futuros	147
	REFERÊNCIAS	148
	APÊNDICE A – Dados relacionados À lógica híbrida Para-Fuzzy	151
	APÊNDICE B – Dados do MATLAB relacionados aos subsistemas especialistas de análise de falhas em rede de dados de sistema elétrico envolvendo Centro de Operação Regional, Usina Genérica 1 e Subestação Genérica 1	156

1 INTRODUÇÃO

A cada ano ocorrem aplicações de técnicas inovadoras no âmbito da computação capazes de aumentar a eficiência e a capacidade de atendimento às necessidades dos usuários de modo inteligente, impulsionando o crescimento de uma das vertentes da computação, a das redes de computadores, tanto em escala como em complexidade. A necessidade de monitorar essas redes (seus equipamentos), diante desse crescimento, é eminente, e impulsiona também o desenvolvimento de sistemas para o monitoramento de redes (*softwares*), cada vez mais tecnicamente aprimorados e com uma gama maior de características/funcionalidades, adaptando-se à evolução das tecnologias do mercado atual. Nesse sentido, o gerenciamento de redes tornou-se uma tarefa indispensável para o correto funcionamento delas na evolução computacional, de modo a se manter a qualidade exigida pelo mercado (STALLINGS, 1999).

O contínuo crescimento em número e em diversidade de equipamentos de redes de computadores e, conseqüentemente, do volume de sinais de informação provenientes destes, tem tornado o gerenciamento de redes cada vez mais complexo para manter para os seus usuários a disponibilidade dos serviços em um nível de desempenho aceitável.

Na área da automação, as formas e alternativas que envolvem a monitoração e o controle à distância de máquinas, válvulas, bombas etc. passam por processos que remetem diretamente às redes de dados. O crescimento citado anteriormente também ocorre na área de automação, visto que esta depende de redes que trafegam os seus dados. Uma evidência são as práticas de Tecnologia da Informação (TI) no monitoramento de redes aplicadas à automação.

Com o crescimento do uso da rede ethernet nos sistemas de automação, os fabricantes de equipamentos para uso industrial começaram a disponibilizar módulos de comunicação com SNMP - *Simple Network Management Protocol*. Esta é uma tendência real para a monitoração de redes de automação, em todos os níveis. (FONSECA et al., 2006)

Os fabricantes passaram a disponibilizar *Management Information Bases* (MIBs) para os seus produtos, os quais acrescentam *Object Identifiers* (OIDs) específicos para a monitoração de equipamentos de automação. Alguns exemplos de informações em OIDs adicionais encontrados nas MIBs de equipamentos de

automação e na *Industrial Automation Open Networking Alliance* (IAONA) são (FONSECA et al., 2006):

- Informações da aplicação (nome, parada, funcionamento etc.);
- Dados de protocolos (Ethernet/IP, ModbusTCP etc.);
- Nome do dispositivo, número de série, nome do fornecedor, versão do *firmware* etc.

Conforme Fonseca et al. (2006), Villela et al. (2009), Flores e Marcos (2009) e Freitas (2014), apesar da tendência de MIBs para os equipamentos de automação, há muito a se evoluir em comparação ao monitoramento realizado no mercado tradicional de TI. A realidade é que esses equipamentos geralmente acabam não sendo monitorados ou são monitorados de forma isolada e/ou sem abrangência. Ou seja, atualmente muitos dados de monitoramento de equipamentos de redes de dados envolvendo a automação voltada para o processo crítico das plantas industriais, quando monitorados, ainda utilizam recursos específicos fornecidos pelos próprios fabricantes de automação ou *softwares* adicionais sem expressão, pautando-se em análises bem sucintas, na maioria das vezes no próprio ambiente da planta (em uma usina hidrelétrica, em uma subestação, em uma usina de álcool etc.).

Nesse contexto, a concentração dos dados de monitoramento em um centro de dados se torna interessante. Os sistemas de supervisão – *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) e outros – dos Centros de Operação reúnem características desejáveis para a monitoração de equipamentos de redes de dados que envolvem a automação de processos críticos, tais como:

- Operadores dedicados à utilização desses sistemas para monitoração do processo permitem que estes possam agir de forma ativa no caso de problemas de desempenho das redes de dados, no momento de uma ocorrência (em tempo real).
- Além das informações dos equipamentos das redes de dados envolvendo a automação das instalações monitoradas pelo Centro de Operação, através de seu(s) *software(s)* pode-se coletar dados de desempenho de equipamentos de automação do próprio Centro de Operação e de seus agregados, de forma fácil e rápida.
- Esses sistemas têm *software(s)* com capacidade de integração, nas versões mais atualizadas, de informações adicionais de redes específicas

de automação (Profibus, Fieldbus, ControlNet, DeviceNet, Modbus, IEC61850, IEC101, IEC104, DNP 3.0 etc.), que reúnem os principais indicadores de desempenho dessas redes e permitem que praticamente todos os dados de rede sejam monitorados.

- O(s) *software(s)* de Centro de Operações normalmente pode(m) ter níveis superiores de integração – *Plant Information Management System* (PIMS), *Manufacturing Execution System* (MES), *Enterprise Resource Planning* (ERP) etc. –, possibilitando o compartilhamento de informações para gerenciamento dos ativos de uma rede de dados.
- Os mais modernos sistemas conseguem, além de realizar o monitoramento e gerenciamento das redes de dados já citadas, atuar como intermediadores/*gateways* de informações, disponibilizando dados em interface *Open Platform Communications* (OPC) ou alguma outra para um sistema de monitoramento mais abrangente de Tecnologia da Informação (TI) em uma empresa.
- Em comparação com a capacidade de computação das instalações telecomandadas, esses sistemas têm poder computacional avantajado, permitindo o uso de algoritmos mais complexos e específicos para tratamento e classificação das falhas dos equipamentos monitorados nas redes de dados.

Em função das características apresentadas acima, pode-se afirmar que os sistemas *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) de Centros de Operações são interessantes para a monitoração de equipamentos de redes de dados de telecomando de instalações críticas.

Especificamente no sistema elétrico, as características acima apresentadas não divergem, sendo, em algumas situações, mais acentuada a necessidade de monitoramento por haver instalações e equipamentos completamente isolados e sem qualquer implementação de monitoramento, mesmo que local. Acrescenta-se a isso que, cada vez mais, aumenta o volume de dados a ser analisado para classificação de falhas de equipamentos de rede, e que muitas vezes aparecem informações contraditórias e imprecisas. Sendo assim, se faz necessário, além do monitoramento mais detalhado, o uso de algoritmos que tratem essa lacuna. A aplicação de algoritmos com lógicas não clássicas se mostra como uma alternativa para amenizar

esse problema, pois permite o tratamento mais refinado das informações.

Vários estudos têm sido feitos com a lógica *Fuzzy* (não clássica) nas análises de redes no âmbito dos sistemas elétrico e SCADA, como o de Netto (2013), no qual se usou a lógica *Fuzzy* para medição da qualidade de uma rede de proteção IEC 61850 em uma subestação. Mahmood, Leckie e Atiquzzaman (2010) também se utilizaram da lógica *Fuzzy* em uma análise de tráfego em redes em ambiente SCADA para verificar um possível excesso de tráfego e mitigar a vulnerabilidade na segurança dos dados de redes de dados de automação de processos críticos voltadas para o comando e controle de instalações.

Em um estudo relacionado à lógica Paraconsistente, Marreiro (2017), analisou o tráfego e outros quesitos de rede para delinear as falhas em ações de comutação de circuitos de rede.

Neste estudo, se faz uma junção das lógicas Paraconsistente e *Fuzzy* para analisar e classificar condições de funcionamento de equipamentos de redes de dados, no âmbito de duas instalações elétricas monitoradas por SCADA de um Centro de Operações Regional (COR).

1.1 Objetivo principal

O objetivo principal desta pesquisa é estudar e analisar as junções das lógicas *Fuzzy* e Paraconsistente Anotada com o intuito de apresentar a aplicação prática de uma nova forma não clássica de monitoramento de equipamentos de redes de dados em sistemas elétricos, com o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de equipamentos de redes de dados, no âmbito da automação de sistemas elétricos envolvendo subestações e usinas hidrelétricas telecomandadas por sistema SCADA instalado em Centro de Operações.

1.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários são:

a) Encontrar novas formas de monitoramento de equipamentos de redes de dados críticas de telecomando de subestações e usinas em Centro de Operação Regional (COR), por meio de fundamentação não convencional.

b) Testar novas técnicas algorítmicas que utilizam as lógicas não clássicas

Paraconsistente e *Fuzzy* em sistema SCADA, em Centro de Operação Regional com o cenário do monitoramento de duas instalações: uma usina genérica e uma subestação genérica, considerando medições de variáveis de análise por duas fontes de informação distintas.

1.3 Justificativa e relevância do tema

Os avanços tecnológicos exercem hoje grande impacto na sociedade e a informação é cada vez mais uma vantagem competitiva para as empresas em investimentos futuros. Além das projeções futuras, empresas necessitam ter operações sólidas e confiáveis para manterem consistência e galgarem novos patamares. Para se tornarem competitivas e permanecerem no mercado, as empresas têm investido em tecnologia da informação, e as redes de dados se apresentam como um desses investimentos.

Dentro do campo das redes de dados, o gerenciamento de redes é uma atividade importante para mantê-las operando corretamente. Para este gerenciamento, o uso de *software* tornou-se uma constante, dado o notório aumento do número de equipamentos a serem gerenciados que impede um tratamento individualizado. São necessários procedimentos automatizados para se obter análises da configuração de rede ideal, para uma monitoração confiável baseada no todo, para *reports* rápidos com qualidade, entre outros.

De acordo com Stallings (1999), o gerenciamento e a monitoração de redes são tarefas extremamente importantes para a qualidade de uma rede de computadores, sendo que sem operações de gerenciamento uma rede local não tem como manter-se operacional por muito tempo. Em especial, grandes redes de dados crescentes (ligadas aos processos corporativos e ao controle e à operação do processo produtivo) estão fadadas ao caos sem essas tarefas, pois, além de ações reativas, necessitam de ações proativas no sentido de prevenir e detectar possíveis problemas. O fato é que essas redes crescem constantemente em escala e complexidade, por isso o volume de informações a ser monitorado pode ter dados contraditórios e inconsistentes.

Com base nessas considerações, pesquisas que promovem novas técnicas de gerenciamento e monitoração de redes são importantes para oferecer tarefas gerenciais mais amigáveis e com maior nível de confiabilidade. Nesse sentido, esta

pesquisa se justifica por atender à necessidade de procurar novas formas de tratamento de dados contraditórios e inconsistentes fundamentados em lógicas não convencionais.

1.4 Conceitos para monitoramento de equipamentos de rede de dados para telecomando de subestações e usinas por Centro de Operação

Para realizar o monitoramento de equipamentos de redes de dados no telecomando de subestações e usinas por Centro de Operação Regional, conforme proposto neste trabalho, faz-se necessário a apresentação de alguns conceitos de sistemas digitais, automação, rede de dados, protocolos (de automação e de gerência de rede) e elementos relacionados.

1.4.1 Sistemas digitais em sistema elétrico

Os sistemas digitais, conforme a abordagem realizada por Jardini (1999) e Paredes (2002), têm sido utilizados para a automação da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. “O termo ‘Automação Elétrica’ tem sido usado para designar sistemas digitais que têm funções de supervisão, controle e proteção dos vários componentes do sistema elétrico” (JARDINI, 1999).

Podem ser destacados como integrantes de sistemas digitais em sistema elétrico: Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), Interfaces Homem-Máquina (IHM), Unidades de Aquisição e Controle (UAC), relés de proteção e equipamentos de intertravamento, descritos com mais detalhes por Jardini (1999) e Paredes (2002).

1.4.2 Conceito de sistemas de automação em sistema elétrico

São apresentados, a seguir, alguns conceitos para sistemas de automação de subestações, usinas e centros de operação – Centros de Operação Regional (COR) e Centro de Operações do Sistema (COS) –, com base em Jardini (1999) e Paredes (2002).

1.4.2.1 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE SUBESTAÇÕES E USINAS

O **sistema de automação de subestação** visa prover os meios para sua operação e manutenção. Caracteriza-se por dois níveis hierárquicos: nível de interface com o processo e aquisição de dados, e nível de comando e supervisão, também denominado de Sistema Central.

No nível de interface com o processo, encontram-se unidades de aquisição e controle (UAC), e equipamentos dedicados como relés de proteção, equipamentos de oscilografia, unidades para intertravamento etc.

O nível do Sistema Central é normalmente composto por vários computadores (*workstations*) ligados a uma rede local que tem conexão com equipamentos digitais de nível de interface com o processo. O Sistema Central possui algumas funções, tais como sinalização e monitoração do estado de equipamentos, apresentação de medições, monitoração de dados de proteção, controle de equipamentos, alarmes, indicação e registro de sequência de eventos etc. “Existem várias filosofias de comunicação, de divisão do sistema em módulos, e mesmo de quais funções ficam no Sistema Central ou próximo ao processo” (JARDINI, 1999).

Na figura 1, apresenta-se a arquitetura típica de um sistema de automação de subestação, conforme diretrizes de Jardimi (1999) e Paredes (2002).

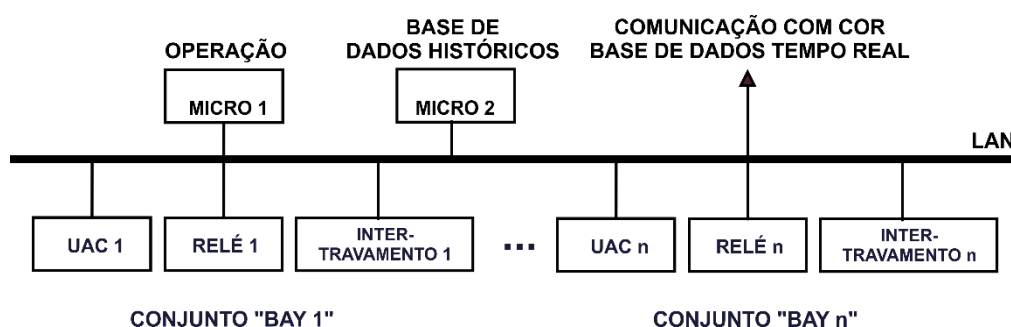


Figura 1 – Arquitetura típica para sistema de automação de uma subestação
Fonte: adaptado de Jardimi (1999) e Paredes (2002).

O **sistema de automação de uma usina** também visa prover os meios para sua operação e manutenção; tem configuração de nível hierárquico semelhante ao sistema de automação de uma subestação, conforme a figura 2; pode apresentar rede local (LAN) dualizada.

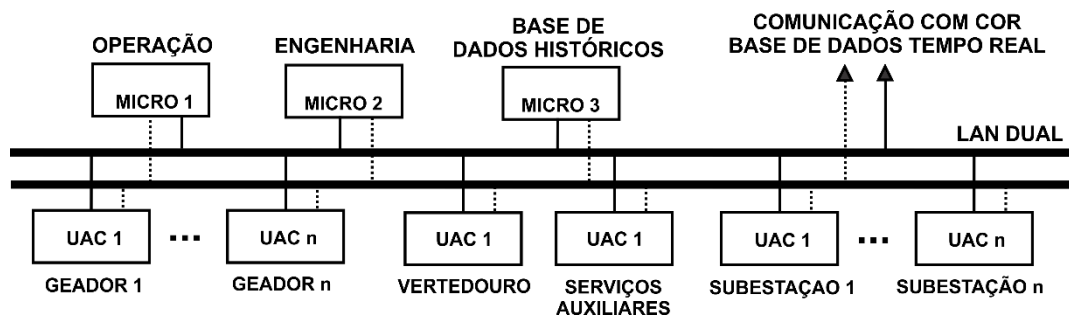


Figura 2 – Arquitetura típica para sistema de automação de uma usina.
Fonte: adaptado de Jardini (1999) e Paredes (2002).

Nesse sistema, pode-se ter várias UACs, por exemplo UAC do gerador, UAC dos serviços auxiliares, UAC do vertedouro etc. Essas UACs se integram com reguladores de velocidade, reguladores de tensão, controladores locais (em comportas, bombas, compressores e outros) etc. Geralmente, em grandes usinas há subsistemas independentes construídos para atividades específicas como a supervisão das máquinas (vibração, temperatura, descargas parciais etc.) e a supervisão de barragens.

1.4.2.2 CENTRO DE OPERAÇÃO REGIONAL (COR) E CENTRO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA (COS)

A automação de subestações e usinas se organiza/enquadra em uma hierarquia maior de supervisão e controle. Conforme Jardini (1999) e Paredes (2002), essa automação se reporta aos COR e COS, no qual:

- No Centro de Operação Regional (COR) ocorre a operação e o atendimento das subestações e usinas de uma região. Do COR partem, por exemplo, os sinais de telecomando de disjuntores para partir e parar determinado gerador de uma usina, e chegam todos os dados coletados diretamente das UACs. No COR é alocada uma estrutura de *hardware* e *software* geralmente mais robusta que nas instalações locais, com interface homem-máquina (IHM) adequada ao operador da rede regional. A IHM permite ao operador tomar o conhecimento dos alarmes, da sequência de eventos, das medições, bem como executar telecomandos. Em resumo, reside no COR a função SCADA.
- No Centro de Operação do Sistema (COS) encontram-se as facilidades

para operação centralizada do sistema e coordenação da geração e carga. No COS há uma estrutura de *hardware* e *software* com funções denominadas de “*alto nível*”, da qual são obtidas as informações necessárias à operação adequada e segura do sistema. Os COSs são, muitas vezes, ligados diretamente às UACs, sendo incluído no COS também a função SCADA.

Com base no conceito apresentado por Jardini (1999) e Paredes (2002) de arquitetura de sistemas de automação de subestações e usinas, COR e COS, pode-se realizar a representação hierárquica da figura 3.

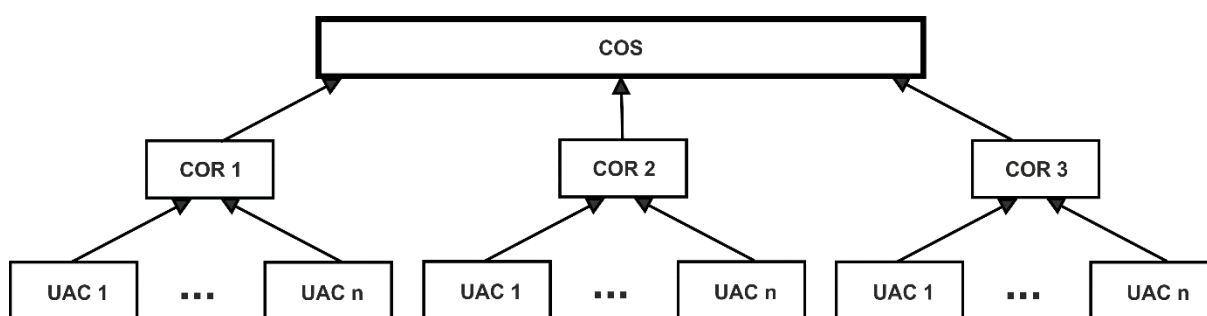


Figura 3 – Hierarquia de sistema de automação de subestações e usinas, COR e COS
Fonte: adaptado de Jardini (1999) e Paredes (2002).

1.4.3 Redes de dados

O termo “rede de computadores” tem sido utilizado para designar a interconexão de computadores autônomos, ou seja, computadores que executam programas independentes (JARDINI, 1999; PAREDES, 2002). Neste trabalho, o termo foi estendido a “rede de dados”.

Na automação (os sistemas de automação do sistema elétrico inclusos nessa questão), as redes têm um papel muito importante, pois são responsáveis pela troca de dados entre os equipamentos de automação com o intuito final do monitoramento e controle correto das instalações.

Conforme Jardini (1999), a responsabilidade pelo suprimento de energia não é mais tão fortemente dependente de ações humanas; é muito mais dependente do bom funcionamento do sistema que o compõe como um todo. Quanto menores as taxas de falha dos equipamentos utilizados, melhor será a percepção do cliente para

a qualidade do suprimento.

Com base no enfoque deste trabalho, pode-se dizer que as redes de dados são responsáveis pelas conexões de abrangência interna e externa de sistemas de automação de subestações e usinas, e centros COR e COS.

1.4.4 Alguns princípios de redes de dados

1.4.4.1 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES DE DADOS

Tendo em vista as várias configurações previstas para as redes de dados, suas finalidades, características e distâncias entre equipamentos, é comum classificá-las como:

- a) **Redes de Área Local (LAN – *Local Area Network*)**: são aquelas que têm poucos quilômetros de extensão e são, em geral, particulares e de uso restrito, instaladas em fábricas, condomínios etc.
- b) **Redes de Área Extensa (WAN – *Wide Area Network*)**: são aquelas que interligam cidades ou mesmo países e são de acesso aberto, não existindo uma classe específica de dados que circulam nessas redes. Na maioria dos casos não é possível identificar o proprietário dessas redes, já que em geral se utilizam recursos públicos (cabos telefônicos, por exemplo) e elas estão sujeitas a legislações específicas dos países conectados.
- c) **Redes de Área Metropolitana (MAN – *Metropolitan Area Network*)**: são redes que possuem distâncias razoáveis – tipicamente dentro de uma mesma cidade –, nas quais são utilizadas tecnologias de redes LAN (é o caso de redes policiais, de serviço público etc.).

1.4.4.2 TOPOLOGIAS DAS REDES

A topologia de uma rede é caracterizada pela configuração das vias de transmissão existentes entre os diferentes nós da rede, que pode ser de malha irregular, estrela, anel, barramento (ou multiponto), mista etc. Na figura 4, são apresentadas algumas dessas topologias.

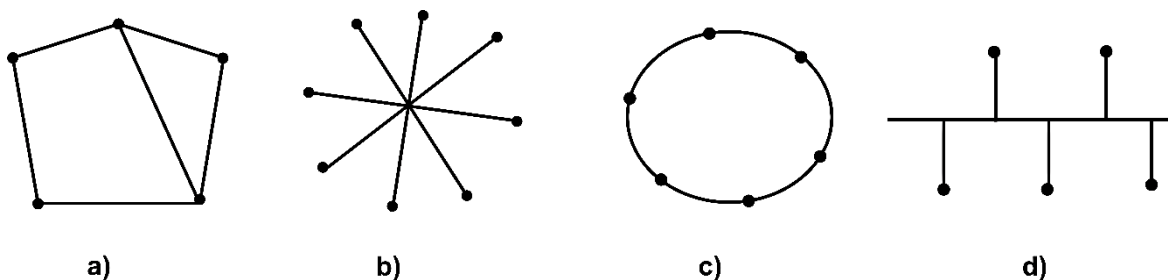


Figura 4 – Topologias de rede. a) Malha Irregular, b) Estrela, c) Anel e d) Barramento.
Fonte: adaptado de Jardini, 1999.

Descrevemos agora, de forma geral, as topologias de rede apresentadas:

- *Malha irregular*: cada nó da rede pode ser conectado às outras estruturas, constituindo-se uma estrutura irregular de interconexão. Esta topologia é geralmente empregada em redes de dados de longa distância.
- *Estrela (ou ligação ponto a ponto)*: geralmente nesta topologia cada nó periférico da rede está ligado a um nó central da rede. Não há problema de acesso, pois as vias são de uso dedicado, não compartilhadas. A comunicação ocorre aos pares e vários pares podem se comunicar ao mesmo tempo. Todas as informações de roteamento se encontram no nó central da rede. Sendo assim, normalmente este deve apresentar uma maior capacidade de processamento.
- *Anel*: nesta topologia, as mensagens são enviadas do transmissor ao destinatário passando unidirecionalmente por nós intermediários da rede. Cada nó intermediário da rede deve analisar os endereços de mensagens que circulam na rede, retirando de circulação as mensagens que tiverem o endereço de destino correspondente ao nó e passando ao nó seguinte as mensagens que tiverem endereço diferente.
- *Barramento (ou multiponto)*: nesta topologia, o meio físico de transmissão é composto por um único segmento de transmissão multiponto, compartilhado pelos nós da rede interconectados; cada nó da rede reconhece somente as mensagens que lhes são destinadas.

1.4.4.3 MEIOS DE TRANSMISSÃO

O meio de transmissão, chamado de canal ou suporte de transmissão, é um meio físico de transmissão de ondas eletromagnéticas ou sinais portadores de

informação. Entre os meios de transmissão tem-se:

- *Condutores metálicos*, tipicamente representados pelo par trançado e cabo coaxial.
- *Fibras ópticas*, constituídas por um guia de ondas cilíndrico composto de dois materiais de índices de refração diferentes. A transmissão é feita através de sinal de luz codificado. Como a frequência de transmissão (da portadora) é bem superior às frequências de sinais usuais, têm-se taxas altíssimas de transmissão. Mais detalhes podem ser vistos em Tanembaum (2011).

1.4.4.4 SENTIDO DA TRANSMISSÃO

Os sentidos da transmissão de dados permitem a seguinte classificação (ALENCAR, 2010; TANEMBAUM, 2011):

- *Simplex*: sentido do fluxo de dados de sinais único.
- *Half-duplex*: fluxo de sinais em ambos os sentidos, em instantes diferentes no tempo.
- *Full-duplex*: fluxo de sinais em ambos os sentidos no mesmo instante de tempo.

1.4.4.5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM REDES DE DADOS

Para que exista comunicação em uma rede de dados, além dos meios de transmissão são necessários equipamentos para a transmissão dos dados. A seguir, são apresentados alguns equipamentos importantes para uma rede de dados:

- **Modem**: converte/modula o sinal digital em sinal analógico e vice-versa.
- **Transceiver**: transforma sinais elétricos em sinais ópticos e vice-versa.
- **Hub**: há várias interfaces de entrada conectadas, em geral, eletricamente. Os quadros (partes de mensagens) que chegam a quaisquer dessas interfaces são enviados a todas as outras. Se dois quadros chegarem ao mesmo tempo, colidirão, exatamente como ocorre em um cabo coaxial. As interfaces de um *hub* devem operar em mesma velocidade.
- **Switch**: semelhante ao *hub* e também chamado de *hub* inteligente, verifica os cabeçalhos das mensagens e as retransmite somente para o

computador ou dispositivo correspondente, criando uma comunicação exclusiva entre origem e destino.

- **Roteador:** além das funções do *switch*, possui a capacidade de escolher a melhor rota que determinado pacote de dados deve seguir para chegar a seu destino.
- **Firewall:** atua como um filtro de pacotes de dados, inspecionando todo e qualquer pacote que entra e sai. Os pacotes que atendem aos critérios descritos nas regras formuladas pelo administrador da rede são remetidos normalmente; caso contrário, são descartados.
- **Multiplexador (mux):** combina dados de diversos canais de entrada de baixa velocidade e os transmite através de um único canal de alta velocidade.
- **Demultiplexador (demux):** realiza o inverso do multiplexador.
- **Distribuidor interno óptico (DIO):** utilizado em cabeamento estruturado, permite organizar e armazenar o cabeamento óptico de forma segura.

1.4.4.6 EQUIPAMENTOS ADICIONAIS AO FUNCIONAMENTO DE UMA REDE DE DADOS

Ainda se faz necessário o uso de equipamentos adicionais que dão subsídio ao funcionamento correto e contínuo de uma rede de dados. Podem ser destacados, para o provimento de energia estável, os *nobreaks*, retificadores, banco de baterias etc.; para o condicionamento de ambientes (salas, *containers* etc.), os ar-condicionados, sistemas de resfriamento especiais etc.

1.4.5 Segmentação de rede

Uma rede pode ter segmentação física e lógica. Na segmentação física, duas ou mais redes são separadas fisicamente, ou seja, seus equipamentos de rede/meios físicos são distintos. Em uma segmentação lógica, o tráfego é separado logicamente por equipamentos de rede, porém estes compartilham a mesma infraestrutura física em um ou mais pontos.

Uma prática muito utilizada atualmente é a segmentação lógica de redes com *Virtual Local Networks* (VLANs), o que permite diminuir o domínio de *broadcast*, ter

segurança, melhorar o desempenho e reduzir o custo. Lovatto (2015) observa o conceito de VLAN com mais detalhes.

1.4.6 Conceito de rede operativa de dados no âmbito de sistemas elétricos telecomandados

Para suportar requisitos de comunicação para automação do sistema elétrico, geralmente é concebida uma rede segmentada das demais redes, denominada Rede de Operação ou Rede Operativa. Heinisch et al. (2011) chamam esse tipo de rede de Rede Operativa de Dados (ROD).

Diferentemente das Redes Corporativas de Dados, utilizadas em geral pelas companhias de energia para transportar informações relacionadas a serviços corporativos (intranet, e-mail, ERP etc.), as Redes Operativas transportam informações relacionadas a funções operacionais demandadas pelos processos de operação do sistema elétrico. Tais processos apresentam elevada criticidade ao se considerarem os parâmetros de confidencialidade, disponibilidade, *throughput*, tempo de resposta e segurança da informação.

A Rede Operativa ou de Operação abrange geralmente o centro de operação, a infraestrutura de transporte dos dados – responsável pela transferência dos dados entre uma instalação ou equipamento e o(s) centro(s) de operação(ões) –, e os ativos do sistema elétrico de uma empresa de energia (subestações, unidades geradoras, linhas de transmissão, chaves, medidores, sensores etc.).

1.5 Protocolos de comunicação

Protocolo é, segundo Tanenbaum (2011), um conjunto de regras e convenções para conversação. Essas regras definem a comunicação entre dois equipamentos, sejam eles computadores, máquinas etc.

1.5.1 Conceito de protocolos de comunicação de automação no âmbito de sistemas elétricos telecomandados

É utilizada atualmente uma gama variada de protocolos no sistema elétrico em automação de instalações e centros de operações: IEC101, IEC104, DNP 3.0,

MODBUS, IEC101, entre outros. Abordam-se neste trabalho os protocolos IEC101 e IEC104.

1.5.1.1 IEC60870-5

A *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60870-5 estabelece padrões que definem protocolos para supervisão e controle em sistemas elétricos. Um exemplo é a interligação de um sistema de *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) com uma UAC. Em sua composição podem-se destacar:

- **IEC 60870-5-1** – Formato de transmissão de tramas;
- **IEC 60870-5-2** – Serviços de transmissão de dados;
- **IEC 60870-5-3** – Estrutura genérica dos dados;
- **IEC 60870-5-4** – Definição e codificação da informação;
- **IEC 60870-5-5** – Funções básicas (aplicação);
- **IEC 60870-5-6** – Orientações para testes de conformidade para o protocolo IEC 60870-5;
- **IEC 60870-5-101** – Protocolo de transmissão (tarefas básicas de telecomando);
- **IEC 60870-5-102** – Protocolo de transmissão;
- **IEC 60870-5-103** – Protocolo de transmissão (interface informativa de equipamentos de proteção);
- **IEC 60870-5-104** – Protocolo de transmissão (acesso à rede).

Uma rede IEC 60870-5 apresenta algumas diferenças em relação a outras soluções *fieldbus*, por suportar eventos produzidos com data e hora, sincronização de data e hora, e reporte de eventos por ordem de prioridade.

1.5.1.1.1 Protocolo IEC101

O IEC 60870-5-101 (*ou* IEC101) é um protocolo de comunicação série aberto que utiliza os padrões RS232 e RS485. Foi normalizado pela IEC e é predominante no mercado europeu (ROCHA, 2013). É direcionado para aplicações SCADA, mas também pode ser utilizado em outros sistemas. Este protocolo implementa três das

camadas do modelo *Open Systems Interconnection* (OSI):

- **Física** (camada 1): especifica que o protocolo pode ser implementado com configurações ponto a ponto, multiponto, linear, estrela e anel.
- **Ligação lógica** (camada 2): especifica os tipos de serviços de transmissão de dados existentes. O protocolo IEC 60870-5-101 proporciona três tipos de serviços básicos: transmissão sem confirmação, transmissão com confirmação e pergunta/resposta. Os serviços de transmissão de dados ainda podem ser balanceados ou não balanceados.
- **Aplicação** (camada 7): define a estrutura dos dados.

São características relevantes do protocolo adicionais às já citadas:

- Permite velocidades de transmissão de até 64 kbps e métodos de comunicação *master/slave* e *multi-master*.
- Suporta a funcionalidade de sincronismo de data e hora, se a estação de controle e a estação controlada estiverem sincronizadas.
- A execução de comandos no protocolo IEC 60870-5-101 obriga a execução de passos que incluem a solicitação de seleção do ponto a ser comandado, a resposta de confirmação da seleção do ponto, o envio da solicitação do comando a ser executado e a resposta de confirmação da execução do comando.

Mais detalhes podem ser vistos em Matousek (2017) e Rocha (2013).

1.5.1.1.2 Protocolo IEC104

O protocolo IEC 60870-5-104 (ou IEC104) é uma extensão do protocolo IEC 60870-5-101 que implementa funcionalidades na camada de aplicação e introduz novas tecnologias às camadas física, de ligação lógica, de rede e de transporte. Na figura 5 está a pilha do protocolo IEC104 (MATOUSEK, 2017).

Estrutura dos dados	Aplicação (<i>L7</i>)
TCP/IP	Transporte (<i>L4</i>)
	Rede (<i>L3</i>)
	Ligação lógica (<i>L2</i>)

	Física (L1)
--	-------------

Figura 5 – Pilha do protocolo IEC 60870-5-104

Fonte: adaptado de Matousek (2017).

São características relevantes do protocolo adicionais às já citadas:

- Utiliza, em relação ao IEC60870-5-101, a comunicação em TCP/IP, geralmente com o uso da porta 2404.
- Tem funcionamento, de certa forma, semelhante ao do protocolo IEC 60870-5-101, nomeadamente na implementação de mecanismos de sincronização de data e hora para o histórico dos eventos.

Mais detalhes podem ser vistos em Matousek (2017) e Rocha (2013).

1.5.2 Conceito de protocolo de gerência de rede SNMP no âmbito de sistemas elétricos telecomandados

Neste trabalho, o *Simple Network Management Protocol* (SNMP), que será mostrado após, foi o protocolo utilizado para aquisição de informações de monitoramento importantes relacionadas ao desempenho de servidores e roteadores. A seguir, são apresentados alguns conceitos relacionados ao protocolo SNMP.

1.5.2.1 SIMPLE NETWORK MANAGEMENT PROTOCOL (SNMP)

O SNMP é um conjunto de especificações desenvolvidas pela *Internet Engineering Task Force* (IETF) com o objetivo de gerir redes IP, utilizando um protocolo simples. A versão original do SNMP derivou do *Simple Gateway Monitoring Protocol* (SGMP), em 1998, e possibilitou a gestão de servidores, impressoras, comutadores, roteadores etc., desde que estes aceitem a requisição/alteração de informação por SNMP.

Como características importantes do protocolo, podem-se destacar:

- Possui modelo de gerenciamento de redes composto por quatro pilares: estação de gestão, agente, protocolo de gestão e informação de gestão.
- Sua primeira versão foi denominada SNMPv1 e a segunda versão, SNMPv2.
- Possui *Management Information Base* (MIB), o qual se trata de uma

coleção estruturada de objetos, ou seja, dos dados a serem geridos. A MIB no protocolo SNMP surge como uma base de dados organizada em árvore.

- Utiliza a *Structure of Management Information* (SMI), a qual descreve o formato da definição do objeto gerido (providencia uma maneira de definir os objetos, especificando o modo como são definidas e construídas as MIBs). A primeira versão da SMI foi denominada SMIv1 e a segunda, SMIv2.

Mais detalhes podem ser vistos em Stallings (1999), Schmidt e Mauro (2005), Case (1990), Tanenbaum e Wetherall (2011), Presuhn (2002) e Lopes (2002).

1.6 Monitoramento de dados básicos para rede de dados de telecomando de usinas e subestações por Centro de Operação Regional (COR)

Como constatado por Flores (2009) e Villela et al. (2009), para o bom funcionamento das ações de um SCADA genérico é importante o monitoramento dos equipamentos de redes de dados que o auxiliam nessa função. Para um SCADA instalado em Centro de Operação Regional (COR) não é diferente; geralmente são monitorados os pontos mais relevantes de uma rede de dados para garantir a confiabilidade da supervisão e controle pelo SCADA das instalações. Pode-se chegar aos dados básicos:

- **UACs (subestações e usinas):** informações das ligações protocolares com SCADA(s) do(s) COR(s), processamento, memória, alocação de arquivos e condição de funcionamento de recursos adicionais da UAC (placas de comunicação, fontes de alimentação etc.).
- **Switches e roteadores:** informações das portas de comunicação (tráfego, latência, erros etc.).
- **Servidores (COS/COR):** processamento, memória, alocação de arquivos (unidade(s) de disco), portas de comunicação (tráfego, latência, erros etc.).

Para este trabalho foram considerados os seguintes dados: UACs (informações das ligações protocolares entre UACs e SCADA(s) do(s) COR(s)), roteadores (monitoramento de porta de saída de tráfego das subestações e usinas) e servidores (processamento, memória e alocação de disco).

Como neste trabalho os dados que trafegam serão tratados e analisados

através de algoritmos fundamentados em lógica Paraconsistente e lógica *Fuzzy*, os conceitos relacionados a essas duas lógicas serão apresentados na próxima seção.

1.7 Lógicas Paraconsistente e *Fuzzy*

Nesta seção, são apresentados os principais conceitos e fundamentos das lógicas não clássicas Paraconsistente e *Fuzzy*, que serão a base para a construção dos algoritmos utilizados no sistema de monitoramento proposto.

1.7.1 A Lógica Clássica

A Lógica Clássica ou Aristotélica foi desenvolvida, ao que tudo indica, pelo filósofo grego Aristóteles (384–322 a.c.) e por colaboradores, como uma ferramenta para averiguar a veracidade ou não dos raciocínios (DA SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

Na sua fundamentação, a Lógica Clássica compreende apenas dois estados: o “verdadeiro”, que pode ser equivalente ao valor 1, e o “falso”, que pode equivaler ao valor 0. Os princípios fundamentais da Lógica Clássica são:

1. **Princípio da Identidade:** $p \rightarrow p$, ou seja, toda proposição implica a si mesma.
2. **Princípio do Terceiro Excluído:** $p \vee \neg p$, ou seja, de duas proposições contraditórias (sendo uma a negação da outra), uma é verdadeira.
3. **Princípio da Não Contradição:** $\neg(p \vee \neg p)$, ou seja, entre duas proposições contraditórias, uma é falsa.

O nível de importância da Lógica Aristotélica é considerado elevado, pois grandes áreas da tecnologia atual se amparam em seus princípios. No entanto, no contexto dos avanços de novas tecnologias, a Lógica Clássica apresenta condições limitadas para a caracterização do conteúdo de informações relacionadas ao meio excluído, excedente ao caráter binário. Ter o conhecimento pleno dessas informações é fundamental para o momento de agir e controlar os reais cenários, situações em que os princípios da Lógica Binária não permitem a interpretação e o tratamento de informações incompletas, ambíguas e inconsistentes. Mesmo observando-se que a Lógica Clássica possui grande eficiência, a tecnologia e seus avanços limitaram sua aplicação através da exigência de respostas cada vez mais precisas (DA SILVA

FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008). “Para Aristóteles, a lógica deveria fornecer os instrumentos mentais necessários para enfatizar qualquer tipo de investigação”. (CHAGAS, 2004).

Em busca de novas formas de tratamento da informação nas situações-limite referendadas, criaram-se as Lógicas não Clássicas. Elas possuem em seus fundamentos, de certa forma, conceitos que desconsideram alguns inflexíveis princípios contidos nas leis binárias da Lógica Clássica.

As Lógicas não Clássicas violam justamente as suposições binárias que não admitem indefinições, ambiguidades e contradições nos seus fundamentos. Estabelece que o conceito de dualidade é algo que pode coexistir com seu oposto para se obter melhor precisão nas conclusões para a tomada de decisão. (DA SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

1.7.2 Lógicas não Clássicas

O fato de a Lógica Clássica permitir somente dois estados, do tipo falso ou verdadeiro (valores 1 ou 0), faz com que em alguns momentos não se tenha um resultado aceitável correspondente à realidade, o que o torna inconcluso e de difícil utilização. Diversas lógicas foram desenvolvidas (figura 6) para complementar a Lógica Clássica e, até mesmo, derrogar alguns de seus princípios fundamentais.

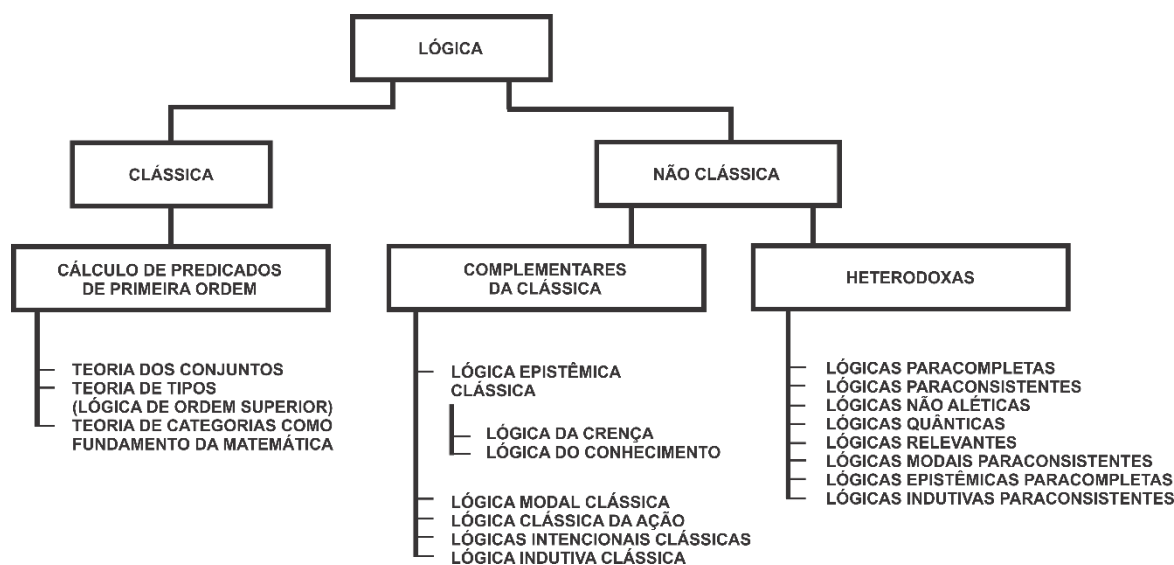


Figura 6 – Classificação de alguns tipos de lógica
Fonte: adaptado de Cunha et al. (2017).

Dentre as Lógicas não Clássicas destaca-se a Lógica Paraconsistente (LP),

que tem entre seus objetivos oferecer alternativas aos princípios clássicos do Terceiro Excluído e da Não Contradição, que se mostraram insuficientes para tratar informações originárias de condições não cobertas pela Lógica Clássica. Atualmente, algumas áreas de conhecimento como Filosofia, Inteligência Artificial e Robótica estudam a Lógica Paraconsistente, pois em suas aplicações são constantes as incertezas e as inconsistências.

1.7.3 *Lógica Paraconsistente*

A Lógica Paraconsistente é classificada como uma Lógica não Clássica que se opõe ao princípio da não contradição e assume o tratamento de sinais contraditórios em sua teoria.

A Lógica Paraconsistente teve seu início através dos trabalhos do polonês Jean Lukasiewicz (1878–1956) e do russo Nicolai A. Vasilév (1880–1940), por volta de 1910, quando sugeriram uma lógica que delimitaria o princípio da contradição. O primeiro a estruturar um cálculo proposicional paraconsistente foi o polonês S. Jaskowski (1906–1965), discípulo de Lukasiewicz, que em 1948 publicou suas ideias sobre lógica e contradição mostrando como se poderia construir um cálculo sentencial paraconsistente, com motivação conveniente. O sistema de Jaskowski, nomeado por ele de Lógica Discursiva, foi desenvolvido posteriormente (a partir de 1968) graças a obras de autores como J. Kotas, L. Furmanowski, L. Dubikajtis, Newton Carneiro Affonso da Costa (1929) e C. Pinter que o anteciparam. Assim, uma verdadeira Lógica Discursiva foi edificada, englobando um cálculo de predicados de primeira ordem e uma lógica de ordem superior (DA SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

O termo Paraconsistente foi criado em 1976 pelo filósofo peruano Francisco Miró Quesada em uma correspondência com os trabalhos de Newton C. A. da Costa e significa “ao lado da consistência” (COSTA; KRAUSE, 2004).

Abe (2014) e Da Silva Filho (1999) nos oferecem alguns princípios da Lógica Paraconsistente.

1.7.3.1 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

Uma extensão da Lógica Paraconsistente (LP) é a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). As fórmulas proposicionais na LPA vêm seguidas de anotações que

fazem parte de um reticulado finito τ , para o qual são atribuídos valores. Uma LPA pode ter um reticulado finito de quatro estados (Inconsistente (T), Indeterminado ou Paracompleto ($\perp$), Verdadeiro (V) e Falso (F)), de acordo com a figura 7.

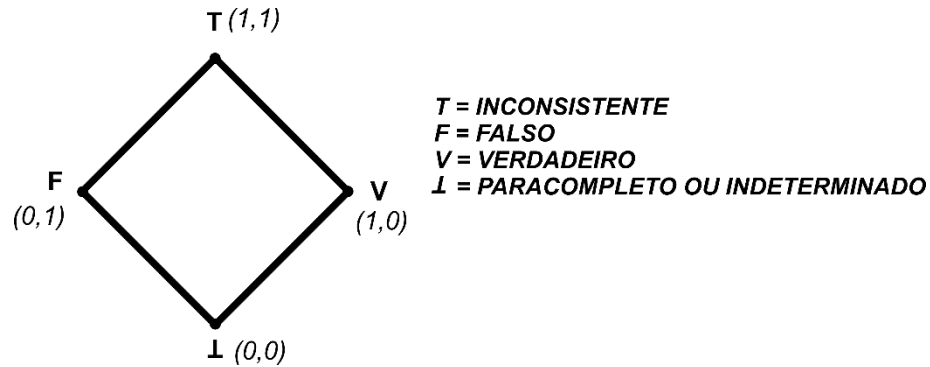


Figura 7 – Reticulado finito de quatro estados
 Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2006).

Na Lógica Paraconsistente Anotada, leva-se em consideração um operador $\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|$, que se diz a negação da LPA. Nessa situação determina-se que: $\sim(1) = 0$, $\sim(0) = 1$, $\sim(T) = T$ e $\sim(\perp) = \perp$ (DA SILVA FILHO, 2006).

Cada sentença proposicional é chamada de proposição.

A fórmula atômica P_μ pode ser lida como: “creio na proposição p com grau de crença (ou de evidência) de no máximo μ , ou até μ ($\leq \mu$)” (DA SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008). O grau de evidência é considerado como uma constante anotacional do reticulado. Dessa forma, podemos afirmar que cada grau de evidência atribuído à proposição é um valor que está no conjunto de valores composto pelas constantes anotacionais do reticulado $\{T, V, F, \perp\}$ (DA SILVA FILHO, 2006).

Na LPA, a proposição é acompanhada de anotações ou graus de evidência que lhe atribuem conotação lógica. Isso determina a leitura, a seguir (DA SILVA FILHO, 2006):

- **p_T** = a anotação ou o grau de evidência atribui uma conotação lógica de Inconsistência à proposição p.
- **p_V** = a anotação ou o grau de evidência atribui uma conotação lógica de Verdade à proposição p.
- **p_F** = a anotação ou o grau de evidência atribui uma conotação lógica de Falsidade à proposição p.
- **$p_\perp$** = a anotação ou o grau de evidência atribui uma conotação lógica de Indeterminação à proposição p.

1.7.3.2 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE DOIS VALORES

A anotação pode ser feita por 1 ou n valores de modo a conferir maior intensidade das representações de quanto as anotações expõem o conhecimento sobre a proposição P. É possível usar um reticulado no plano real no qual a anotação é formada por dois valores simbólicos (μ, λ) . Para esse caso, a lógica é chamada de Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores.

Os valores de μ e λ são completamente independentes. A anotação de dois valores no reticulado τ será: $\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0,1] \subset \mathfrak{R}\}$. O operador “ $\sim$ ” é definido agora como: $\sim [(\mu, \lambda)] = (\mu, \lambda)$, em que $\{(\mu, \lambda) \in \{x \in \mathfrak{R} \mid 0 \leq x \leq 1\}\}$ (DA COSTA et al., 1991).

Desse modo, a associação de uma anotação (μ, λ) a uma proposição P significa que o grau de evidência favorável em P é μ , enquanto o grau de evidência desfavorável ou contrário a P é λ . De forma similar à LPA, pode-se deduzir que (figura 8):

- $\mathbf{p_v} = P_{(1,0)}$ = indica-se existência de evidência favorável total e evidência desfavorável nula, oferecendo uma conotação lógica de Verdade.
- $\mathbf{p_F} = P_{(0,1)}$ = indica-se existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável total, oferecendo uma conotação lógica de Falsidade.
- $\mathbf{p_T} = P_{(1,1)}$ = indica-se existência de evidência favorável total e evidência desfavorável total, oferecendo uma conotação lógica de Inconsistência.
- $\mathbf{p_{\perp}} = P_{(0,0)}$ = indica-se existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável nula, oferecendo uma conotação lógica de Paracompleteza.

A coleta de valores para os graus de evidência favorável (μ) e de evidência desfavorável (λ) objetiva solucionar o problema de sinais contraditórios. Por meio de análises é possível modificar o comportamento de um sistema de modo a diminuir a “intensidade” das contradições.

Segundo Da Silva Filho (2006), quando múltiplas inferências apresentam inconsistências, a LPA em sua forma de anotação com dois valores (LPA2v) tem se apresentado adequada, ajudando a resolver conflitos através do conhecimento de evidências.

A aplicabilidade e usabilidade da LPA2v em Automação e Robótica foram apontadas por Torres (2004, 2009), Da Silva Filho et al. (2006) e Torres, Abe e Lambert-Torres (2005).

A figura 8 apresenta um reticulado finito de quatro estados associado à LPA2v, no qual a anotação correspondente, composta de dois valores, é indicada nos seus vértices.

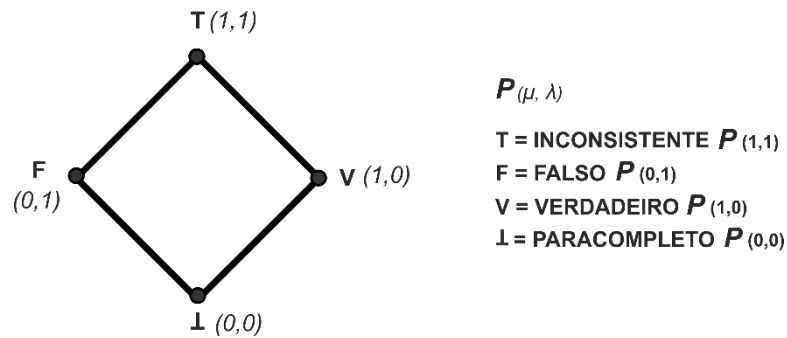


Figura 8 – Reticulado finito de quatro estados com anotações da LPA2v
Fonte: Da Silva Filho (2006).

1.7.3.2.1 Graus de certeza e de contradição

Podem-se encontrar, através de interpretações no reticulado da LPA2v, valores representados no eixo horizontal nomeados de graus de certeza (G_c) e, no eixo vertical, nomeados de graus de contradição (G_{ct}) (DA SILVA FILHO, 1999). Portanto, podem-se equacionar o grau de certeza e o grau de contradição, respectivamente, por meio das equações 1 e 2:

$$G_c = \mu - \lambda \quad (1)$$

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \quad (2)$$

O ponto de encontro entre o grau de certeza e o grau de contradição é considerado um estado lógico paraconsistente $\mathbf{Et}(G_c, G_{ct})$. Desse modo, um estado lógico paraconsistente verdadeiro (1,0) está representado na figura 9 pelo ponto D, e um estado lógico paraconsistente falso (0,1) está representado pelo ponto B.

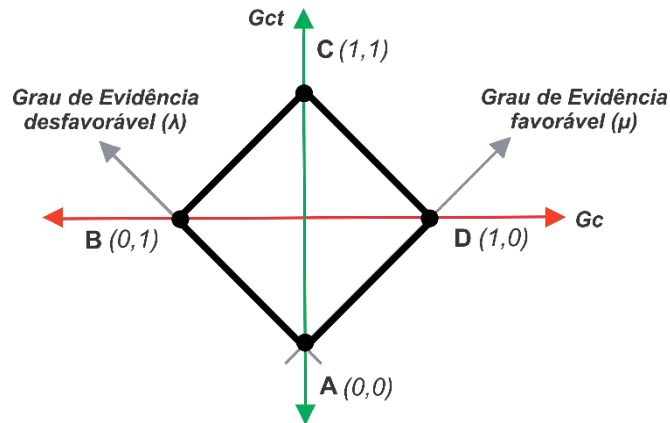


Figura 9 – Representação dos graus de certeza e de contradição
Fonte: Da Silva Filho (1999).

Considerando-se que o ponto de interseção dos eixos dos graus de certeza e contradição é a origem desses valores, ou seja, que nesse ponto $G_c = 0$ e $G_{ct} = 0$, pode-se dizer que quando uma proposição apresentar estado lógico paraconsistente verdadeiro, o valor do grau de certeza será $G_c = +1$. De forma análoga, quando uma proposição apresentar estado lógico paraconsistente falso, o valor do grau de certeza será $G_c = -1$.

Ainda na figura 9 pode-se verificar que o ponto C é representando pelo estado lógico inconsistente e o ponto A, representado pelo estado lógico indeterminado.

Tratando-se de um sistema de verificação paraconsistente; se o estado lógico de uma proposição permanecer próximo da seção de reta constituída pelos pontos BD da figura 9, o grau de contradição será pequeno. Mas, se o estado lógico permanecer a uma distância máxima da reta BD, o grau de contradição será $G_{ct} = +1$ (inconsistente) ou $G_{ct} = -1$ (indeterminado), demonstrando um valor máximo para a contradição.

Os valores dos graus de certeza pertencem ao conjunto $\mathfrak{R}$, variam no intervalo fechado +1 e -1 e estão no eixo horizontal do reticulado, conforme apresentado na figura 10. Definido por Da Costa et al. (1999), o G_c é considerado como o valor que representa no reticulado a distância entre os dois estados extremos, denominados de Totalmente Falso e Totalmente Verdadeiro.

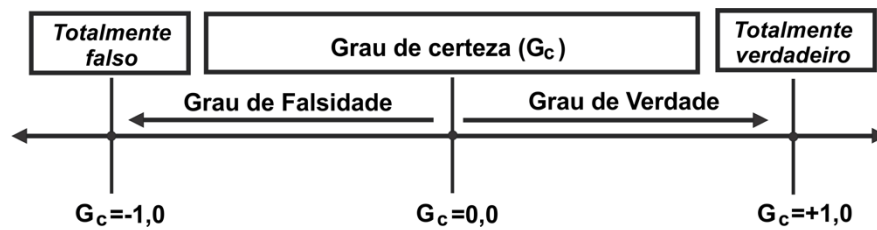


Figura 10 – Representação do grau de certeza
Fonte: Da Silva Filho (2006).

A figura 11 exibe o eixo dos graus de contradição juntamente com seus valores de -1 a +1, que fazem parte do conjunto $\mathfrak{R}$ segundo Da Costa et al. (1999). O G_{ct} é determinado como o valor que retrata no reticulado a distância entre os dois estados lógicos extremos, chamados de Totalmente Paracompleto e Totalmente Inconsistente.

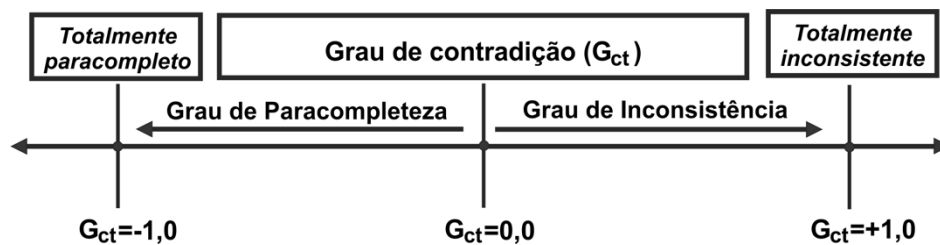


Figura 11 – Representação do grau de contradição
Fonte: Da Silva Filho (2006).

1.7.3.2.2 Delimitação de regiões no reticulado associado a LPA2v

Em um trabalho de Abe et al. (2006), foram delimitadas regiões no reticulado associado à LPA2v. A descrição dessas regiões foi definida pelo algoritmo denominado Para-Analisador, e através dele podem-se representar os estados lógicos extremos e não extremos, como se pode ver na figura 12.

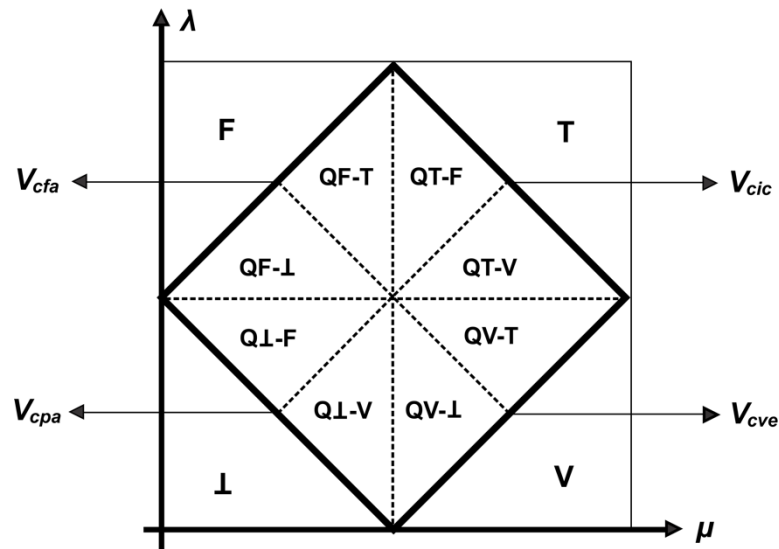


Figura 12 – Representação dos estados lógicos extremos e não extremos
Fonte: adaptado de Torres et al. (2011).

Os estados lógicos extremos foram denominados Verdadeiro (V), Falso (F), Paracompleto ($\perp$) e Inconsistente (T), e os estados lógicos não extremos foram denominados como Quase-verdadeiro tendendo para Inconsistente (QV- $\rightarrow$ T), Quase-verdadeiro tendendo para Paracompleto (QV- $\rightarrow\perp$), Quase-falso tendendo para Inconsistente (QF- $\rightarrow$ T), Quase-falso tendendo para Paracompleto (QF- $\rightarrow\perp$), Quase-inconsistente tendendo para Verdadeiro (QT- $\rightarrow$ V), Quase-inconsistente tendendo para Falso (QT- $\rightarrow$ F), Quase-paracompleto tendendo para Verdadeiro (Q $\perp$ - $\rightarrow$ V) e Quase-paracompleto tendendo para Falso (Q $\perp$ - $\rightarrow$ F) (ABE et al., 2006).

Foram ainda definidos no algoritmo Para-Analisador os limites das regiões que definem a transição entre estados lógicos extremos e não extremos (TORRES et al., 2011). Esses limites foram nomeados como: **Vcic** = valor máximo de controle de incerteza; **Vcve** = valor máximo de controle de certeza; **Vcpa** = valor mínimo de controle de incerteza e **Vcfa** = valor mínimo de controle de certeza.

1.7.4 Conjuntos Fuzzy e Lógica Fuzzy

Nesta seção, são apresentados conceitos básicos da teoria dos conjuntos Fuzzy e da lógica Fuzzy. Em Marro et al. (2010), são encontradas informações mais detalhadas sobre a lógica Fuzzy.

1.7.4.1 CONJUNTOS FUZZY E TERMINOLOGIA

Sendo $\mathbf{U}$ uma coleção de objetos denotada genericamente por $\{u\}$, que pode ser discreta ou contínua, $\mathbf{U}$ é chamado de universo do discurso e u representa genericamente um elemento de $\mathbf{U}$.

Um conjunto *Fuzzy* $\mathbf{F}$ no universo do discurso $\mathbf{U}$ é caracterizado por uma função de inferência u_f que tem valores no intervalo $[0,1]$. Nominalmente, $u_f: \mathbf{U} \rightarrow [0,1]$.

Um conjunto *Fuzzy* pode ser visto como uma generalização do conceito de conjunto ordinário cuja função de pertinência somente tem dois valores: $\{0,1\}$. Portanto, um conjunto *Fuzzy* $\mathbf{F}$ em $\mathbf{U}$ pode ser representado por um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico u e sua espécie de função de pertinência, conforme a equação 3:

$$F = \{(u, u_f(u)) \mid u \in \mathbf{U}\} \quad (3)$$

Quando $\mathbf{U}$ é contínuo, um conjunto *Fuzzy* pode ser escrito como a equação 4:

$$F = \int_{\mathbf{U}} u_f(u)/u \quad (4)$$

Quando $\mathbf{U}$ é discreto, um conjunto *Fuzzy* $\mathbf{F}$ é representado pela equação 5:

$$\sum u_f(u_i)/u_i \quad (5)$$

Definições:

- O suporte de um conjunto *Fuzzy* $\mathbf{F}$ é o conjunto de valor único (*crisp*) de todos os pontos u em $\mathbf{U}$, de modo que $u_f(u) > 0$. Em particular, o elemento u em $\mathbf{U}$ ao qual $u_f = 0.5$ é chamado de *single point*; o conjunto *Fuzzy* cujo suporte é o *single point* em $\mathbf{U}$ com $u_f = 1,0$ é referido como um *Fuzzy singleton*.
- Dados $\mathbf{A}$ e $\mathbf{B}$, dois conjuntos *Fuzzy* em $\mathbf{U}$ com as funções de pertinência (*Membership*) u_a e u_b , respectivamente, o conjunto das operações de União, Interseção e Complemento para os conjuntos *Fuzzy* são definidos

via Funções de pertinência.

União na equação 6:

$$U_{a \cup b}(u) = \mathbf{max} \{u_a(u), u_b(u)\} \quad (6)$$

Interseção na equação 7:

$$U_{a \cap b}(u) = \mathbf{mín} \{u_a(u), u_b(u)\} \quad (7)$$

Complemento na equação 8:

$$U_{\bar{a}}(u) = 1 - u_a(u) \quad (8)$$

Os procedimentos conforme a teoria de conjuntos *Fuzzy* fornecem uma base para se obter uma maneira sistemática de manipulação de conceitos de vagueza e imprecisão. Esses procedimentos nos possibilitam o emprego da teoria dos conjuntos para representar *variáveis linguísticas*. Uma *variável linguística* pode ser considerada como uma variável cujo valor é um número *Fuzzy*, ou como uma variável cujo valor é definido em termos linguísticos.

A variável linguística é caracterizada por uma quintupla $(x, T(x), U, G, M)$ em que:

- x é o nome da variável;
- $T(x)$ é o conjunto de termos de x , isto é, o conjunto de nomes de valores linguísticos de x em que cada valor é um número *Fuzzy* definido em U ;
- U é o Universo do discurso;
- G é a regra sintática para gerar os nomes do valor de x ;
- M é a regra semântica para associar com cada valor o seu significado.

Na definição de uma implicação *Fuzzy* é feita a análise de mecanismos de raciocínio *Fuzzy*. Nesse processo, as funções de pertinência geram proposições *Fuzzy n-árias* do tipo da equação 9:

$$((x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ é } R) \quad (9)$$

Definições:

- $x_1, x_2, \dots, x_n$ são os nomes de m variáveis linguísticas cujos Universos de discurso são respectivamente, $X_1, X_2, \dots, X_n$.
- R é uma relação *Fuzzy* definida em $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$.

Dependendo do processo, as combinações de n declarações *Fuzzy* podem ser feitas utilizando operadores *Fuzzy* apresentados como alternativas de controle em vários estudos (CHEN, 1990). Alguns podem operar por ação de maximização pelo conectivo OR, ou por minimização pelo conectivo AND (ZADEH, 1973).

Uma forma clássica utilizada para encontrar essa relação são as regras de inferência *Fuzzy*. As regras de inferência *Fuzzy* são o núcleo do sistema *Fuzzy*, em que um comportamento dinâmico é obtido por um conjunto de regras da forma: SE um conjunto de condições são satisfeitas, ENTÃO um conjunto de consequências pode ser inferido. A cláusula SE é um antecedente e a cláusula ENTÃO é consequente em uma ação de controle para dado processo. Com um conjunto de regras *Fuzzy* pode-se derivar uma ação de controle para dado conjunto de valores de entrada.

A aproximação utilizada em um controle *Fuzzy* é baseada no método de raciocínio aproximado *Modus Ponens* Generalizado (MPG). Um sistema com duas entradas e uma saída gera n -regras do sistema *Fuzzy*, e os estados MPG são:

Premissa 1 (fato): **Se** x é A' e y é B'

Implicação R_1 : **Se** x é A_1 e y é B_1 , **então** Z é C_1

também R_i : **Se** x é A_i e y é B_i , **então** Z é C_i

também R_n : **Se** x é A_n e y é B_n , **então** Z é C_n

Conclusão: Z é C'

Definições:

- x, y e Z são variáveis linguísticas;
- x, y representam duas entradas.

Após a inferência da ação de controle *Fuzzy*, é determinada uma ação representada por um único valor (*crisp value*) que melhor represente a decisão *Fuzzy*.

O processo que transforma as ações de controle *Fuzzy* que foram inferidas em um valor único na saída é chamado de *defuzzificação*. Não existe procedimento sistemático para a escolha do método de *defuzzificação*; os mais comuns são:

- a) o critério de máximo (Max), que escolhe o ponto onde a função inferida tem o seu máximo.
- b) a média dos máximos (MDM), que representa o valor médio entre todos os pontos de máximo (quando existe mais de um máximo).
- c) o método do centro de área (CDA), que retorna o centro de área da função inferida.
- d) o centro de gravidade – *Center of Gravity* (COG).

Entre os apresentados, o último se mostra muito eficiente. A computação do valor único (*crisp value*) é feita pela equação 10:

$$Z_i = \frac{\sum \mu_i(z_k) Z_i}{\sum \mu_i(z_k)} \quad (10)$$

Definição:

- $\mu_i(z_k)$ é a área constituída pelas funções de pertinência de saída aplicadas pelos pesos μ_i de todas as regras de inferência (que podem ter sido obtidos por exemplo pelo operador de mínimo).

Uma versão simplificada da *defuzzificação* COG pode ser feita assumindo que todos os formatos de funções de pertinência são simétricos. Modela-se a saída como uma função singular (*Singleton*) situada no centro Z . Com essa simplificação, o resultado é a equação 11:

$$Z_i = \frac{\sum \mu_i Z_i}{\sum \mu_i} \quad (11)$$

O algoritmo computacional fica da seguinte forma para todas as regras *Fuzzy* disparadas:

Passo 1 - Compute:

- a) Soma $\sum \mu_i$ para todos os pesos;

- b) Produto $\mu_i Z_i$, para todos os pesos e seus correspondentes valores centrais de suas correspondentes funções de pertinência de saída.

Passo 2 - Compute a soma de produto $\sum \mu_i Z_i$ para todos $\mu_i Z_i$ obtidos no passo 1b.

Passo 3 - Compute a divisão $\sum \mu_i Z_i / \sum \mu_i$ com base nos resultados obtidos nos passos 1 e 2.

1.7.5 *Associação da Lógica Fuzzy com a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (Lógica Híbrida Para-Fuzzy)*

A análise feita nesta seção pode ser vista também em Da Silva Filho (1999, 2006), Cortes (2017) e Massoti e Sun Ting (2002).

1.7.5.1 ANÁLISE PARACONSISTENTE/FUZZY

Primeiramente, os graus de evidência são analisados pelo algoritmo Para-Analisador Simplificado (DA SILVA FILHO, 2009), que os transforma em dois valores denominados de grau de certeza (G_c) e grau de contradição (G_{ct}).

Esses dois sinais, um relacionado à noção de certeza (Verdade e Falsidade) e outro relacionado à contradição (Inconsistência e Indeterminação), têm os seus valores confinados a um universo de discurso normalizado entre -1 e +1. A normalização de valores possibilita que sejam elaborados os procedimentos da teoria dos conjuntos nebulosos aplicados aos graus de certeza e de contradição, resultando em um sinal único na saída que expressa, particularmente nesse contexto, uma das 12 situações representativas dos estados da LPA2v.

O reticulado representativo da LPA2v pode ser considerado em valores de graus de certeza e de contradição conforme a figura 13.

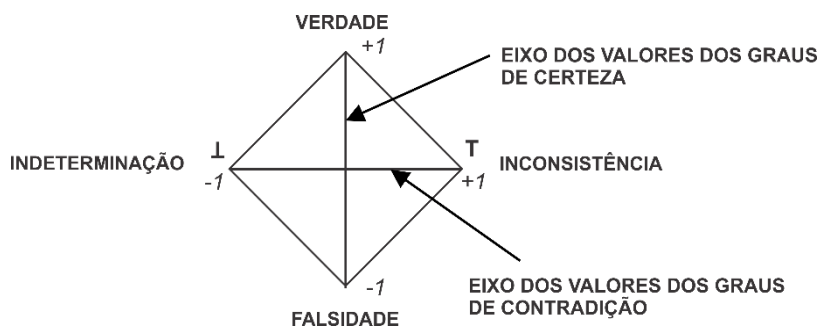


Figura 13 – Reticulado da LPA2v com valores de graus de certeza e de contradição
Fonte: Da Silva Filho (2009).

Após a análise paraconsistente nos graus de evidência favorável e de evidência desfavorável, os valores dos graus de certeza e de contradição, quando expostos no reticulado, indicam em que região se enquadra a proposição P inicial (expressa pelos graus de evidência) diante da situação analisada.

Se os graus de certeza e de contradição indicam um valor próximo à região de Verdade, pode-se denominar essa situação como de Quase-verdade. Do mesmo modo, se os graus de certeza e de contradição indicam um valor próximo à região de Inconsistência, considera-se uma situação de Quase-inconsistência. Por analogia, um valor próximo à Falsidade representa uma situação de Quase-falsidade e, por último, com um valor próximo à região de Indeterminação tem-se uma situação de Quase-indeterminação. Um reticulado que representa essas regiões está na figura 14.

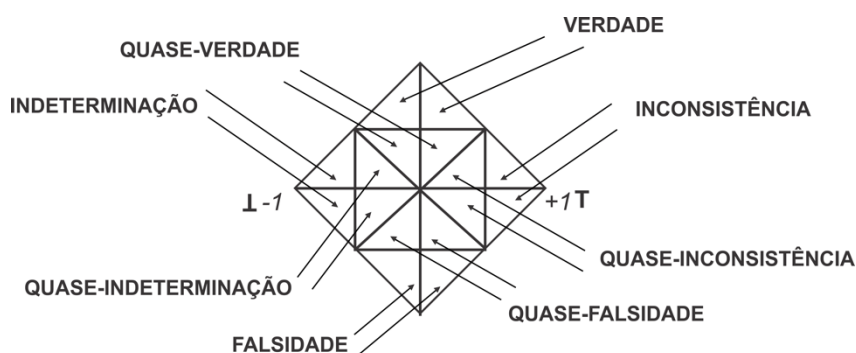


Figura 14 – Reticulado da LPA2v com as regiões discriminadas no reticulado
Fonte: Da Silva Filho (2009).

Pode-se dividir o reticulado em várias partes (DA SILVA FILHO, 1999) para determinar regiões que representam os resultados das análises das situações na forma de graus de evidências aplicados na entrada.

Uma análise paraconsistente feita dessa forma, permite que se obtenha controle sobre a situação analisada. Esse controle, deduzido do tratamento

matemático dado aos sinais dos graus de evidências no algoritmo Para-Analisador, pode ser refinado modificando-se a granulação do reticulado, o que tem como consequência o aumento no número de regiões. Com um maior número de regiões, consegue-se um ajuste fino nas decisões resultantes das análises.

O controle que utiliza apenas as regiões resultantes do reticulado apresenta bons resultados (DA SILVA FILHO, 1999), no entanto as linhas que limitam as regiões consideradas no reticulado não são precisas, o que leva a ambiguidades nas conclusões, porque aparecem áreas próximas às linhas de delimitações das regiões que geram decisões vagas e imprecisas.

Para definir melhor as regiões no reticulado e assim poder tomar melhores decisões a partir das análises paraconsistentes, aplica-se a teoria dos conjuntos nebulosos, que contribui para uma melhora significativa nas respostas do controle.

1.7.5.2 ELABORAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

A metodologia da lógica *Fuzzy* aplicada ao reticulado da LPA2v gera funções de pertinência para duas classes de conjuntos nebulosos: uma classe proporciona funções de pertinência no eixo dos graus de contradição, e a outra proporciona funções de pertinência no eixo dos graus de certeza.

Para a construção das funções de pertinência nos eixos da certeza e da contradição pode-se utilizar o tipo de representação triangular. Os suportes dos conjuntos *Fuzzy* e dos pontos de cruzamento (*Crossover points*) estão identificados nas figuras 15 e 16.

A figura 15 mostra o reticulado da LPA2v e as funções de pertinência geradas no eixo dos graus de contradição.

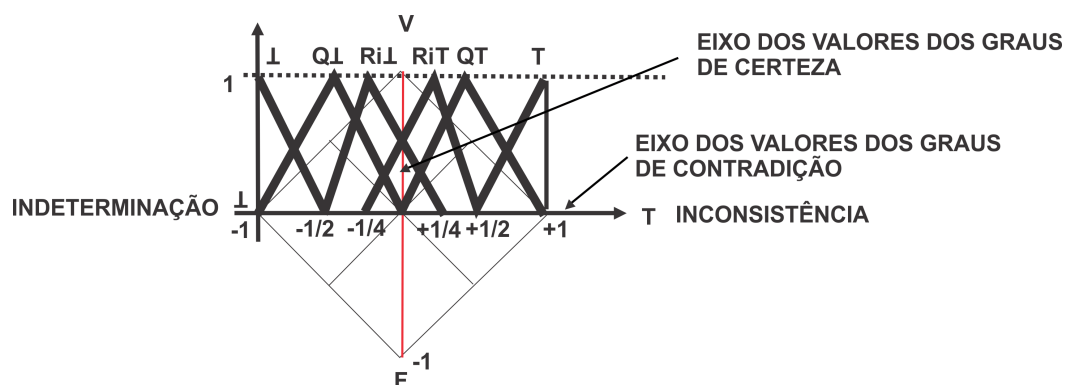


Figura 15 – Funções de pertinência elaboradas no eixo das contradições
 I – Indeterminação, QI – Quase-indeterminação, RiI – Região comum tendendo para

indeterminação, RiT – Região comum tendendo para inconsistência, QT – Quase-inconsistência e T – Inconsistência

Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2009).

A figura 16 mostra o reticulado da LPA2v e as funções de pertinência no eixo dos graus de certeza.

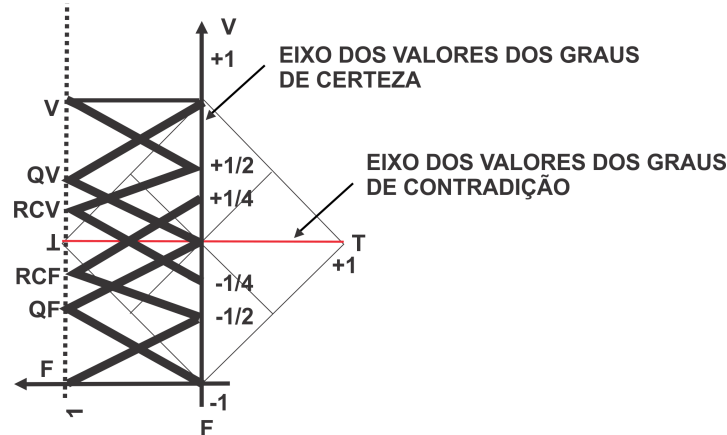


Figura 16 – Funções de pertinência elaboradas no eixo das certezas
V – Verdade, QV – Quase-verdade, RCV – Região comum tendendo para verdade, RCF – Região comum tendendo para falsidade, QF – Quase-falsidade e F – Falsidade

Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2009).

1.7.5.3 DEFINIÇÕES DO PROJETO *PARA-FUZZY*

Com as funções de pertinência obtidas, os procedimentos para a definição do projeto *Para-Fuzzy* seguem a metodologia da lógica *Fuzzy*.

Nessa elaboração, são incluídas as fases de um projeto *Fuzzy* que tratam das estratégias de *fuzzificação* e *defuzzificação*. Para isso, é necessário aplicar as técnicas de derivação de dados de base e as regras de controle *Fuzzy*.

Primeiramente, são descritos o problema proposto e o objetivo do projeto (figura 17).

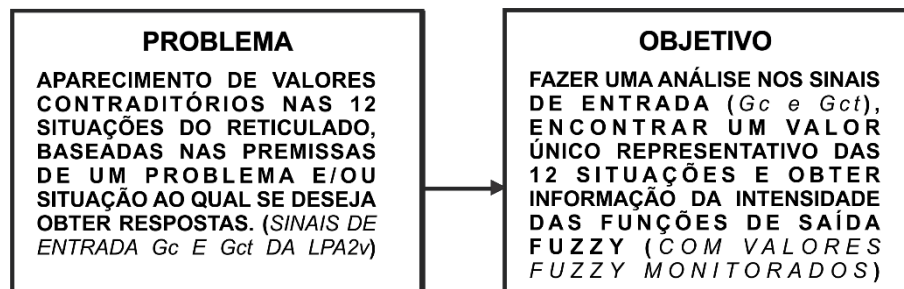


Figura 17 – Problemática e objetivo do projeto da Lógica Híbrida *Para-Fuzzy*
Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2009).

As fases do projeto Paraconsistente-Fuzzy são resumidas na figura 18.

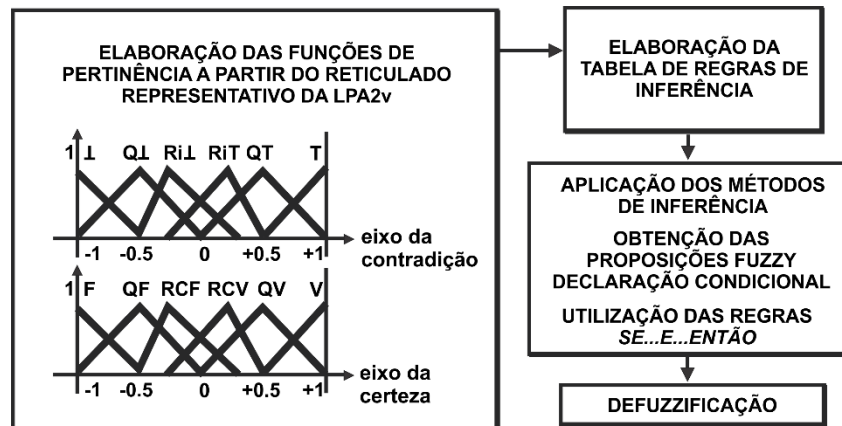


Figura 18 – Fases do projeto *Para-Fuzzy*
 Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2009).

Um quadro de regras de inferência obtidas a partir das funções de pertinência é mostrado na figura 19.

G_c \ G_{ct}	V	QV	RCV	RCF	QF	F
$\perp$	*	*	$\perp$	$\perp$	*	*
$Q\perp$	*	$QV-\perp$	$Q\perp-V$	$Q\perp-F$	$QF-\perp$	*
$Ri\perp$	V	$QV-\perp$	*	*	$QF-\perp$	F
RiT	V	$QV-T$	*	*	$QF-T$	F
QT	*	$QV-T$	$QT-V$	$QT-F$	$QF-T$	*
T	*	*	T	T	*	*

Figura 19 – Quadro representativo das regras de inferência
 Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2009).

A partir das regras de inferência apresentadas na figura 19, são feitos os procedimentos clássicos de métodos de inferência apresentados com detalhes por Chen (1990) e Zadeh (1973); a *defuzzificação* nas funções de pertinência da saída é feita escolhendo-se o método mais adequado.

O valor único (*crisp value*) da saída vai indicar se a proposição se encontra numa das 12 regiões do reticulado da LPA2v, que são: $Q\perp-F$, $QF-\perp$, F, $QF-T$, $QT-F$, T, $QT-V$, $QV-T$, V, $QV-\perp$, $Q\perp-V$ e $\perp$.

O conjunto nebuloso da saída terá, portanto, 12 funções de pertinência representando as 12 regiões correspondentes aos estados lógicos da LPA2v.

Verifica-se, na figura 20, que o sinal único de saída varia (de -1 a +1) entre os máximos e mínimos de Verdade e Falsidade, adicionando agregado aos valores de certeza, inconsistência e indefinição.

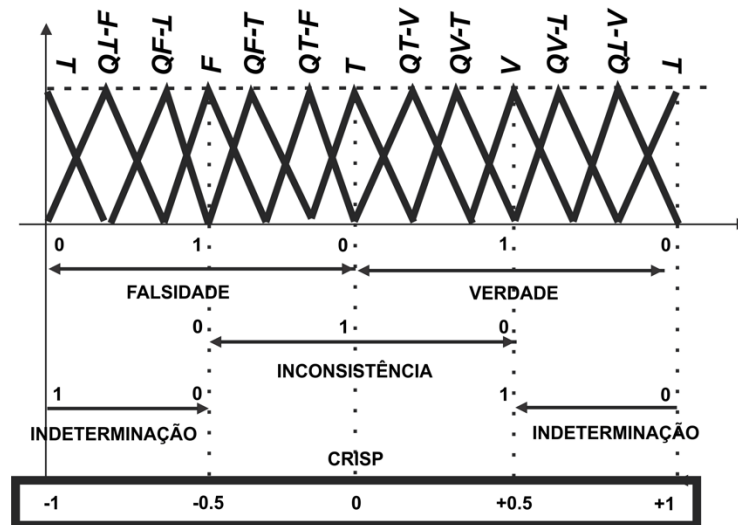


Figura 20 – Saída de sinal único (*crisp value*) após aplicação da junção das lógicas Paraconsistente e Fuzzy (híbrida Para-Fuzzy)

Fonte: adaptado de Da Silva Filho (2009).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados. Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento e dos testes inerentes à pesquisa foram utilizados os programas e equipamentos descritos a seguir.

2.1 Plataforma de testes

2.1.1 Equipamentos e softwares utilizados

Equipamentos

- **HP PROLIANT DL 360 G8:**
 - Servidor do fabricante HP.
- **HP WORKSTATION Z240:**
 - Computador do fabricante HP.
- **CISCO 2911**
 - Roteador do fabricante CISCO.

Software

- **SCATEX:** sistema SCADA da empresa EFACEC, composto pelos *softwares* Scatex e FE500. Os servidores utilizados com os *softwares* Scatex e FE500 foram:
 - Servidor Scatex (versão de *software* Scatex 14.7.0)
 - Sistema operacional Linux Red Hat 5.4.
 - Nesse servidor podem-se destacar as seguintes funcionalidades: telas, lógicas em C, base de dados de tempo real, gráficos.
 - Servidor FrontEnd (versão de *software* FE500 5.4.0)
 - Sistema operacional Windows XP SP3.
 - Nesse servidor pode-se destacar a seguinte funcionalidade: aquisição de dados por *drivers* de protocolo de comunicação.
 - Servidor WatchDog (versão de *software* FE500 5.4.0)
 - Sistema operacional Windows XP SP3.
 - Nesse servidor pode-se destacar a seguinte funcionalidade: gestão das comutações para servidores Scatex 14.7.0.

- **CLP500:** solução de automação da empresa EFACEC que suporta lógicas, *drivers* de comunicação, IHM etc. Os servidores com o *software* CLP500 foram:
 - Servidor UC500/CLP500 SCADA (versão de *software* CLP500 5.3.0)
 - Sistema operacional Windows XP SP3.
 - Nesse servidor, podem-se destacar as seguintes funcionalidades: *drivers* de comunicação, lógicas em C++, telas, base de dados em tempo real, gráficos, conversão de protocolo e distribuição de informações.
 - Servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* (versão de *software* CLP500 5.3.0)
 - Sistema operacional Windows XP SP3.
 - Nesse servidor, podem-se destacar as seguintes funcionalidades: *drivers* de comunicação, lógicas em C++, telas, base de dados em tempo real, gráficos, conversão de protocolo e distribuição de informações.
- **Wireshark:** é um programa que analisa o tráfego de rede e o organiza por protocolos. Através dessa aplicação, é possível monitorar o tráfego de uma rede e/ou a entrada e saída de dados de um computador, em diferentes protocolos.
- **Matlab:** trata-se de um *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico. O Matlab integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente fácil de usar (versão do *software* R2008a, The Mathworks Inc., MA, USA).
- **Vmware:** *software* de virtualização.

2.1.2 Cenário de estudo para sistema de monitoramento de rede de dados com uso das lógicas Paraconsistente e Fuzzy

Trata-se de um ambiente com a simulação do monitoramento de um centro de operação regional com o recurso básico do *software* Scatex e duas instalações telecomandadas por ele. Nesse centro de operação regional tem-se a composição de um servidor Scatex (com seus dois servidores agregados *FrontEnd* e *Watchdog*), dois UC500/CLP500 (entre eles o servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy*, onde ficam as

lógicas Paraconsistente, *Fuzzy* independente e Híbrida *Para-Fuzzy*), quatro estações corporativas, um *firewall* e dois roteadores (que através das interfaces de rede de saída fornecem acesso às instalações externas a serem controladas).

Na instalação 1 tem-se uma usina genérica (chamada de usina genérica 1), com duas unidades de aquisição e controle (UAC), três estações corporativas e dois roteadores (que através das interfaces de rede de saída fornecem acesso ao centro de operação regional).

Na instalação 2 tem-se a caracterização de uma subestação genérica (chamada de subestação genérica 1), com uma unidade de aquisição e controle (UAC), duas estações corporativas e um roteador (que através da interface de rede de saída fornece acesso ao centro de operação regional). A arquitetura de rede para teste do sistema de monitoramento com uso das lógicas Paraconsistente e *Fuzzy* é mostrada na figura 21.

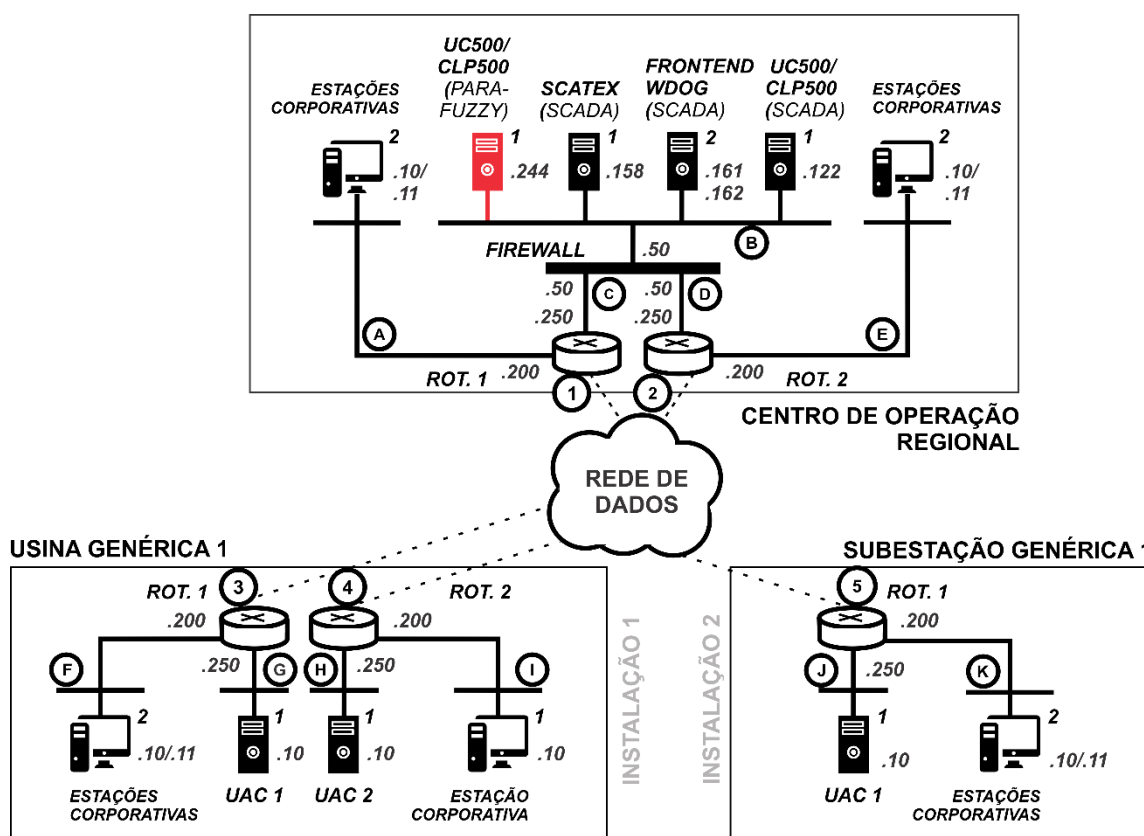
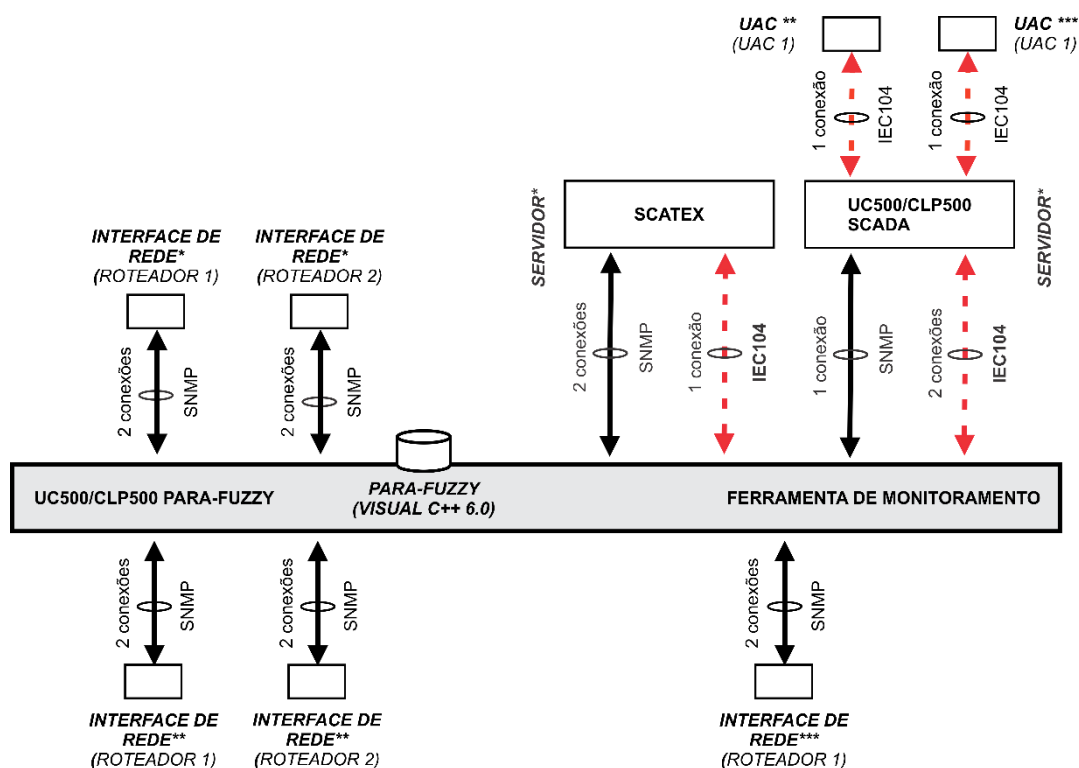


Figura 21 – Arquitetura de rede para o Sistema de Monitoramento *Para-Fuzzy*

A a E – Redes do Centro de Operação Regional; F a I – Redes da Usina Genérica 1; J e K – Redes da Subestação Genérica 1; 1 e 2 – Interfaces de rede de saída dos roteadores 1 e 2 do Centro de Operação Regional; 3 e 4 – Interfaces de rede de saída dos roteadores 1 e 2 da Usina Genérica 1; 5 – Interface de rede de saída do roteador 1 da Subestação Genérica 1.

Na rede B do Centro de Operação Regional encontra-se o ambiente SCADA, atrás do *firewall*. As demais redes do Centro de Operação Regional, A, C, D e E, conectam-se diretamente aos roteadores e não estão contempladas pelo *firewall*. Na usina genérica 1 e na subestação genérica 1 não se tem a presença de *firewall*. As redes B, C, D, G, H e J se comunicam formando um segmento operativo (segmentação lógica). As redes A, E, F, I e K se comunicam e interagem com outros elementos na nuvem da rede de dados, e formam o segmento corporativo. As identificações 1, 2, 3, 4 e 5 são as interfaces de saída dos roteadores que conectam as localidades à nuvem da rede de dados, ou seja, todo o fluxo para dentro de uma localidade, e vice-versa, passa por sua respectiva interface, 1, 2, 3, 4 ou 5.

2.1.3 Arquitetura das comunicações do servidor de monitoramento UC500/CLP500 Para-Fuzzy com equipamentos do cenário de estudo



* CENTRO DE OPERAÇÃO ** USINA GENÉRICA 1 *** SUBESTAÇÃO GENÉRICA 1

Figura 22 – Arquitetura lógica para o Sistema de Monitoramento Para-Fuzzy

A figura 22 é uma representação genérica das conexões do core do UC500/CLP500 Para-Fuzzy (lógicas desenvolvidas em C++ com aplicação da **biblioteca eFLL** (KRIDI et al., 2013)) com equipamentos/softwares para coleta de

dados e realização de análises. Nos roteadores, são coletadas as fontes de evidência por dois canais SNMP diferentes. Nas UACs, a coleta é intermediada pelo UC500/CLP500 SCADA, que possui conexão com as UACs. As coletas de dados das UACs se dão por apenas um canal IEC104, tanto entre UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e UC500/CLP500 SCADA quanto entre UC500/CLP500 SCADA e UACs. Para a coleta dos dados do servidor UC500/CLP500 SCADA utilizam-se um canal SNMP e um canal IEC104. Com o servidor SCATEX, para coleta das evidências são usados dois canais SNMP diferentes. Ainda existe um canal IEC104 adicional entre UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCATEX para o envio das variáveis resultantes das análises *Para-Fuzzy*, e a animação de telas de monitoramento da rede de dados analisada, o que permite o acompanhamento pelos operadores e especialistas do sistema.

Para validação do Centro de Operação Regional, foram feitos os testes com os servidores da rede B (.244, .158, .161, .162 e .122), virtualizados em VMware no servidor HP Proliant DL360 G8, simulando as entradas e saídas esperadas. Com esses testes, foi possível validar todo o servidor *Para-Fuzzy* (lógicas Paraconsistente, *Fuzzy* independente e Híbrida *Para-Fuzzy*), assim como a comunicação interna entre componentes do Scatex e UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* (IEC104 – animações das telas do Scatex de monitoramento da rede de dados). Para validação da UAC, foi virtualizado *software* CLP500 5.3.0 como UAC por VMWare em HP Workstation Z240 e feita a comunicação em rede local/bancada entre HP Workstation Z240 (CLP500 5.3.0 como UAC virtualizado) e HP Proliant DL360 G8 (UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* virtualizado) por protocolo IEC 104 (com este teste foi possível coletar dados para modelar os sinais de uma ligação protocolar IEC104). Para validação da comunicação com o roteador, foi feita a comunicação em rede local/bancada entre roteador 2911 CISCO e HP Proliant DL360 G8 (UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* virtualizado), com ligação entre ambos por protocolo SNMP (com este teste, foi possível coletar dados para modelar os sinais da interface de rede de saída do roteador). Seguindo essa filosofia, expandiram-se os conceitos para a arquitetura idealizada.

2.1.4 Interfaces com o usuário e funcionalidades previstas com o funcionamento do software do sistema de monitoramento de rede de dados com as lógicas Paraconsistente e Fuzzy

- a) Telas de visualização da lógica: *Telas com o monitoramento da condição de funcionamento das lógicas Paraconsistente, Fuzzy independente e híbrida Para-Fuzzy e dos respectivos equipamentos analisados.*
- b) Arquivo de configuração da base de dados (BD): Arquivo **.mdb** (access) no qual é possível realizar a configuração de novas variáveis ou suprimir variáveis de monitoramento na BD, e configurações adicionais ao software CLP500.
- c) Configurador da lógica: **Visual C++ 6.0** presente em servidor UC500/CLP500 Para-Fuzzy com software CLP500 5.3.0, o qual traz o código todo criado em C++ e dá acesso a todo o código correspondente às lógicas Paraconsistente, Fuzzy independente e híbrida Para-Fuzzy. Nesse código já existe a padronização para futura inserção de mais equipamentos de rede de dados, com uma estrutura pronta para ser atualizada.
- d) Diagnósticos das comunicações SNMP e IEC104: Recurso com janela (trace) de diagnóstico das comunicações para os protocolos SNMP e IEC104.

2.2 Detalhamento do sistema especialista com lógicas Paraconsistente e Fuzzy do sistema de monitoramento de rede de dados para análise da condição de operação de equipamentos

Foi criado um sistema especialista com as lógicas Paraconsistente e Fuzzy, cuja visão geral é apresentada na figura 23 em sequência enumerada de 1 a 6, conforme cada etapa da sequência apresentada, a seguir:

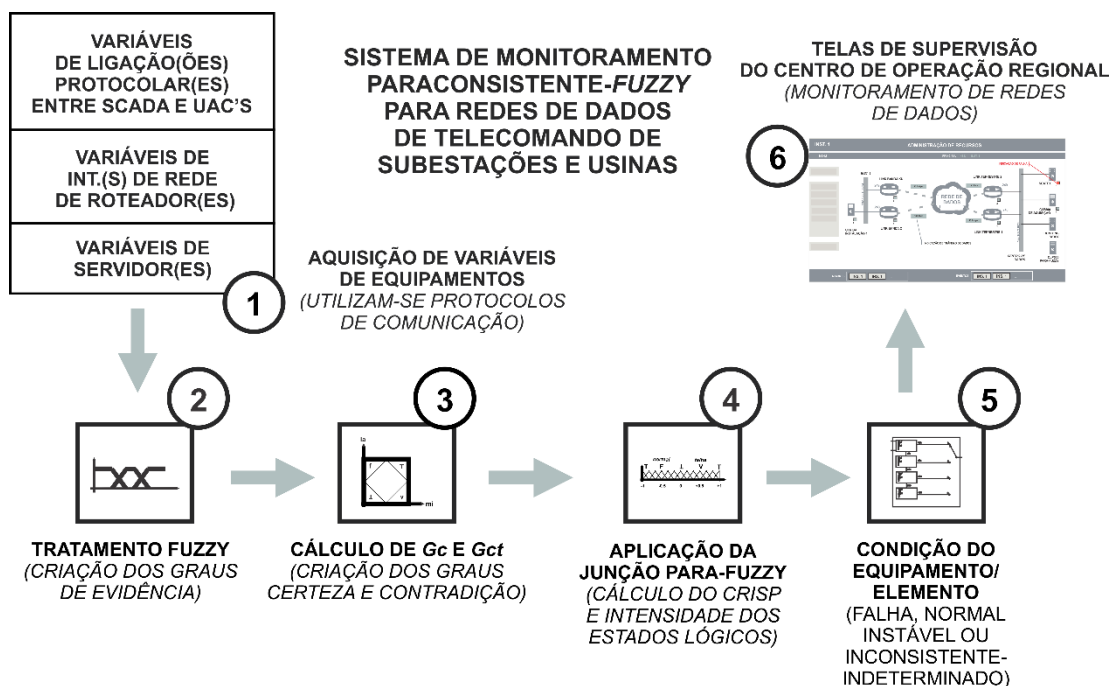


Figura 23 – Visão geral do Sistema de Monitoramento *Para-Fuzzy*

1 - As variáveis são coletadas dos equipamentos por meio de protocolos de comunicação (neste trabalho foram usados os protocolos SNMP e IEC104) por um servidor no Centro de Operação Regional denominado UC500/CLP500 *Para-Fuzzy*. Realizam-se os tratamentos iniciais das variáveis puras recebidas (conversões, ajustes de *range* etc.).

2 - As variáveis puras tratadas são manipuladas pela lógica *Fuzzy*, que gera os graus de evidência favorável e desfavorável como resultado da *defuzzificação*.

3 - São calculados os parâmetros G_c e G_{ct} (graus de certeza e contradição) necessários à LPA2v.

4 - Os parâmetros G_c e G_{ct} são aplicados à lógica híbrida *Para-Fuzzy*, e são calculados o *crisp* e a intensidade dos 12 estados lógicos da lógica híbrida *Para-Fuzzy*.

5 - São geradas as condições de operação dos equipamentos/elementos analisados (essas condições de operação podem ser classificadas individualmente como falha, instável, normal, inconsistente ou indeterminada/para-completa).

6 - As variáveis de todo o processo são enviadas para o servidor com o *software* Scatex por meio de protocolo IEC104, de modo que o especialista de automação e os operadores do sistema possam monitorá-las.

O sistema especialista proposto neste trabalho é composto pelos **subsistemas especialistas 1 a 3** que, por sua vez, são compostos por módulos representados pelos **blocos funções/código a) a n)** organizados em **nós**, nos quais se considera o uso dos fundamentos da lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores e da lógica *Fuzzy*.

Os módulos de blocos de função/código são apresentados, a seguir:

a) Bloco de código de ajuste de variáveis para blocos *Fuzzy* de evidência favorável e desfavorável (codigo_ajuste_var): Este bloco de código recebe as variáveis coletadas por protocolo SNMP e IEC104 (puras) dos equipamentos e as condiciona para serem usadas pelos blocos de função **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel, sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel, sv_tipo_2_fuzzy_favoravel, sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel, interface_rede_fuzzy_favoravel, interface_rede_fuzzy_desfavoravel, ligação_protocolar_uac_fuzzy_favoravel e ligação_protocolar_uac_fuzzy_desfavoravel.**

Os ajustes das variáveis envolvem:

- Equações de conversão;
- Limitação de valor superior e inferior;
- Complemento de sinais;
- Junção de informações para gerar uma informação conjugada (**por exemplo, dados enviados e dados recebidos** transformam-se em **dados**).
- Cálculo de taxa (quantidade de informação por unidade de tempo).

O bloco de código tem características de variáveis de coleta para cada tipo de avaliação, sejam roteadores (interface de rede), sejam UACs (ligação protocolar) ou servidores, conforme a figura 24.

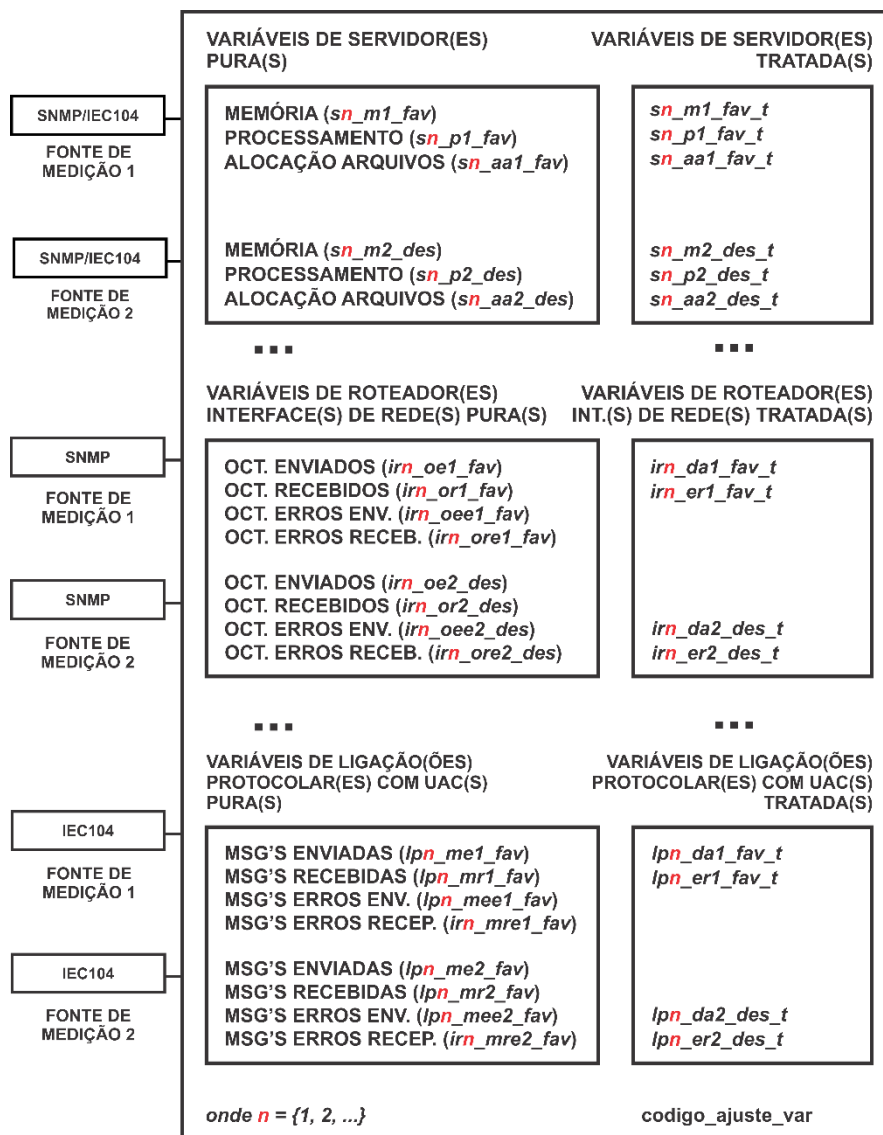


Figura 24 – Bloco de código para conversão de variáveis de coleta para servidor(es), roteador(es) (interface(s) de rede) e UAC(s) (ligação(ões) protocolar(es))

b) Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para servidor de ambiente SCADA considerando processamento e memória (sv_tipo_1_fuzzy_favoravel): O bloco de função **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**, ilustrado na figura 25, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de protocolo tratadas. Essas são variáveis de processamento (em porcentagem, representada por **sn_p1_fav_t**) e memória (em porcentagem, representada por **sn_m1_fav_t**). Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 1.

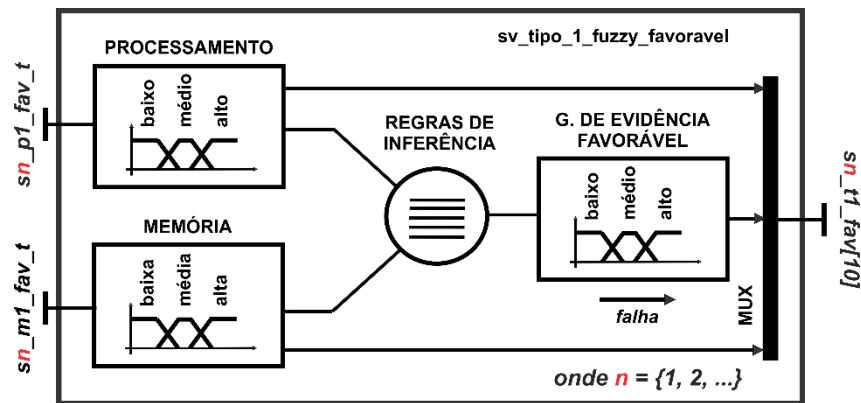


Figura 25 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para servidor de ambiente SCADA considerando $sn_p1_fav_t$ e $sn_m1_fav_t$ ($sv_tipo_1_fuzzy_favoravel$)

A variável $sn_p1_fav_t$ de entrada traduz-se numa variável linguística de processamento subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando a carga de processamento do servidor de ambiente SCADA, sendo “baixo” o funcionamento convencional, “médio” o com carga acima do normal, e “alto” o com carga alta em circunstância de falha. A variável $sn_m1_fav_t$ de entrada traduz-se na variável linguística de memória subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de memória utilizada pelo servidor de ambiente SCADA. É considerada “baixa” a atividade com carga convencional, “média” a com carga acima do normal, e “alta” a com carga em circunstância de falha. As variáveis linguísticas de processamento e memória são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função $sv_tipo_1_fuzzy_favoravel$

Processamento ($sn_p1_fav_t$)	Memória ($sn_m1_fav_t$)	G. Evid. Favorável (sn_t1_fav)
Baixo	Baixa	Baixo
Baixo	Média	Baixo
Baixo	Alta	Alto
Médio	Baixa	Baixo
Médio	Média	Médio
Médio	Alta	Alto
Alto	Baixa	Alto
Alto	Média	Alto
Alto	Alta	Alto

A ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência favorável (representada por sn_t1_fav , valor de 0 a 1). A variável sn_t1_fav , denominada de grau de evidência favorável, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de falha do servidor de ambiente SCADA, sendo

“baixo” o funcionamento com pouca incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com elevada incidência de falha. A variável **sn_t1_fav**, proveniente da *defuzzificação*, foi agregada a um vetor **sn_t1_fav[10]** de dez posições devido à necessidade de uso não só da saída da *defuzzificação*, mas também das pertinências das funções *Fuzzy* de todo o bloco para análises posteriores. Sendo assim, a composição do vetor **sn_t1_fav[10]** de saída com o auxílio da função **MUX** foi: [sn_t1_fav, pertinência baixa de sn_p1_fav_t, pertinência média de sn_p1_fav_t, pertinência alta de sn_p1_fav_t, pertinência baixa de sn_m1_fav_t, pertinência média de sn_m1_fav_t, pertinência alta de sn_m1_fav_t, pertinência baixa de sn_t1_fav, pertinência média de sn_t1_fav, pertinência alta de sn_t1_fav].

c) Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência desfavorável para servidor de ambiente SCADA considerando processamento e memória (sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel): O bloco de função **sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel**, ilustrado na figura 26, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas, variáveis de processamento (em porcentagem, representada por **sn_p2_des_t**) e memória (em porcentagem, representada por **sn_m2_des_t**). Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 2, diferentemente da fonte de medição do bloco de função **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**.

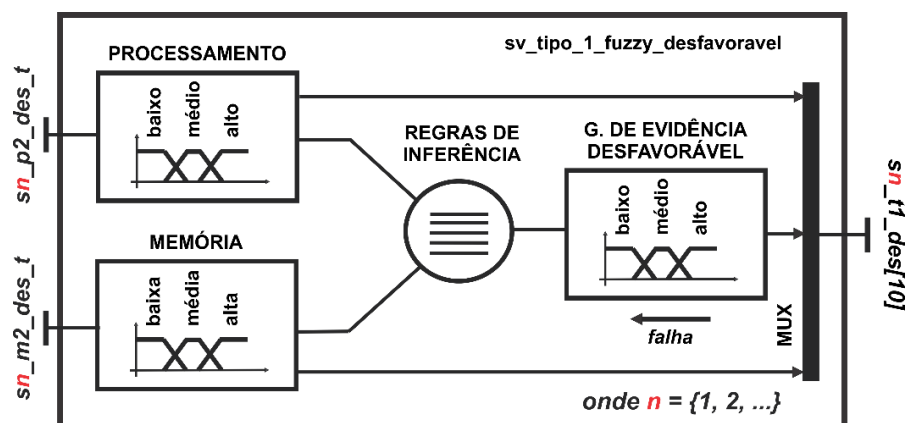


Figura 26 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência desfavorável para servidor de ambiente SCADA considerando **sn_p2_des_t** e **sn_m2_des_t** (sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel)

A variável **sn_p2_des_t** de entrada traduz-se numa variável linguística de processamento subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando a carga de processamento de servidor de ambiente SCADA, sendo “baixo” o funcionamento

convencional, “médio” o com carga acima do normal, e “alto” o com carga alta em circunstância de falha. A variável **sn_m2_des_t** de entrada traduz-se na variável linguística memória subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de memória utilizada pelo servidor de ambiente SCADA, sendo “baixa” a atividade com carga convencional, “média” a com carga acima do normal e “alta” a com carga em circunstância de falha.

As variáveis linguísticas de processamento e memória são tratadas por regras de inferência, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função sv_tipo_1_fuzzy_desfavoravel

Processamento (sn_p2_des_t)	Memória (sn_m2_des_t)	G. Evid. Desfavorável (sn_t1_des)
Baixo	Baixa	Alto
Baixo	Média	Alto
Baixo	Alta	Baixo
Médio	Baixa	Alto
Médio	Média	Médio
Médio	Alta	Baixo
Alto	Baixa	Baixo
Alto	Média	Baixo
Alto	Alta	Baixo

A ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência desfavorável (representada por **sn_t1_des**, valor de 0 a 1). A variável **sn_t1_des**, denominada grau de evidência desfavorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de não falha de servidor de ambiente SCADA – sendo “baixo” o funcionamento com elevada incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com pouca incidência de falha. Analogamente ao bloco **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**, na saída tem-se um vetor **sn_t1_des[10]** de dez posições, resultado da multiplexação pela função **MUX**, composto por: [sn_t1_des, pertinência baixa de sn_p2_des_t, pertinência média de sn_p2_des_t, pertinência alta de sn_p2_des_t, pertinência baixa de sn_m2_des_t, pertinência média de sn_m2_des_t, pertinência alta de sn_m2_des_t, pertinência baixa de sn_t1_des, pertinência média de sn_t1_des, pertinência alta de sn_t1_des].

d) Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para servidor de ambiente SCADA considerando processamento e alocação de arquivos (disco rígido) (sv_tipo_2_fuzzy_favoravel): o bloco de função

sv_tipo_2_fuzzy_favoravel, ilustrado na figura 27, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas, variáveis de processamento (em porcentagem, representada por **sn_p1_fav_t**) e alocação de arquivos (disco rígido) (em porcentagem, representada por **sn_aa1_fav_t**). Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 1.

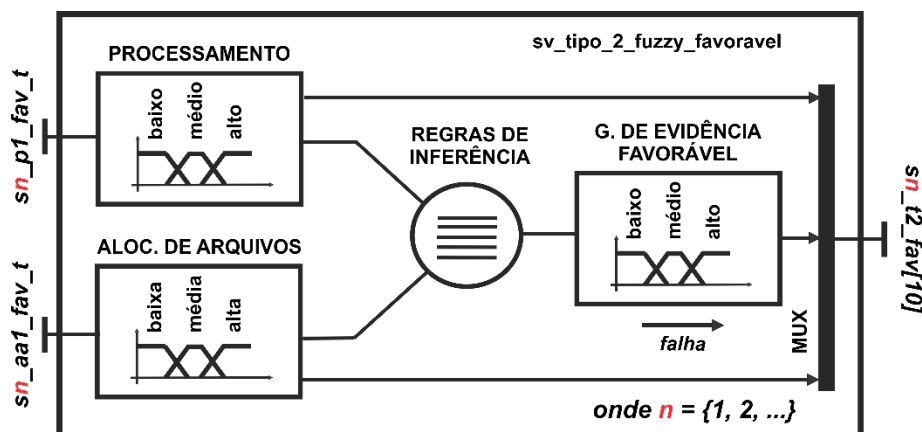


Figura 27 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para servidor de ambiente SCADA considerando **sn_p1_fav_t** e **sn_aa1_fav_t** (sv_tipo_2_fuzzy_favoravel).

A variável representativa **sn_p1_fav_t** de entrada traduz-se numa variável linguística de processamento, subdividida como **baixo**, **médio** e **alto**, representando a carga de processamento de servidor de ambiente SCADA – sendo “baixo” o funcionamento convencional, “médio” o com carga acima do normal, e “alto” o com carga alta em circunstância de falha. A variável representativa **sn_aa1_fav_t** de entrada traduz-se na variável linguística de alocação de arquivos (disco rígido), subdividida como **baixa**, **média** e **alta**, representando a carga de alocação de arquivos (disco rígido) utilizada pelo servidor de ambiente SCADA – sendo “baixa” a atividade com carga convencional, “média” a com carga acima do normal e “alta” a com carga em circunstância de falha.

As variáveis linguísticas de processamento e alocação de arquivos (disco rígido) são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função *sv_tipo_2_fuzzy_favoravel*

Processamento (<i>sn_p1_fav_t</i>)	Al. de Arquivos (<i>sn_aa1_fav_t</i>)	G. Evid. Favorável (<i>sn_t2_fav</i>)
Baixo	Baixa	Baixo
Baixo	Média	Baixo
Baixo	Alta	Alto
Médio	Baixa	Baixo
Médio	Média	Médio
Médio	Alta	Alto
Alto	Baixa	Alto
Alto	Média	Alto
Alto	Alta	Alto

A ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência favorável (representada por *sn_t2_fav*, valor de 0 a 1). A variável representativa *sn_t2_fav*, denominada grau de evidência favorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de falha do servidor de ambiente SCADA, sendo “baixo” o funcionamento com pouca incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com elevada incidência de falha. Analogamente ao bloco *sv_tipo_1_fuzzy_favoravel*, na saída tem-se um vetor *sn_t2_fav [10]* de dez posições, resultado da multiplexação pela função **MUX**, composto por [*sn_t2_fav*, *pertinência baixa de sn_p1_fav_t*, *pertinência média de sn_p1_fav_t*, *pertinência alta de sn_p1_fav_t*, *pertinência baixa de sn_aa1_fav_t*, *pertinência média de sn_aa1_fav_t*, *pertinência alta de sn_aa1_fav_t*, *pertinência baixa de sn_t2_fav*, *pertinência média de sn_t2_fav*, *pertinência alta de sn_t2_fav*].

e) **Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência desfavorável para servidor de ambiente SCADA considerando processamento e alocação de arquivos (disco rígido) (*sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel*):** O bloco de função *sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel*, ilustrado na figura 28, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas, variáveis de processamento (em porcentagem, representada por *sn_p2_des_t*) e de alocação de arquivos (disco rígido) (em porcentagem, representada por *sn_aa2_des_t*). Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 2, diferentemente da fonte de medição do bloco de função *sv_tipo_2_fuzzy_favoravel*.

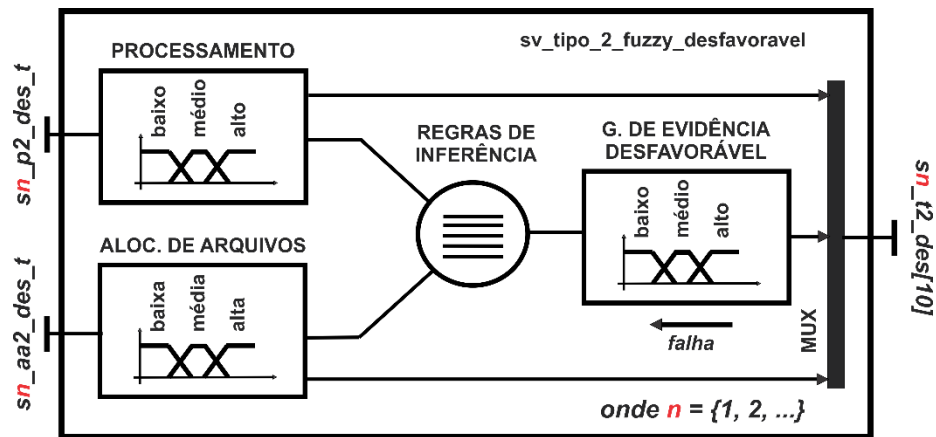


Figura 28 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência desfavorável para servidor de ambiente SCADA (sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel)

A variável representativa **sn_p2_des_t** de entrada traduz-se numa variável linguística de processamento subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando a carga de processamento de servidor de ambiente SCADA, sendo “baixo” o funcionamento convencional, “médio” o com carga acima do normal, e “alto” o com carga alta em circunstância de falha. A variável representativa **sn_aa2_des_t** de entrada traduz-se na variável linguística de alocação de arquivos (disco rígido) subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de alocação de arquivos utilizada por servidor de ambiente SCADA, sendo “baixa” a atividade com carga convencional, “média” a com carga acima do normal, e “alta” a com carga em circunstância de falha.

As variáveis linguísticas de processamento e alocação de arquivos (disco rígido) são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função sv_tipo_2_fuzzy_desfavoravel

Processamento (sn_p2_des_t)	Al. de Arquivos (sn_aa2_des_t)	G. Evid. Desfavorável (sn_t2_des)
Baixo	Baixa	Alto
Baixo	Média	Alto
Baixo	Alta	Baixo
Médio	Baixa	Alto
Médio	Média	Médio
Médio	Alta	Baixo
Alto	Baixa	Baixo
Alto	Média	Baixo
Alto	Alta	Baixo

A ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência desfavorável (representada por **sn_t2_des**, valor de 0 a 1). A variável de saída

sn_t2_des, denominada grau de evidência desfavorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de não falha de servidor de ambiente SCADA, sendo “baixo” o funcionamento com elevada incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com pouca incidência de falha. Analogamente ao bloco **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**, na saída tem-se um vetor **sn_t2_des[10]** de dez posições, resultado da multiplexação pela função **MUX**, composto por [**sn_t2_des**, *pertinência baixa de sn_p2_des_t*, *pertinência média de sn_p2_des_t*, *pertinência alta de sn_p2_des_t*, *pertinência baixa de sn_aa2_des_t*, *pertinência média de sn_aa2_des_t*, *pertinência alta de sn_aa2_des_t*, *pertinência baixa de sn_t2_des*, *pertinência média de sn_t2_des*, *pertinência alta de sn_t2_des*].

f) **Bloco Fuzzy de Evidência Favorável baseado em taxa de dados e incremento de erros (octetos) para interface de comunicação de roteador (interface_rede_fuzzy_favoravel)**: O bloco de função **interface_rede_fuzzy_favoravel**, ilustrado na figura 29, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas, variáveis de taxa (em Kbps, representada por **irn_da1_fav_t**) e de erros (em quantidade de octetos com erro, representada por **irn_er1_fav_t**) de interface de rede de roteador. Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 1.

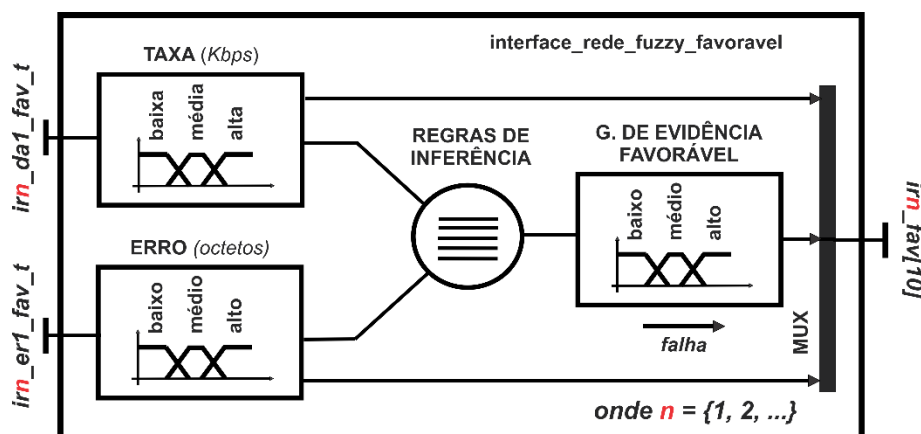


Figura 29 – Bloco de função Fuzzy para gerar grau de evidência favorável para interface de comunicação de roteador considerando ambiente de telecomando SCADA (interface_rede_fuzzy_favoravel)

A variável representativa **irn_da1_fav_t** de entrada traduz-se numa variável linguística de taxa subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de taxa de dados de uma interface de rede de roteador em um ambiente de telecomando

SCADA, sendo “baixa” a carga em circunstância de falha, “média” a carga normal, e “alta” a carga acima do normal.

A variável representativa *irn_er1_fav_t* de entrada traduz-se na variável linguística de erro subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando a quantidade de erros presentes em uma interface de rede de roteador, sendo “baixo” o funcionamento dentro dos padrões aceitáveis pré-definidos pelo especialista, “médio” aquele em condição um pouco acima dos padrões aceitáveis, e “alto” o com padrão não aceitável que leva a circunstância de falha.

As variáveis linguísticas para taxa de dados e quantidade de erros são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função *interface_rede_fuzzy_favoravel*

Taxa (<i>sn_da1_fav_t</i>)	Erro (<i>sn_er1_fav_t</i>)	G. Evid. Favorável (<i>irn_fav</i>)
Baixa	Baixo	Alto
Baixa	Médio	Alto
Baixa	Alto	Alto
Média	Baixo	Baixo
Média	Médio	Médio
Média	Alto	Alto
Alta	Baixo	Baixo
Alta	Médio	Baixo
Alta	Alto	Alto

As ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência favorável (representada por *irn_fav*, valor de 0 a 1). A variável *irn_fav*, denominada grau de evidência favorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de falha de interface de rede de roteador para ambiente de telecomando SCADA, sendo “baixo” o funcionamento com pouca incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com elevada incidência de falha. Analogamente ao bloco **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**, na saída tem-se um *irn_fav[10]* de dez posições, resultado da multiplexação da função **MUX**, composto por [*irn_fav*, *pertinência baixa de irn_da1_fav_t*, *pertinência média de irn_da1_fav_t*, *pertinência alta de irn_da1_fav_t*, *pertinência baixa de irn_er1_fav_t*, *pertinência média de irn_er1_fav_t*, *pertinência alta de irn_er1_fav_t*, *pertinência baixa de irn_fav*, *pertinência média de irn_fav*, *pertinência alta de irn_fav*].

g) Bloco *Fuzzy* de evidência desfavorável baseado em taxa de dados e incremento de erros (octetos) para interface de comunicação de roteador

(*interface_rede_fuzzy_desfavoravel*): O bloco de função *interface_rede_fuzzy_desfavoravel*, ilustrado na figura 30, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas, variáveis de taxa (em Kbps, representada por *irn_da2_des_t*) e de erro (em quantidade de octetos com erro, representada por *irn_er2_des_t*) de interface de rede de roteador. Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 2.

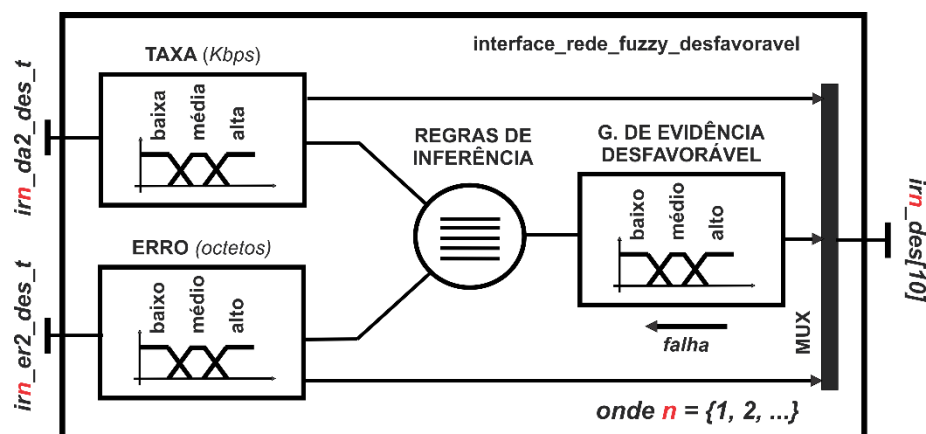


Figura 30 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência desfavorável para interface de comunicação de roteador considerando ambiente de telecomando SCADA (*interface_rede_fuzzy_desfavoravel*)

A variável representativa *irn_da2_des_t* de entrada traduz-se numa variável linguística de taxa subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de taxa de dados de uma interface de rede de roteador em ambiente de telecomando SCADA, sendo “baixa” a carga em circunstância de falha, “média” a carga normal, e “alta” a carga acima do normal.

A variável representativa *irn_er2_des_t* de entrada traduz-se na variável linguística de erro subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando a quantidade de erros presentes em uma interface de rede de roteador, sendo “baixo” o funcionamento dentro dos padrões aceitáveis pré-definidos pelo especialista, “médio” aquele em condição um pouco acima dos padrões aceitáveis, e “alto” o com padrão não aceitável que gera circunstância de falha.

As variáveis linguísticas para taxa de dados e quantidade de erros são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 6.

Tabela 6 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função *interface_rede_fuzzy_desfavoravel*

Taxa (<i>irn_da2_des_t</i>)	Erro (<i>irn_er2_des_t</i>)	G. Evid. Desfavorável (<i>irn_des</i>)
Baixa	Baixo	Baixo
Baixa	Médio	Baixo
Baixa	Alto	Baixo
Média	Baixo	Alto
Média	Médio	Médio
Média	Alto	Baixo
Alta	Baixo	Alto
Alta	Médio	Alto
Alta	Alto	Baixo

As ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência desfavorável (representada por *irn_des*, valor de 0 a 1). A variável representativa *irn_des*, denominada grau de evidência desfavorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de não falha da interface de rede de roteador de ambiente SCADA, sendo “baixo” o funcionamento com elevada incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com pouca incidência de falha. Analogamente ao bloco **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**, na saída tem-se um vetor *irn_des[10]* de dez posições, resultado da multiplexação pela função **MUX**, composto por [*irn_des*, *pertinência baixa de irn_da2_des_t*, *pertinência média de irn_da2_des_t*, *pertinência alta de irn_da2_des_t*, *pertinência baixa de irn_er2_des_t*, *pertinência média de irn_er2_des_t*, *pertinência alta de irn_er2_des_t*, *pertinência baixa de irn_des*, *pertinência média de irn_des*, *pertinência alta de irn_des*].

h) Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para comunicação entre UAC e SCADA de Centro de Operações considerando taxa de mensagens recebidas/enviadas e incrementos de erro de mensagens (ligacao_protocolar_uac_fuzzy_favoravel): O bloco de função **ligacao_protocolar_uac_fuzzy_favoravel**, ilustrado na figura 31, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas variáveis as taxas de mensagens (em quantidade de mensagens, representada por *lpn_da1_fav_t*) e de erros (em quantidade de mensagens com erro, representada por *lpn_er1_fav_t*). Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 1.

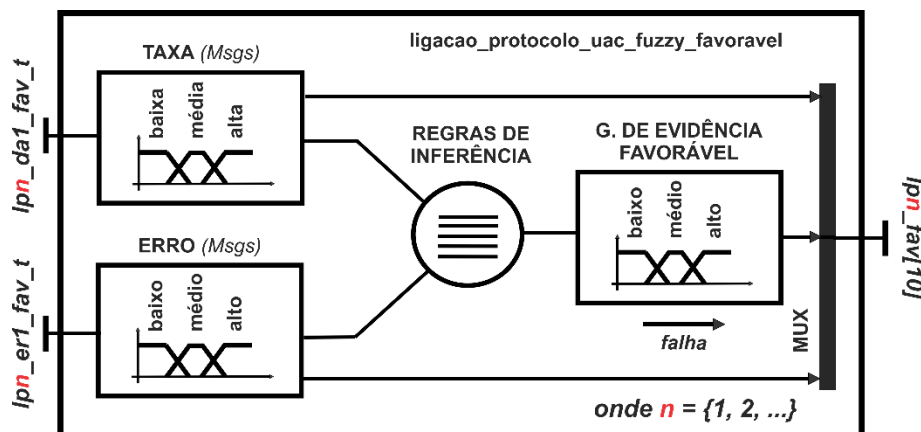


Figura 31 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para ligação protocolar de UAC considerando ambiente de telecomando SCADA (ligacao_protocolar_uac_fuzzy_favoravel)

A variável representativa **lpn_da1_fav_t** de entrada traduz-se numa variável linguística de taxa de mensagens subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de mensagens trocadas em uma comunicação entre SCADA e UAC, em protocolo específico para telecomando, sendo “baixa” em circunstância de falha, “média” com carga normal, e “alta” com carga acima do normal.

A variável representativa **lpn_er1_fav_t** de entrada traduz-se na variável linguística de erro de mensagens subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando a quantidade de erros em mensagens trocadas em uma comunicação entre SCADA e UAC em protocolo específico para telecomando, sendo “baixo” o funcionamento dentro dos padrões aceitáveis pré-definidos pelo especialista, “médio” o com condição um pouco acima do padrões aceitáveis, e “alto” o com padrão não aceitável que gera circunstância de falha.

As variáveis linguísticas para taxa de mensagens e quantidade de erros em mensagens são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função ligacao_protocolar_uac_fuzzy_favoravel

Taxa (lpn_da1_fav_t)	Erro (lpn_er1_fav_t)	G. Evid. Favorável (lpn_fav)
Baixa	Baixo	Alto
Baixa	Médio	Alto
Baixa	Alto	Alto
Média	Baixo	Baixo
Média	Médio	Médio
Média	Alto	Alto
Alta	Baixo	Baixo
Alta	Médio	Médio
Alta	Alto	Alto

A ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência favorável (representada por *lpn_fav*, valor de 0 a 1). A variável representativa *lpn_fav*, denominada grau de evidência favorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de falha da UAC (considerando somente o protocolo de *comunicação*) para ambiente de telecomando SCADA, sendo “baixo” o funcionamento com pouca incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com elevada incidência de falha. Analogamente ao bloco *sv_tipo_1_fuzzy_favoravel*, na saída tem-se um vetor *lpn_fav[10]* de dez posições, resultado da multiplexação da função **MUX**, composto por [*lpn_fav*, *pertinência baixa de lpn_da1_fav_t*, *pertinência média de lpn_da1_fav_t*, *pertinência alta de lpn_da1_fav_t*, *pertinência baixa de lpn_er1_fav_t*, *pertinência média de lpn_er1_fav_t*, *pertinência alta de lpn_er1_fav_t*, *pertinência baixa de lpn_fav*, *pertinência média de lpn_fav*, *pertinência alta de lpn_fav*].

i) **Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência favorável para comunicação entre UAC e SCADA de Centro de Operações considerando taxa de mensagens recebidas/enviadas e incrementos de erro de mensagens (ligacao_protocolar_uac_fuzzy_desfavoravel):** O bloco de função *ligacao_protocolar_uac_fuzzy_desfavoravel*, ilustrado na figura 32, inicialmente realiza a *fuzzificação* das variáveis de entrada. São estas variáveis a taxa de mensagens (em quantidade de mensagens, representada por *lpn_da2_des_t*) e de erros (em quantidade de mensagens com erro, representada por *lpn_er2_des_t*). Essas variáveis são provenientes de uma fonte de medição 2.

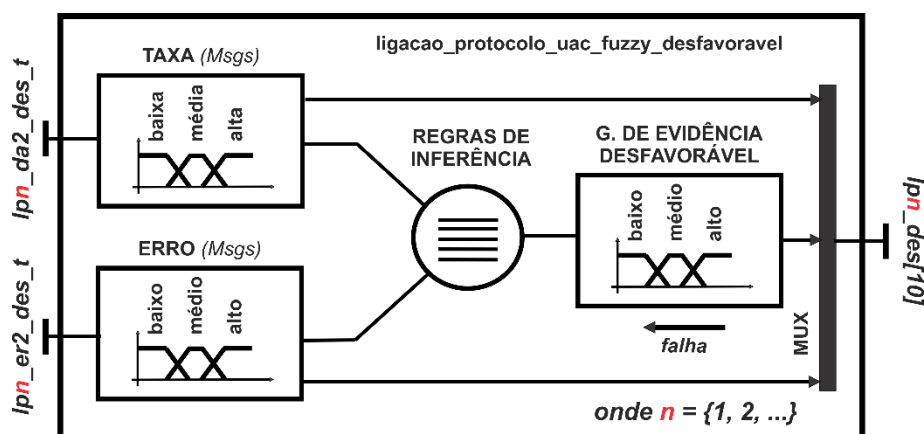


Figura 32 – Bloco de função *Fuzzy* para gerar grau de evidência desfavorável para ligação protocolar de UAC considerando ambiente de telecomando SCADA (*ligacao_protocolar_uac_fuzzy_desfavoravel*)

A variável representativa **lpn_da2_des_t** de entrada traduz-se numa variável linguística de taxa de mensagens subdividida como **baixa**, **média** e **alta** representando a carga de mensagens trocadas em uma comunicação entre SCADA e UAC, em protocolo específico para telecomando, sendo “baixa” em circunstância de falha, “média” com carga normal, e “alta” com carga acima do normal.

A variável representativa **lpn_er2_des_t** de entrada traduz-se na variável linguística de erro de mensagens subdividida como **baixo**, **médio** e **alto**, representando a quantidade de erros em mensagens trocadas em uma comunicação entre SCADA e UAC em protocolo específico para telecomando, sendo “baixo” o funcionamento dentro dos padrões aceitáveis pré-definidos pelo especialista, “médio” aquele em condição um pouco acima do padrões aceitáveis, e “alto” o com padrão não aceitável que gera circunstância de falha.

As variáveis linguísticas para taxa de mensagens e quantidade de erros em mensagens são tratadas por regras de inferência conforme a tabela 8.

Tabela 8 – Regras de inferência *Fuzzy* para bloco de função canal_protocolo_uac_fuzzy_desfavoravel

Taxa (lpn_da2_des_t)	Erro (lpn_er2_des_t)	G. Evid. Desfavorável (lpn_des)
Baixa	Baixo	Baixo
Baixa	Médio	Baixo
Baixa	Alto	Baixo
Média	Baixo	Alto
Média	Médio	Médio
Média	Alto	Baixo
Alta	Baixo	Alto
Alta	Médio	Médio
Alta	Alto	Baixo

As ações das regras de inferência *Fuzzy* acionarão a variável grau de evidência desfavorável (representada por **lpn_des**, valor de 0 a 1). A variável representativa **lpn_des**, denominada grau de evidência desfavorável, resultado da *defuzzificação*, foi subdividida como **baixo**, **médio** e **alto** representando o grau de evidência de não falha da UAC (considerando somente o protocolo de *comunicação*) para ambiente de telecomando SCADA, sendo “baixo” o funcionamento com elevada incidência de falha, “médio” o com moderada incidência de falha, e “alto” o com pouca incidência de falha. Analogamente ao bloco **sv_tipo_1_fuzzy_favoravel**, na saída tem-se um vetor **lpn_des[10]** de dez posições, resultado da multiplexação pela função **MUX**, composto por [**lpn_des**, *pertinência baixa de lpn_da2_des_t*, *pertinência média*

de $lpn_da2_des_t$, pertinência alta de $lpn_da2_des_t$, pertinência baixa de $lpn_er2_des_t$, pertinência média de $lpn_er2_des_t$, pertinência alta de $lpn_er2_des_t$, pertinência baixa de lpn_des , pertinência média de lpn_des , pertinência alta de lpn_des].

j) Bloco de função Paraconsistente: O bloco de função **Paraconsistente**, ilustrado na figura 33, recebe os valores de mi e la representados pelas variáveis representativas (X_fav e X_des) ou (Y_fav e Y_des) ou (Z_fav e Z_des), e aplica esses valores às equações do grau de certeza (gc) e grau de contradição (gct) da lógica Paraconsistente Anotada de dois valores (LPA2v). Essas equações são:

- Para o grau de certeza: $gc = mi - la$
- Para o grau de contradição: $gct = (mi + la) - 1$

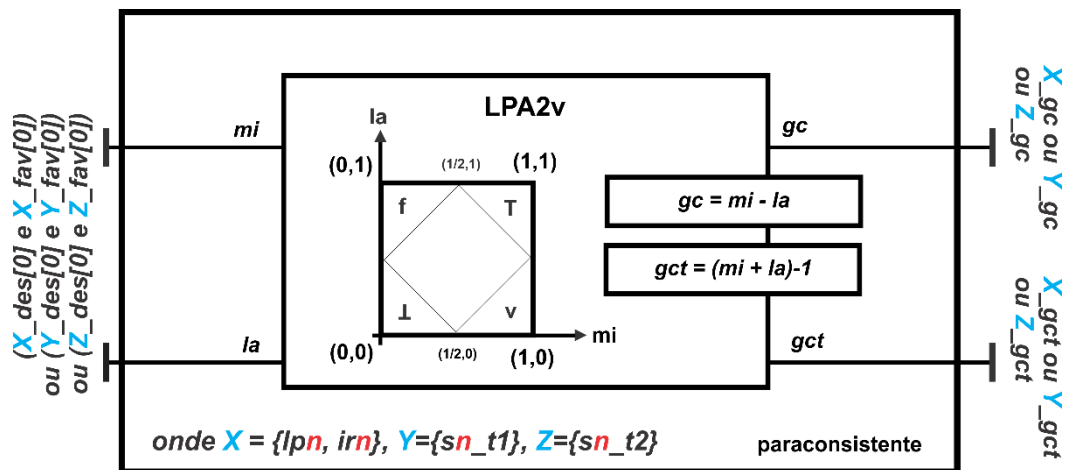


Figura 33 – Bloco de função Paraconsistente para transformar $fav[0]$ e $des[0]$ em gc e gct (Paraconsistente)

Os graus de certeza e contradição, **Gc** e **Gct**, são externados na saída do bloco função Paraconsistente pelas variáveis representativas (X_gc e X_gct) ou (Y_gc e Y_gct) ou (Z_gc e Z_gct).

k) Bloco de função Para-Fuzzy

Antes de apresentar o bloco de função *Para-Fuzzy*, serão apresentados alguns detalhes necessários à aplicação da lógica híbrida *Para-Fuzzy* em código.

A aplicação da lógica híbrida *Para-Fuzzy* na prática, conforme apresentado no item 1.7.5, através da implementação em código, acarretou a geração de um *crisp* não condizente com o idealizado, com o valor de 0,5 para V (verdade), -0,5 para F

(falsidade), 0 para T (inconsistência) e -1 ou +1 para aproximação da $\perp$ (indeterminação), conforme pode ser visto na figura 34. Especificamente pela disposição das funções, conforme a figura 34, à medida que se aproxima de $\perp$ tem-se o acionamento por regras de inferência de funções *Fuzzy* de saída opostas, o que gera o *crisp* não condizente com o proposto no item 1.7.5.

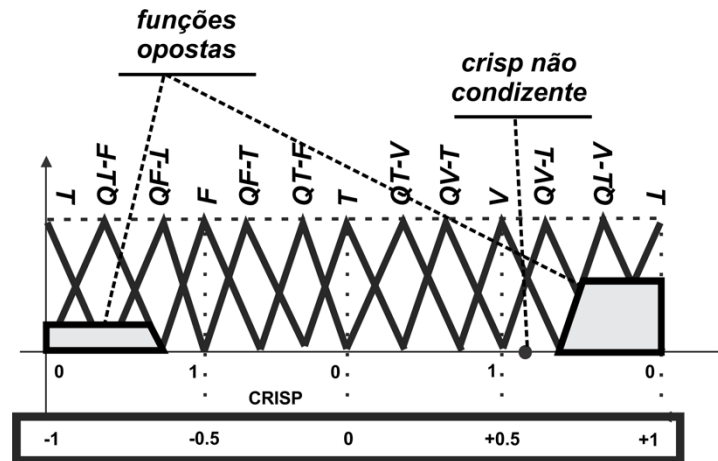


Figura 34 – Ilustração do *crisp* não condizente pela aproximação de $\perp$ com acionamento de funções opostas (*Fuzzy*)

Observou-se que o efeito do valor do *crisp* diferente do idealizado, proporcional às áreas projetadas das funções de pertinência *Fuzzy* acionadas, ocorria no reticulado na região destacada, conforme a figura 35 com condição de $G_{ct} < 0$ e $-0.5 > G_c < 0.5$. Logo, foi necessário idealizar tratamento diferenciado para essa condição de G_c e G_{ct} para ser possível a **geração do *crisp*** de -1 a +1, conforme o item 1.7.5.

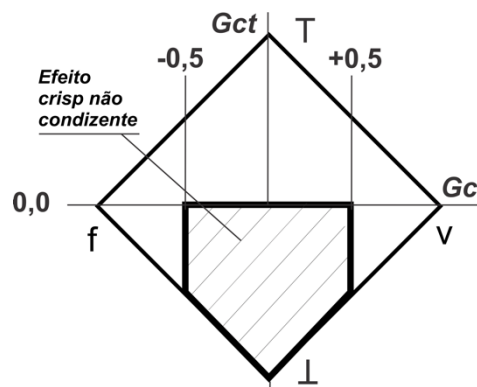


Figura 35 – Ilustração da região do reticulado na qual se tem o *crisp* não condizente pela aproximação de $\perp$ com acionamento de funções opostas (*Fuzzy*)

Como solução para essa problemática, foram utilizadas duas saídas na análise *Fuzzy* com disposições contrárias que estão sob as mesmas regras de inferência fundamentadas na LPA2v. A primeira saída tem a função T (inconsistência) na parte central, e a segunda saída tem a função $\perp$ (indeterminação) na parte central. Utilizou-se código adicional para o tratamento dessas duas saídas e geração do *crisp* de -1 a +1, considerando duas condições de operação:

- Na região com $\overline{G_{ct}} < 0$ e $-0.5 > G_c < 0.5$: tratamento dos dados com o uso da primeira saída para *crisp*.
- Na região com $G_{ct} < 0$ e $-0.5 > G_c < 0.5$: tratamento dos dados com o uso da segunda saída para *crisp*.

Com a solução apresentada, foi possível criar o bloco de função **Para-Fuzzy**. Detalhando o bloco de função **Para-Fuzzy**, ilustrado na figura 36, este inicialmente recebe os valores de grau de certeza (G_c) e grau de contradição (G_{ct}) pelas variáveis representativas (X_{gc} e X_{gct}) ou (Y_{gc} e Y_{gct}) ou (Z_{gc} e Z_{gct}). Tais graus são *fuzzificados*; a *fuzzificação* de G_c contempla $\perp$ (indeterminação), $Q\perp$ (quase-indeterminação), $Ri\perp$ (região comum de indeterminação), RiT (região comum de inconsistência), QT (quase-inconsistência) e T (inconsistência). Já a *fuzzificação* de G_{ct} contempla F (falsidade), QF (quase-falsidade), RCF (região comum de falsidade), RCV (região comum de verdade), QV (quase-verdade) e V (verdade).

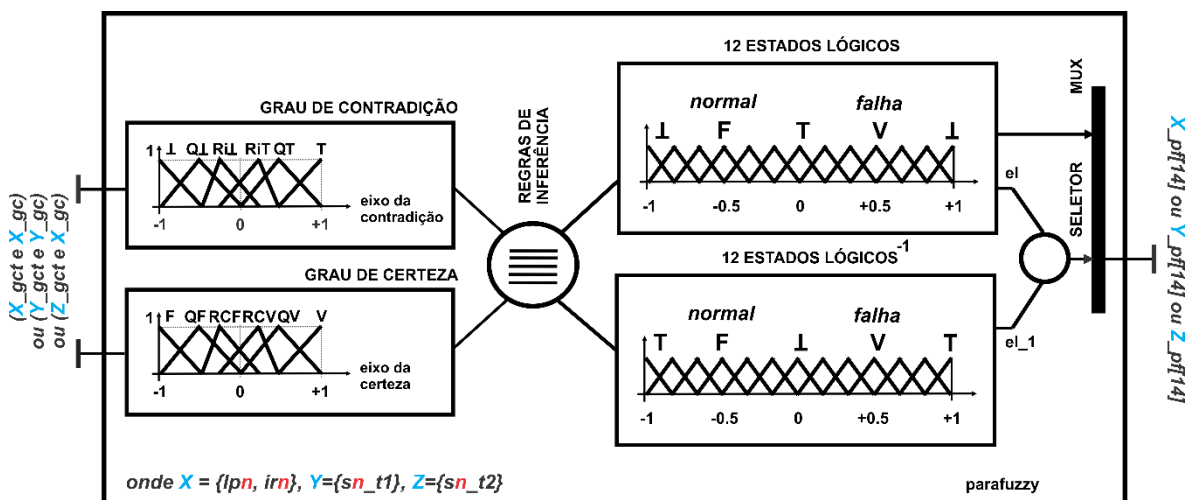


Figura 36 – Bloco de função Paraconsistente-Fuzzy para transformar *gc* e *gct* em *pf[14]* -> *crisp* e pertinências de 12 estados lógicos (Para-Fuzzy)

Em seguida, as variáveis linguísticas **gc** e **gct** são tratadas por regras de inferência, conforme a figura 19. As regras de inferência *Fuzzy* acionam as variáveis

el e **el_1**. O bloco seletor faz a seleção de **el** e **el_1**, conforme a região destacada na figura 37 do reticulado. Se as coordenadas no reticulado estiverem na área **el**, é chaveada a variável **el** para saída do seletor e, se estiverem na área **el_1**, é chaveada a variável **el_1** para a saída do seletor.

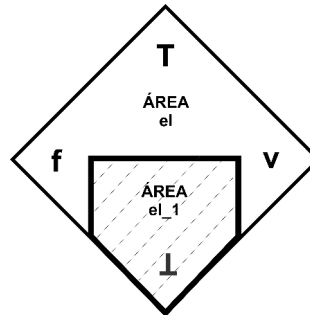


Figura 37 – Reticulado com subdivisão de área para variáveis **el** e **el_1** do algoritmo *Para-Fuzzy*, cuja seleção é função do elemento seletor

Por fim, as variáveis **el**, **el_1**, **Q⊥-F**, **QF-⊥**, **F**, **QF-T**, **QT-F**, **T**, **QT-V**, **QV-T**, **V**, **QV-⊥**, **Q⊥-V** e **⊥** são externadas na saída do bloco pelas variáveis representativas (**X_pf[14]**) ou (**Y_pf[14]**) ou (**Z_pf[14]**), que são vetores, resultantes da função **MUX**. Esses vetores de 14 posições estão organizados da seguinte forma: **crisp** (-1 a +1), **pertinências** **⊥** (0 a 1), **Q⊥-F** (0 a 1), **QF-⊥** (0 a 1), **F** (0 a 1), **QF-T** (0 a 1), **QT-F** (0 a 1), **T** (0 a 1), **QT-V** (0 a 1), **QV-T** (0 a 1), **V** (0 a 1), **QV-⊥** (0 a 1), **Q⊥-V** (0 a 1) e **⊥** (0 a 1).

I) Bloco condição de falha (parafuzzy_cond_op_1): O bloco função **parafuzzy_cond_op_1** (figura 38) recebe da lógica híbrida *Para-Fuzzy* um vetor com o **crisp** e as pertinências relacionadas aos 12 estados lógicos através de **X_pf[14]**. Inicialmente se verificam as condições para indeterminação: se “**sim**”, a saída recebe 0 e, se “**não**”, a condição subsequente é testada. Na sequência, é verificada a condicional para inconsistência: se “**sim**”, a saída recebe 0 e, se “**não**”, a condicional subsequente é testada. A condicional para falsidade é testada: se “**sim**”, a saída recebe 2 e, se “**não**”, a condicional subsequente é testada. A condicional para verdade é testada: se “**sim**”, a saída recebe 1 e, se “**não**”, a saída recebe 3.

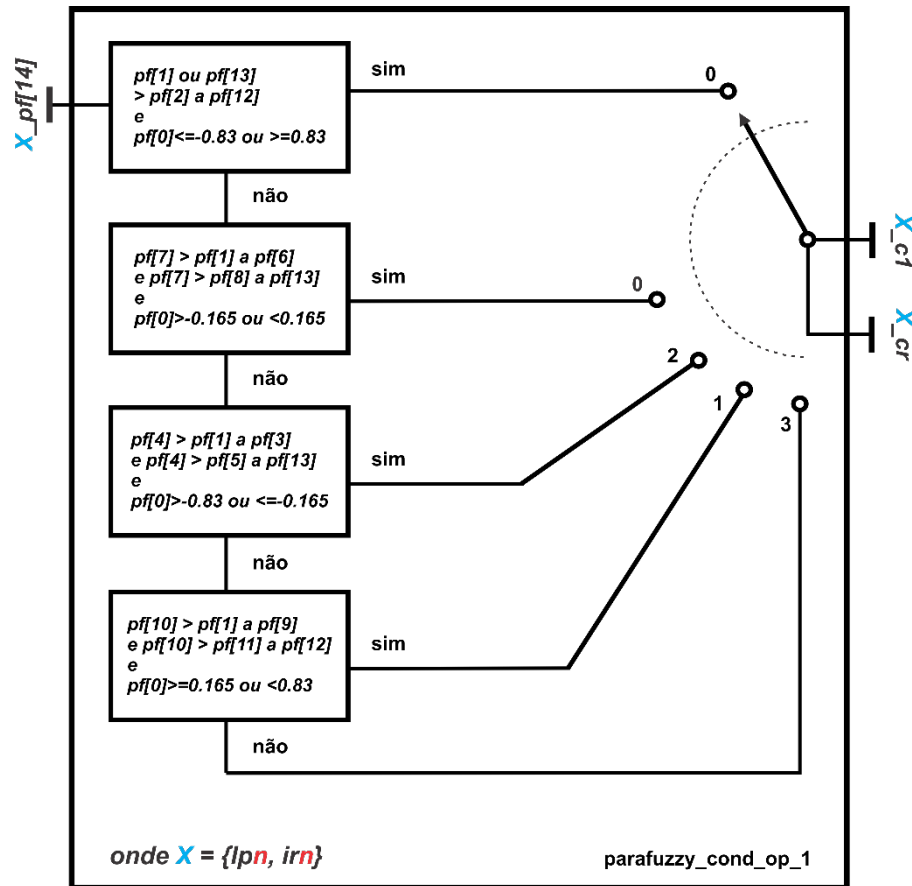


Figura 38 – Bloco de função para transformar vetor com *crisp* e 12 estados lógicos em condição de operação para roteador (interface de rede) ou UAC (ligação de protocolo) (parafuzzy_cond_op_1)

Os valores 0, 1, 2 e 3, que representam respectivamente inconsistência/indeterminação, falha, normalidade e instabilidade, são refletidos nas variáveis representativas X_{c1} e X_{cr} de condição de operação do equipamento/elemento analisado.

m) Bloco condição de falha (parafuzzy_cond_op_2): O bloco função **parafuzzy_cond_op_2** (figura 39) recebe da lógica híbrida *Para-Fuzzy* uma variável com o *crisp* e as pertinências relacionadas aos 12 estados lógicos através de $Y_{pf[14]}$ ou $Z_{pf[14]}$. Inicialmente, se verificam as condições para indeterminação: se “**sim**”, a saída recebe 0 e, se “**não**”, a condição subsequente é testada. Na sequência, é verificada a condicional para inconsistência: se “**sim**”, a saída recebe 0 e, se “**não**”, a condicional subsequente é testada. A condicional para falsidade é testada: se “**sim**”, a saída recebe 2 e, se “**não**”, a condicional subsequente é testada. A condicional para verdade é testada: se “**sim**”, a saída recebe 1 e, se “**não**”, a saída recebe 3.

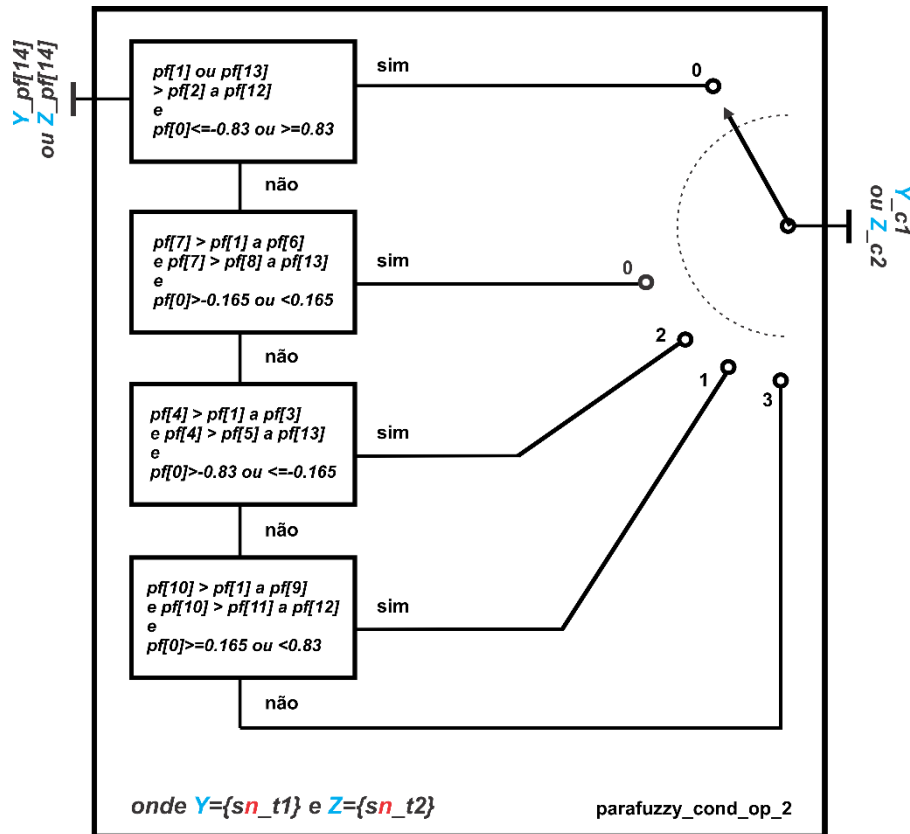


Figura 39 – Bloco de função para transformar vetor com *crisp* e 12 estados lógicos em condição de operação para servidor (*parafuzzy_cond_op_2*)

Os valores 0, 1, 2 e 3, que representam respectivamente inconsistência/indeterminação, falha, normalidade e instabilidade, são refletidos na variável representativa Y_{c1} ou Z_{c2} de condição de operação do equipamento/elemento analisado.

n) Bloco seleção de condição de falha (*duas_cond_op_para_cond_op_resul*): O bloco função *duas_cond_op_para_cond_op_resul* (figura 40) recebe dois estados de condição de operação de um equipamento/elemento baseados nas variáveis representativas Y_{c1} e Y_{c2} , e transcreve esses dois estados em um estado de condição de operação resultante em uma variável representativa sn_{cr} . Inicialmente, se verificam as condições para a indeterminação/inconsistência: se “**sim**”, a saída recebe 0 e, se “**não**”, a condição subsequente é testada. Na sequência, a condicional para falsidade é testada: se “**sim**”, a saída recebe 2 e, se “**não**”, a condicional subsequente é testada. A condicional para a verdade é testada: se “**sim**”, a saída recebe 1 e, se “**não**”, a saída recebe 3.

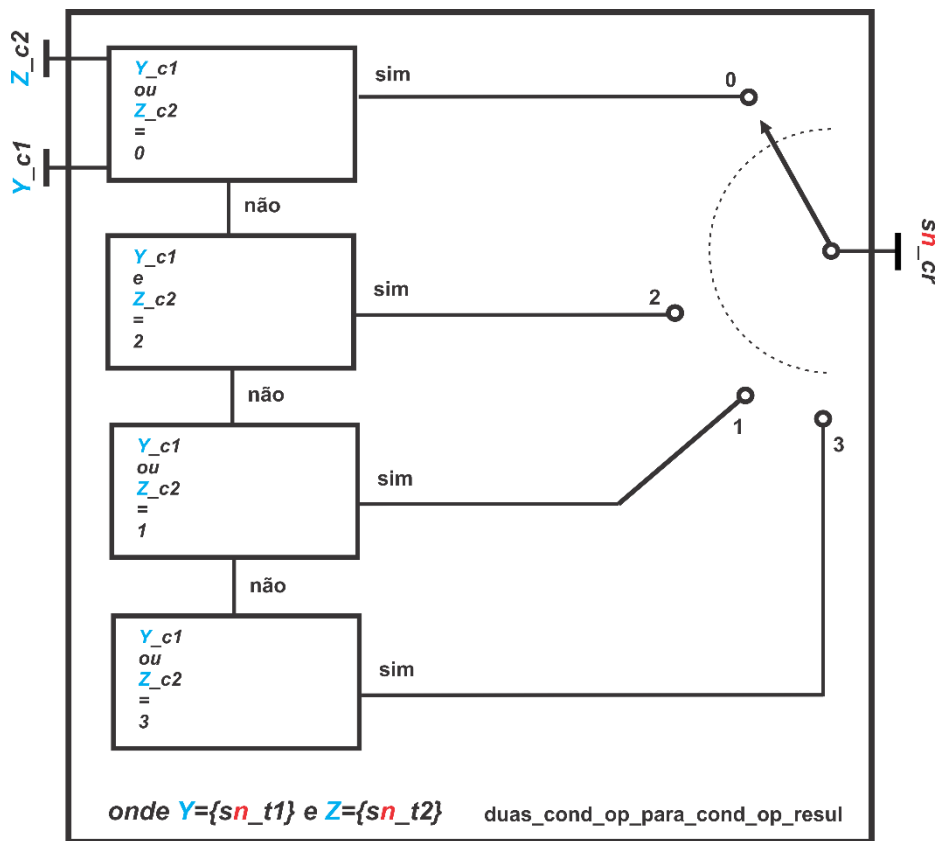


Figura 40 – Bloco de função que recebe dois estados de condição de operação de servidor e produz estado de condição de operação resultante (duas_cond_op_para_cond_op_resul)

Os valores 0, 1, 2 e 3 representam respectivamente inconsistência/indeterminação, falha, normalidade e instabilidade.

As conjugações dos módulos de blocos de função/código geram os **subsistemas especialistas 1, 2 e 3**, representados pelas figuras 41, 42 e 43, com as seguintes composições:

- **No subsistema especialista 1 (de condição de operação de servidor):** um módulo de ajuste de variáveis de entrada, dois módulos *Fuzzy* (favorável e desfavorável) para graus de evidência, dois módulos paraconsistentes, dois módulos híbridos *Para-Fuzzy*, dois módulos de geração da condição de operação do servidor analisado (que pode ser de Falha, Normalidade, Instabilidade e Inconsistência/Indeterminação) e um módulo gerador de condição de operação resultante do servidor analisado.
- **No subsistema especialista 2 (de condição de operação de roteador (interface de rede)):** um módulo de ajuste de variáveis de entrada, um módulo *Fuzzy* (favorável e desfavorável) para graus de evidência, um

módulo paraconsistente, um módulo híbrido *Para-Fuzzy*, um módulo de geração da condição de operação do roteador analisado (que pode ser de Falha, Normalidade, Instabilidade e Inconsistência/Indeterminação).

- **No subsistema especialista 3 (de condição de operação de UAC (*ligação protocolar*)):** um módulo de ajuste de variáveis de entrada, um módulo *Fuzzy* (favorável e desfavorável) para graus de evidência, um módulo paraconsistente, um módulo híbrido *Para-Fuzzy*, um módulo de geração da condição de operação da UAC analisada (que pode ser de Falha, Normalidade, Instabilidade e Inconsistência/Indeterminação).

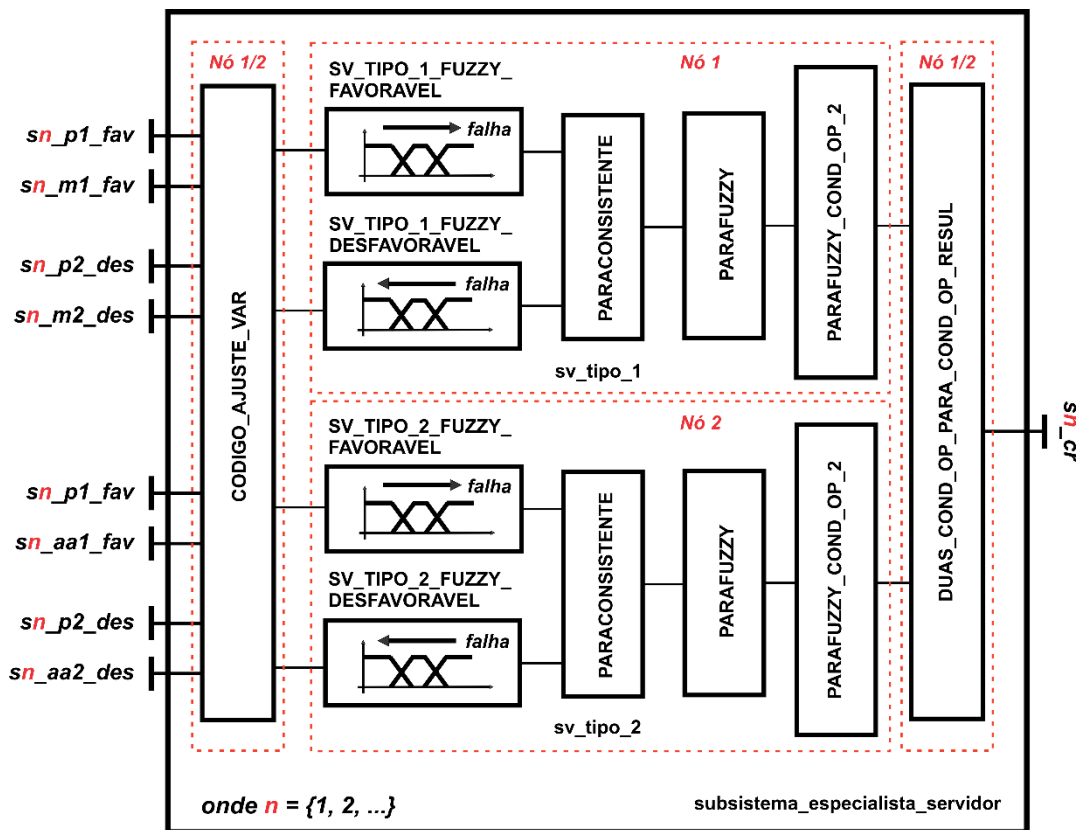


Figura 41 – Diagrama de blocos do subsistema especialista de condição de operação de servidor

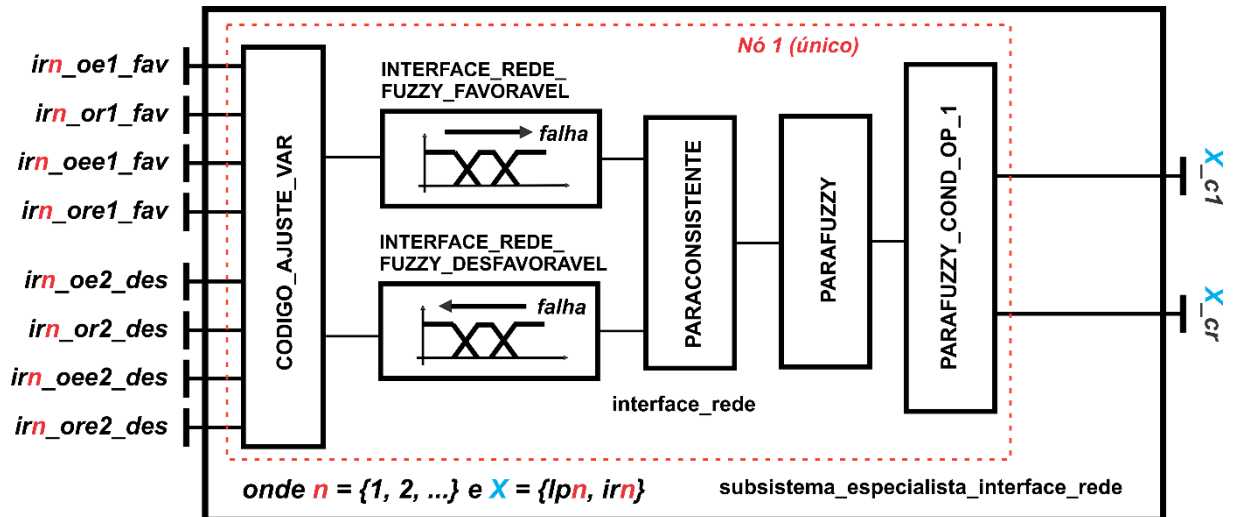


Figura 42 – Diagrama de blocos do subsistema especialista de condição de operação de roteador (interface de rede)

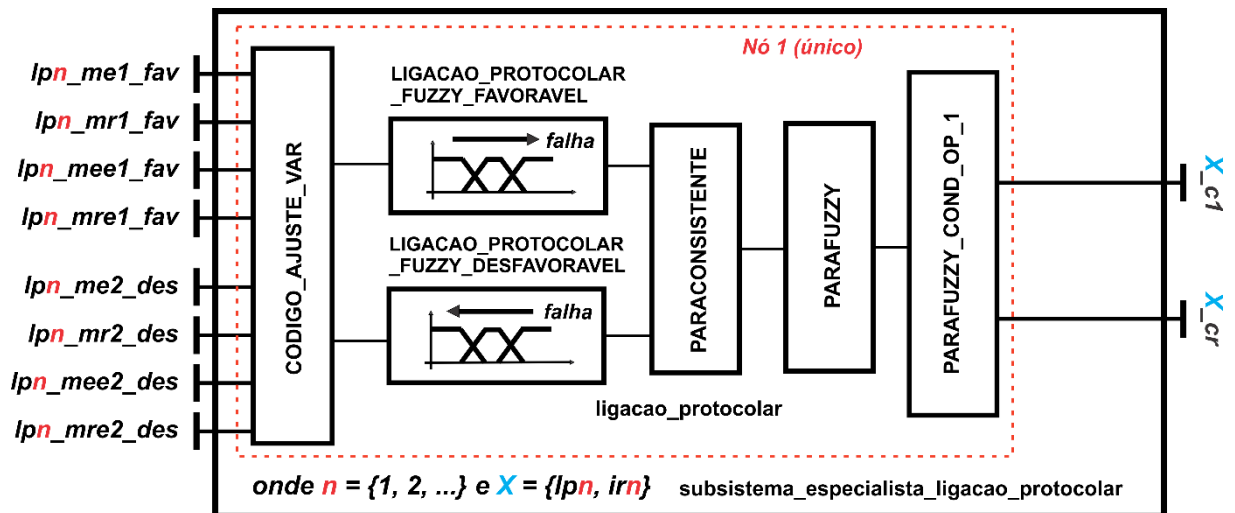


Figura 43 – Diagrama de blocos do subsistema especialista de condição de operação de UAC (ligação protocolar)

O diagrama lógico do **sistema especialista completo** (figura 44), que depende da quantidade de equipamentos a serem monitorados, é apresentado de forma genérica, a seguir.

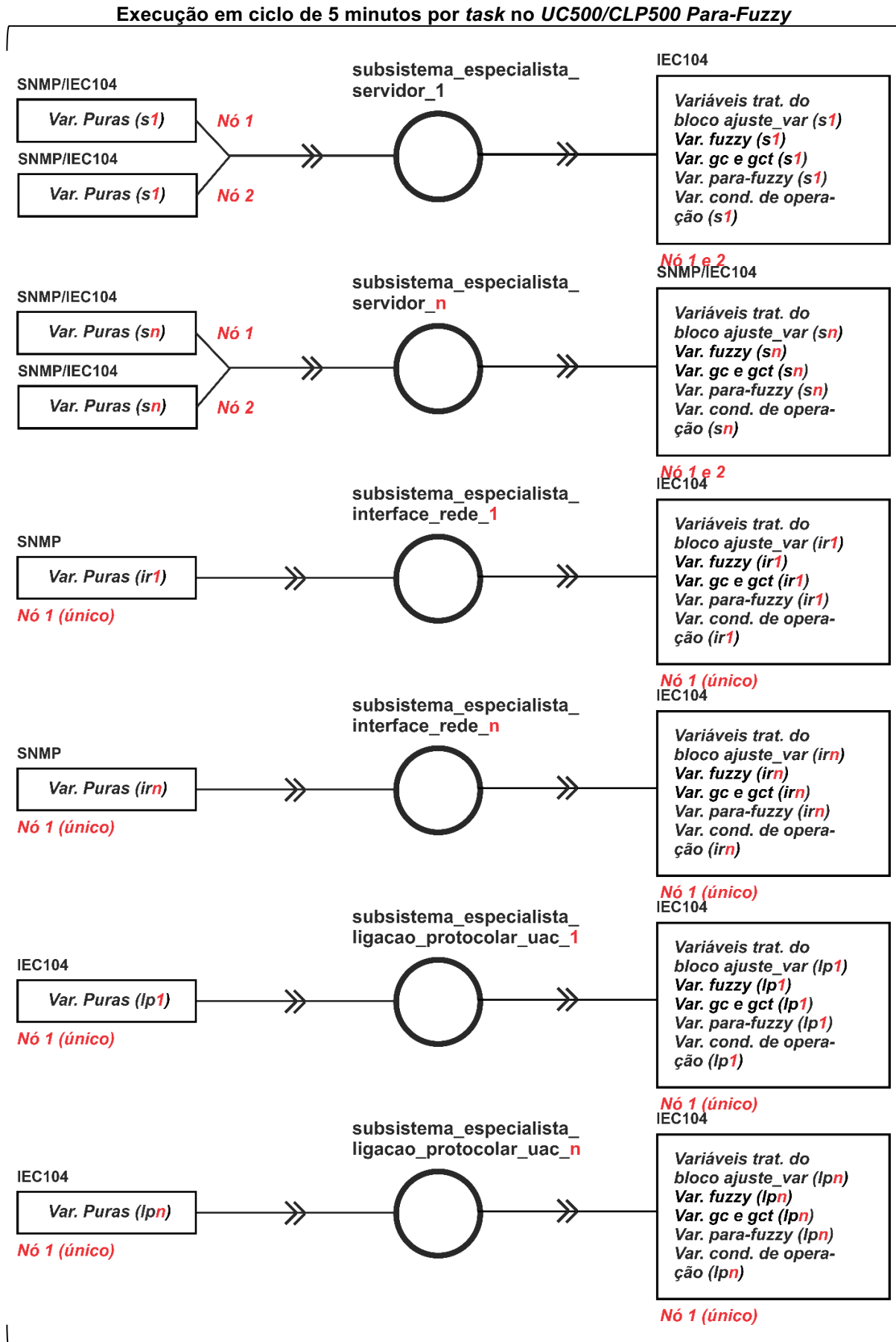


Figura 44 – Diagrama lógico genérico do sistema especialista completo

2.3 Modelagem dos sinais

São apresentadas as modelagens dos sinais *Fuzzy* para os servidores Scatex e UC500/CLP500 SCADA, para interface de rede de roteadores de Centro de Operações, Usina e Subestação, e para ligações protocolares de UACs de Usina e Subestação.

2.3.1 Para dados do servidor Scatex

2.3.1.1 PROCESSAMENTO

Foram definidos os seguintes valores para processamento: baixo entre **0% e 50%**, mediano entre **15% e 70%**, e alto entre **60% e 100%**. Com a definição dos valores para processamento baixo, médio e alto, criou-se a distribuição *Fuzzy* definida de acordo com a tabela 9.

Tabela 9 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de processamento alto, médio e baixo de servidor Scatex

Processamento (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (%)
Baixo	trapmf	(0,0,15,50)
Médio	trapmf	(15,50,60,70)
Alto	trapmf	(60,70,100,100)

2.3.1.2 MEMÓRIA

Foram definidos os seguintes valores para memória: baixa entre **0% e 65%**, mediana entre **60 e 95%** e alta entre **90% e 100%**. Com a definição dos valores para memória baixa, média e alta, criou-se a distribuição *Fuzzy* definida de acordo com a tabela 10.

Tabela 10 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de memória alta, média e baixa de servidor Scatex

Memória (Fuzzy)	Distribuição	Valores (%)
Baixa	trapmf	(0,0,60,65)
Média	trapmf	(60,65,90,95)
Alta	trapmf	(90,95,100,100)

2.3.1.3 ALOCAÇÃO DE ARQUIVOS (DISCO RÍGIDO)

Das quatro partições fundamentais, /tmp, /home, /usr e /etc, foi monitorada somente a participação /home, por se caracterizar como mais interessante devido a suas frequentes variações. Foram definidos os seguintes valores para alocação de arquivos (disco): baixa entre **0% e 85%**, mediana entre **75% e 95%**, e alta entre **90% e 100%**. Com a definição dos valores de alocação de arquivos (disco) baixa, média e alta, criou-se a distribuição *Fuzzy* definida de acordo com a tabela 11.

Tabela 11 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de alocação de arquivos (disco) alta, média e baixa de servidor Scatex

Aloc. Arquivos (Fuzzy)	Distribuição	Valores (%)
Baixa	trapmf	(0,0,75,85)
Média	trapmf	(75,85,90,95)
Alta	trapmf	(90,95,100,100)

2.3.2 Para dados do servidor UC500/CLP500 SCADA

2.3.2.1 PROCESSAMENTO

Foram definidos os seguintes valores para processamento: baixo entre **0% e 50%**, mediano entre **15% e 70%** e alto entre **60% e 100%**. Com a definição dos valores para processamento baixo, médio e alto, criou-se a distribuição *Fuzzy* definida de acordo com a tabela 12.

Tabela 12 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de processamento alto, médio e baixo de servidor UC500/CLP500 SCADA

Processamento (Fuzzy)	Distribuição	Valores (%)
Baixo	trapmf	(0,0,15,50)

Médio	trapmf	(15,50,60,70)
Alto	trapmf	(60,70,100,100)

2.3.2.2 MEMÓRIA

Foram definidos os seguintes valores para memória: baixa entre **0% e 50%**, mediana entre **40% e 65%**, e alta entre **60% e 100%**. Com a definição dos valores para memória baixa, média e alta, criou-se a distribuição *Fuzzy* definida de acordo com a tabela 13.

Tabela 13 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de memória alta, média e baixa de servidor UC500/CLP500 SCADA

Memória (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (%)
Baixa	trapmf	(0,0,40,50)
Média	trapmf	(40,50,60,65)
Alta	trapmf	(60,65,100,100)

2.3.2.3 ALOCAÇÃO DE ARQUIVOS (DISCO RÍGIDO)

Para alocação de arquivos (disco), a partição monitorada foi a partição com o diretório /UC500. Foram definidos os seguintes valores para alocação de arquivos (disco): baixa entre **0% e 85%**, mediana entre **75% e 95%**, e alta entre **90% e 100%**. Com a definição dos valores para alocação de arquivos (disco) baixa, média e alta, criou-se a distribuição *Fuzzy* definida de acordo com a tabela 14.

Tabela 14 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de alocação de arquivos alta, média e baixa de servidor UC500/CLP500 SCADA

Aloc. Arquivos (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (%)
Baixa	trapmf	(0,0,75,85)
Média	trapmf	(75,85,90,95)
Alta	trapmf	(90,95,100,100)

2.3.3 Para dados de interface de rede de saída de roteador 1 da Usina Genérica 1

2.3.3.1 TAXA

Como taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 6.5 Kbps**, como taxa média os valores entre **1 e 2252 Kbps** (que contemplam o tráfego da UAC 1 da Usina Genérica 1 e duas estações corporativas com *e-mail*, *text messaging* e *web browsing*), e como taxa alta valores entre **2048 e 4096 Kbps** (que contemplam 50% a 100% da capacidade total em Kbps). Portanto, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 15.

Tabela 15 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa de interface de rede de saída de roteador 1 da Usina Genérica 1

Taxa (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Kbps</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,1,6.5)
Médio	trapmf	(1,6.5,2048,2252)
Alto	trapmf	(2048,2252,4096,4096)

2.3.3.2 ERRO

Como número baixo de erros, foram considerados os valores entre **0 e 12 octetos com erros** (~ entre 0 e 0,01%/2 octetos para 6.5 Kbps em 300 s), como quantidade de erros média entre **8 e 24 octetos com erros** (~ entre 0,01%/3 e 0,01% octetos para 6.5 Kbps em 300 s), e como quantidade de erros alta entre **12 e 45 octetos com erros** (~ entre 0,01%/2 octetos para 6.5 Kbps em 300 s e 45 octetos com erros). Assim, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 16.

Tabela 16 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo de interface de rede de saída de roteador 1 da Usina Genérica 1

Erro (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>octetos</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,8,12)
Médio	trapmf	(8,12,12,24)
Alto	trapmf	(12,24,45,45)

2.3.4 Para dados de interface de rede de saída de roteador 2 da Usina Genérica 1

2.3.4.1 TAXA

Como taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 6,5 Kbps**, como taxa média os valores entre **1 e 1126 Kbps** (que contemplam o tráfego da UAC 2 da Usina Genérica 1 e uma estação corporativa com *e-mail*, *text messaging* e *web browsing*) e, como taxa alta valores entre **1024 e 2048 Kbps** (que contemplam 50% a 100% da capacidade total em Kbps). Então, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 17.

Tabela 17 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa de interface de saída de roteador 2 da Usina Genérica 1

Taxa (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Kbps</i>)
Baixa	trapmf	(0,0,1,6.5)
Média	trapmf	(1,6.5,1024,1126)
Alta	trapmf	(1024,1126,2048,2048)

2.3.4.2 ERRO

Como número baixo de erros foram considerados os valores entre **0 e 12 octetos com erros** (~ entre 0 e 0,01%/2 octetos para 6.5 Kbps em 300 s), como número de erros médio, entre **8 e 24 octetos com erros** (~ entre 0,01%/3 e 0,01% octetos para 6.5 Kbps em 300 s) e, como número de erros alto entre **12 e 45 octetos com erros** (~ entre 0,01%/2 octetos para 6.5 Kbps em 300 s e 45 octetos com erros). Dessa forma, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 18.

Tabela 18 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo para interface de saída de roteador 2 da Usina Genérica 1

Erro (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Kpbs</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,8,12)
Médio	trapmf	(8,12,12,24)
Alto	trapmf	(12,24,45,45)

2.3.5 Para dados de interface de rede de saída de roteador 1 da Subestação Genérica 1

2.3.5.1 TAXA

Para a taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 2,5 Kbps**, para a taxa média os valores entre **1 e 2252 Kbps** (que contemplam o tráfego da UAC 1 de Subestação Genérica 1 e duas estações corporativas com *e-mail*, *text messaging* e *web browsing*), e para taxa alta valores entre **2048 e 4096 Kbps** (que contemplam 50% a 100% da capacidade total em Kbps). Então, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 19.

Tabela 19 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa para interface de rede de saída de roteador 1 da Subestação Genérica 1

Taxa (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Kbps</i>)
Baixa	trapmf	(0,0,1,2.5)
Média	trapmf	(1,2.5,2048,2252)
Alta	trapmf	(2048,2252,4096,4096)

2.3.5.2 ERRO

Como número baixo de erros foram considerados os valores entre **0 e 5 octetos com erros** (~ entre 0 e 0,01%/2 octetos para 2.5 Kbps em 300 s), como número de erros médio entre **3 e 10 octetos com erros** (~ entre 0,01%/3 e 0,01% octetos para 2.5 Kbps em 300 s), e como número de erros alto entre **5 e 45 octetos com erros** (~ entre 0,01%/2 octetos para 2.5 Kbps em 300 s e 45 octetos com erros). Assim, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 20.

Tabela 20 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo para interface de rede de saída de roteador 1 da Subestação Genérica 1

Erro (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>octetos</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,3,5)
Médio	trapmf	(3,5,5,10)
Alto	trapmf	(5,10,45,45)

2.3.6 Para dados de interface de rede de saída de roteador 1 para Centro de Operação

2.3.6.1 TAXA

Para a taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 9 Kbps**, para a taxa média os valores entre **1 e 2252 Kbps** (que contemplam o tráfego do UC500/CLP500 SCADA de Centro de Operação Regional e duas estações corporativas com *e-mail*, *text messaging* e *web browsing*), e para taxa alta valores entre **2048 e 4096 Kbps** (que contemplam 50% a 100% da capacidade total em Kbps). Dessa forma, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 21.

Tabela 21 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa para interface de saída de roteador 1 de Centro de Operação

Taxa (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Kbps</i>)
Baixa	trapmf	(0,0,1,9)
Média	trapmf	(1,9,2048,2252)
Alta	trapmf	(2048,2252,4096,4096)

2.3.6.2 ERRO

Como número baixo de erros foram considerados os valores entre **0 e 18 octetos com erros** (~ entre 0 e 0,01%/2 octetos para 9 Kbps em 300 s), como número de erros médio entre **12 e 34 octetos com erros** (~ entre 0,01%/3 e 0,01% octetos para 9 Kbps em 300 s), e como número de erros alto entre **18 e 45 octetos com erros** (~ entre 0,01%/2 octetos para 9 Kbps em 300 s e 45 octetos com erros). Então, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 22.

Tabela 22 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo para interface de saída de roteador 1 do Centro de Operação

Erro (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>octetos</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,12,18)
Médio	trapmf	(12,18,18,34)
Alto	trapmf	(18,34,45,45)

2.3.7 Para dados de interface de rede de saída de roteador 2 para Centro de Operação

2.3.7.1 TAXA

Para a taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 9 Kbps**, para a taxa média os valores entre **1 e 2252 Kbps** (que contemplam o funcionamento do UC500/CLP500 SCADA de Centro de Operação Regional e duas estações corporativas com *e-mail*, *text messaging* e *web browsing*), e para taxa alta valores entre **2048 e 4096 Kbps** (que contemplam 50% a 100% da capacidade total em Kbps). Assim, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 23.

Tabela 23 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa para interface de saída de roteador 2 do Centro de Operação

Taxa (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Kbps</i>)
Baixa	trapmf	(0,0,1,9)
Média	trapmf	(1,9,2048,2252)
Alta	trapmf	(2048,2252,4096,4096)

2.3.7.2 ERRO

Como número baixo de erros foram considerados os valores entre **0 e 18 octetos com erros** (~ entre 0 e 0,01%/2 octetos para 9 Kbps em 300 s), como número de erros médio entre **12 e 34 octetos com erros** (~ entre 0,01%/3 e 0,01% octetos para 9 Kbps em 300 s), e como número de erros alto entre **18 e 45 octetos com erros** (~ entre 0,01%/2 octetos para 9 Kbps em 300 s e 45 octetos com erros). Portanto, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 24.

Tabela 24 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo para interface de saída de roteador 2 do Centro de Operação

Erro (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>octetos</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,12,18)
Médio	trapmf	(12,18,18,34)
Alto	trapmf	(18,34,45,45)

2.3.8 Para dados de ligação protocolar IEC 104 com UAC 1 da Usina Genérica 1

2.3.8.1 TAXA

Para a taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 770 mensagens** (baseados nas situações de ligação com *link* sem envio/recepção de dados, falhas de conexão de *socket* e baixo fluxo de dados), para a taxa média os valores entre **110 e 1650 mensagens** (faixa de +-30% do valor médio de mensagens em comunicação de teste), e para taxa alta entre **1430 e 3300 mensagens** (até três vezes o valor de 1100 mensagens).

Essa taxa média considera uma comunicação de teste com base de dados de 613 variáveis tipo M_ME_TF_1, e 5236 variáveis tipo M_SP_TB_1. A taxa de amostragem foi de 4693 segundos, e foram considerados na amostragem os dados de recepção da ligação protocolar por serem mais significativos, com a recepção de 28032 mensagens de modo espontâneo com tamanho médio de 139 bytes, e 373 mensagens por interrogações gerais (*general interrogation*) com tamanho médio de 264 bytes (estas informações foram filtradas no *software* Wireshark). Então, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 25.

Tabela 25 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1

Taxa (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Msgs</i>)
Baixa	trapmf	(0,0,110,770)
Média	trapmf	(110,770,1430,1650)
Alta	trapmf	(1430,1650,3300,3300)

2.3.8.2 ERRO

Como número baixo de erros foram considerados os valores entre **0 e 6 mensagens com erros** (6 falhas a cada 300 segundos), para erro médio entre **3 e 8 mensagens com erros** (3 a 8 falhas a cada 300 segundos), e como número de erros alto entre **6 e 45 mensagens com erros** (6 a 45 falhas a cada 300 segundos). Então, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 26.

Tabela 26 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1

Erro (Fuzzy)	Distribuição	Valores (Msgs)
Baixo	trapmf	(0,0,3,6)
Médio	trapmf	(3,6,6,8)
Alto	trapmf	(6,8,45,45)

2.3.9 Para dados de ligação protocolar IEC 104 com UAC 1 da Subestação Genérica 1

2.3.9.1 TAXA

Para a taxa baixa foram considerados os valores entre **0 e 371 mensagens** (baseados nas situações de ligação com *link* sem envio/recepção de dados, falhas de conexão de *socket* e baixo fluxo de dados), para a taxa média os valores entre **53 e 795 mensagens** (faixa de +-30% do valor médio de mensagens em comunicação de teste), e para taxa alta entre **689 e 1590 mensagens** (até três vezes o valor de 530 mensagens).

Essa taxa média considera uma comunicação de teste com base de dados de 30 variáveis tipo M_ME_TF_1, e 350 variáveis tipo M_SP_NA_1. A taxa de amostragem foi de 29756 segundos, e foram considerados na amostragem os dados de recepção da ligação protocolar por serem mais significativos, com a recepção de 43162 mensagens de modo espontâneo com tamanho médio de 217 bytes, e 136 mensagens por interrogações gerais (*general interrogation*) com tamanho médio de 202 bytes (estas informações foram filtradas no *software* Wireshark). Dessa forma, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 27.

Tabela 27 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para condição de taxa alta, média e baixa de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Subestação Genérica 1

Taxa (Fuzzy)	Distribuição	Valores (Msgs)
Baixa	trapmf	(0,0,53,371)
Média	trapmf	(53,371,689,795)
Alta	trapmf	(689,795,1590,1590)

2.3.9.2 ERRO

Como número baixo de erros foram considerados os valores entre **0 e 6 mensagens com erros** (6 falhas a cada 300 segundos), como número de erros médio entre **3 e 8 mensagens com erros** (3 a 8 falhas a cada 300 segundos), e como número de erros alto entre **6 e 45 mensagens com erros** (6 a 45 falhas a cada 300 segundos). Então, a distribuição *Fuzzy* foi definida de acordo com a tabela 28.

Tabela 28 – Valores de ajuste de funções de pertinências *Fuzzy* para número de erros alto, médio e baixo de ligação protocolar IEC104 com UAC 1 da Subestação Genérica 1

Erro (<i>Fuzzy</i>)	Distribuição	Valores (<i>Msgs</i>)
Baixo	trapmf	(0,0,3,6)
Médio	trapmf	(3,6,6,8)
Alto	trapmf	(6,8,45,45)

3 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos para o sistema de monitoramento proposto e da lógica híbrida *Para-Fuzzy*, tanto em MATLAB como nos *softwares* CLP500 e Scatex.

3.1 Resultados em MATLAB

São apresentados os resultados provenientes de simulações em MATLAB para a lógica híbrida *Para-Fuzzy* e para os subsistemas especialistas.

Para a lógica híbrida *Para-Fuzzy*, nesta seção foram feitas três análises: a análise 1 com $G_{ct} = 0$ e variações de 0,1 em G_c de -1 a +1 para verificação do comportamento das funções de saída *Fuzzy* correspondentes aos estados lógicos próximos ao eixo de G_c ; a análise 2 com $G_{ct} = +0.1$ e variações de 0,1 em G_c de -1 a +1 para verificação do comportamento das funções de saída *Fuzzy* correspondentes aos estados lógicos próximos ao eixo de G_c com pequeno efeito de contradição positiva; e a análise 3 com $G_{ct} = -0.1$ e variações de 0,1 em G_c de -1 a +1 para verificação das funções de saída *Fuzzy* correspondentes aos estados lógicos próximos ao eixo de G_c com pequeno efeito de contradição negativa.

As simulações para os subsistemas especialistas foram organizadas da seguinte forma:

- **Para Subsistema Especialista de Servidor Scatex:** realizados três ensaios, demonstrando os resultados do subsistema especialista do servidor Scatex para situações de **falha, normalidade e instabilidade**.
- **Para Subsistema Especialista de Roteador 1 de Usina 1:** realizados três ensaios, demonstrando os resultados do subsistema especialista do roteador 1 da Usina 1 para situações de **falha, normalidade e instabilidade**.
- **Para Subsistema Especialista de UAC 1 de Usina 1:** realizados três ensaios, demonstrando os resultados do subsistema especialista da ligação protocolar da UAC 1 da Usina 1 para situações de **falha, normalidade e instabilidade**.

3.1.1 Para a Lógica Híbrida Para-Fuzzy

a) Análise 1

$G_{ct} = 0$ e variações de G_c de 0,1 com comportamento das funções de saída Fuzzy, como pode ser visto na tabela 29.

Tabela 29 – Pertinência dos estados lógicos para $G_{ct} = 0$ e variações de G_c de 0,1

$G_{ct} = 0,0$													
G_c	$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$
-1	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,9	0	0	0,25	0,55	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,8	0	0	0,50	0,55	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,7	0	0	0,55	0,40	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,6	0	0	0,55	0,20	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,5	0	0	0,55	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,4	0	0	0,55	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,3	0	0	0,50	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,2	0	0	0,33	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,1	0	0	0,16	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0,16	0	0
0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,33	0	0
0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0	0,50	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0,55	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0,55	0	0
0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0,20	0,55	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0,40	0,55	0	0
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0,55	0,50	0	0
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,55	0,25	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0

b) Análise 2

$G_{ct} = +0,1$ e variações de G_c de 0,1 com comportamento das funções de saída Fuzzy, como pode ser visto na tabela 30.

Tabela 30 – Pertinência dos estados lógicos para $G_{ct} = +0,1$ e variações de G_c de 0,1

$G_{ct} = +0,1$													
G_c	$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$
-0,9	0	0	0,25	0,77	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,8	0	0	0,33	0,60	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,7	0	0	0,33	0,40	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,6	0	0	0,33	0,20	0,77	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,5	0	0	0,33	0	0,77	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,4	0	0	0,33	0	0,66	0,16	0	0	0	0	0	0	0
-0,3	0	0	0,33	0	0,50	0,16	0	0	0	0	0	0	0
-0,2	0	0	0,33	0	0,33	0,16	0	0,11	0	0	0	0	0
-0,1	0	0	0,16	0	0,16	0,16	0	0,16	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0,16	0	0,16	0	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0	0	0,16	0	0,16	0,16	0	0,16	0	0
0,2	0	0	0	0	0	0,11	0	0,16	0,33	0	0,33	0	0
0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0,50	0	0,33	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0,66	0	0,33	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,77	0	0,33	0	0
0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,77	0,20	0,33	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,40	0,33	0	0
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50	0,60	0,33	0	0
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,77	0,25	0	0

c) Análise 3

$G_{ct} = -0,1$ e variações de G_c de 0,1 com comportamento das funções de saída Fuzzy, como pode ser visto na tabela 31.

Tabela 31 – Pertinência estados lógicos para $G_{ct} = -0,1$ e variações de G_c de 0,1

$G_{ct} = -0,1$													
G_c	$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$
-0,9	0	0	0,25	0,33	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,8	0	0	0,50	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,7	0	0	0,75	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,6	0	0	0,77	0,20	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,5	0	0	0,77	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,4	0	0,16	0,66	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,3	0	0,16	0,50	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,2	0	0,16	0,33	0	0,33	0	0	0	0	0	0,11	0	0
-0,1	0	0,16	0,16	0	0,16	0	0	0	0	0	0,16	0	0
0	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0	0
0,1	0	0,16	0	0	0	0	0	0,16	0	0,16	0,16	0	0
0,2	0	0,11	0	0	0	0	0	0,33	0	0,33	0,16	0	0
0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,50	0,16	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,66	0,16	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,77	0	0	0
0,6	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,20	0,77	0	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,40	0,75	0	0	0
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,60	0,50	0	0	0
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,77	0,25	0	0	0

Nas Figuras 1 e 2 do **Apêndice A** estão resultados adicionais para a distribuição do **crisp** e dos estados lógicos em evidência no reticulado com base na análise da lógica híbrida Paraconsistente-Fuzzy.

3.1.2 Para o subsistema especialista de condição de operação de servidor

Destacam-se os seguintes ensaios para o servidor Scatex:

a) Ensaio 1 (E1) (servidor Scatex) – Operação normal

- **Nó 1:** proc. med. 1 = $p1 = 1\%$, mem. med. 1 = $m1 = 20\%$, processamento 2 = $p2 = 0,8\%$, memória 2 = $m2 = 22\%$.
- **Nó 2:** proc. med. 1 = $p1 = 1\%$, aloc. de arquivos med. 1 = $aa1 = 60\%$, proc. med. 2 = $p2 = 0,8\%$, aloc. de arquivos med. 2 = $aa2 = 60\%$.

Para o ensaio 1 (E1), houve divergências nas medições no **Nó 1** e do **Nó 2**. Para o **Nó 1**, conforme a figura 45, foram obtidos os valores de grau de evidência favorável **mi_no1** igual a **0,0800** e grau de evidência desfavorável **la_no1** igual a **0,9200**, e valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} iguais a **-0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

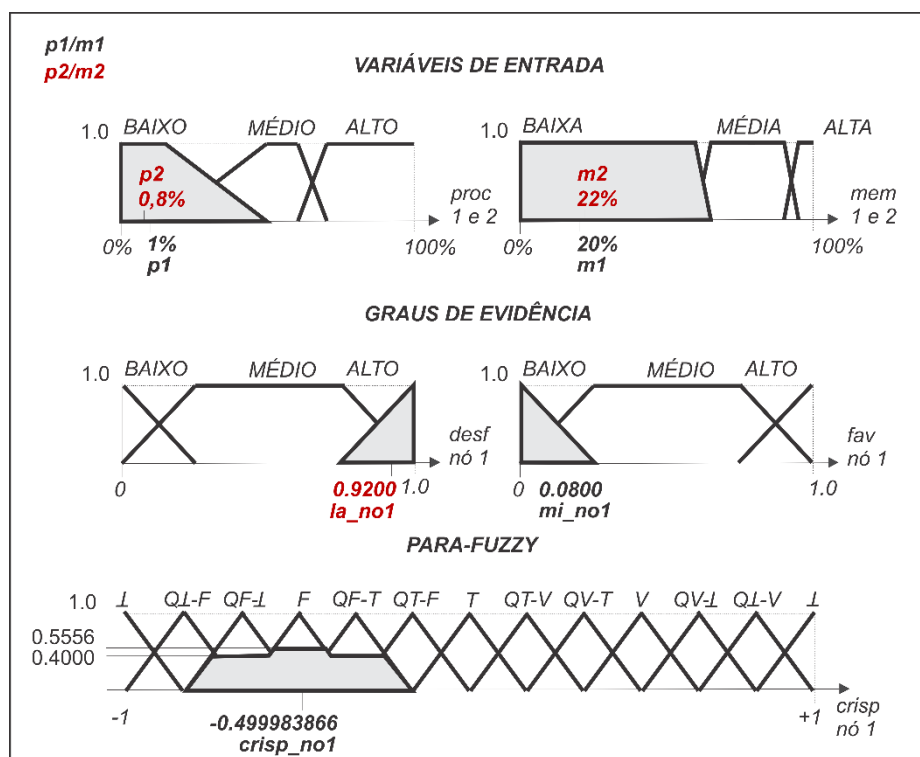


Figura 45 – Saída *crisp_no1* e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para servidor Scatex – Ensaio 1

O valor de *crisp* encontrado foi **-0,499983866**; o estado **F** ficou com pertinência de **0,5556** e os estados adjacentes **QF-1** e **QF-T**, com pertinência de **0,4000**. Esses dados podem ser vistos na tabela 32.

Tabela 32 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 para servidor Scatex – Ensaio 1

<i>mi_no1</i>	<i>la_no1</i>	G_c	G_{ct}	QF-⊥	QF-T	F	<i>crisp_no1</i>
0,0800	0,9200	-0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866

Para essa situação, o resultado do **Nó 1** para condição de operação do servidor Scatex foi **2**, ou seja, indicou-se **condição normal** de funcionamento do equipamento no quesito processamento e memória.

Para o **Nó 2**, conforme a figura 46, foram obtidos os valores de grau de evidência favorável *mi_no2* igual a **0,0800** e grau de evidência desfavorável *la_no2* igual a **0,9200**, e valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} iguais a - **0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

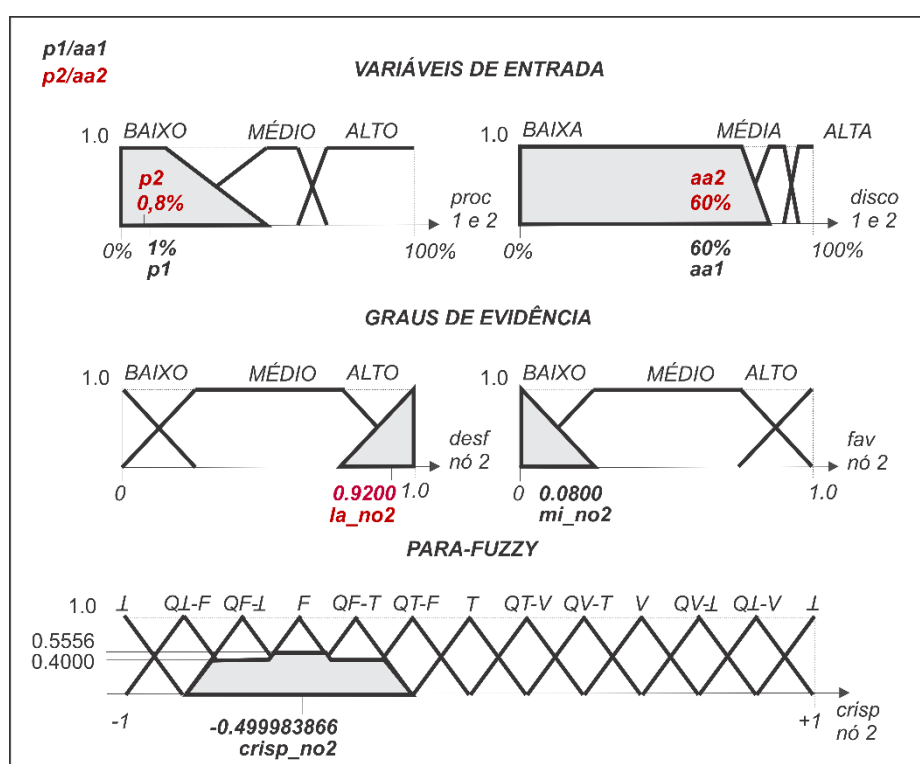


Figura 46 – Saída *crisp_no2* e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para servidor Scatex – Ensaio 1

O valor de *crisp* encontrado foi **-0,499983866**, o estado **F** ficou com pertinência de **0,5556** e os estados adjacentes **QF-⊥** e **QF-T**, com pertinência de **0,4000**. Esses dados podem ser vistos na tabela 33.

Tabela 33 – Principais parâmetros de análise Para-Fuzzy do Nó 2 para servidor Scatex – Ensaio 1							
<i>mi_no2</i>	<i>la_no2</i>	G_c	G_{ct}	QF-⊥	QF-T	F	<i>crisp_no2</i>
0,0800	0,9200	-0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866

O resultado do **Nó 2** para condição de operação do servidor Scatex foi 2, ou seja, indicou-se **condição normal** de funcionamento do equipamento no quesito processamento e alocação de arquivos (disco rígido). Como o resultado do **Nó 1** foi 2 e o resultado do **Nó 2** também foi 2, a condição resultante foi 2, ou seja, condição resultante normal.

b) Ensaio 2 (E2) (servidor Scatex) – Operação com instabilidade

- **Nó 1:** proc. med. 1 = $p1 = 28\%$, mem. med. 1 = $m1 = 85\%$, processamento 2 = $p2 = 28\%$, memória 2 = $m2 = 85\%$.
- **Nó 2:** proc. med. 1 = $p1 = 28\%$, aloc. de arquivos med. 1 = $aa1 = 60\%$, proc. med. 2 = $p2 = 28\%$, aloc. de arquivos med. 2 = $aa2 = 60\%$.

Para o ensaio 2 (E2), não se verificaram divergências no **Nó 1** nem no **Nó 2**. Para o **Nó 1**, conforme a figura 47, foram obtidos os valores de grau de evidência favorável **mi_no1** igual a **0,4391** e grau de evidência desfavorável **la_no1** igual a **0,5609**, e valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} iguais a **-0,1218** e **0,0000**, respectivamente.

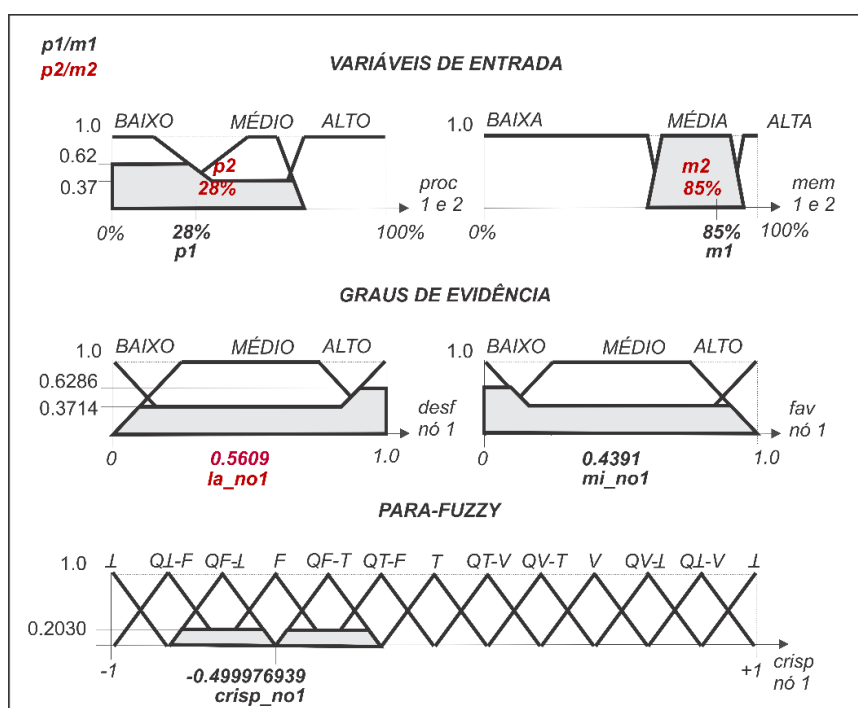


Figura 47 – Saída **crisp_no1** e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,1218$ e $G_{ct} = 0$ para servidor Scatex – Ensaio 2

O valor de *crisp* encontrado foi **-0,499976939** e os estados **QF- $\perp$** e **QF-T** ficaram com pertinência de **0,2030**. Esses dados podem ser vistos na Tabela 34.

Tabela 34 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 para servidor Scatex – Ensaio 2

<i>mi_no1</i>	<i>la_no1</i>	G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	<i>crisp_no1</i>
0,4391	0,5609	-0,1218	0	0,2030	0,2030	-0,499976939

Para essa situação, o resultado do **Nó 1** para condição de operação do servidor Scatex foi **3**, ou seja, indicou-se **condição de instabilidade** de funcionamento do equipamento no quesito processamento e memória.

Para o **Nó 2**, conforme a figura 48, foram obtidos os valores de grau de evidência favorável *mi_no2* igual a **0,0890** e de grau de evidência desfavorável *la_no2* igual a **0,9110**, e valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} iguais a **-0,8220** e **0,0000**, respectivamente.

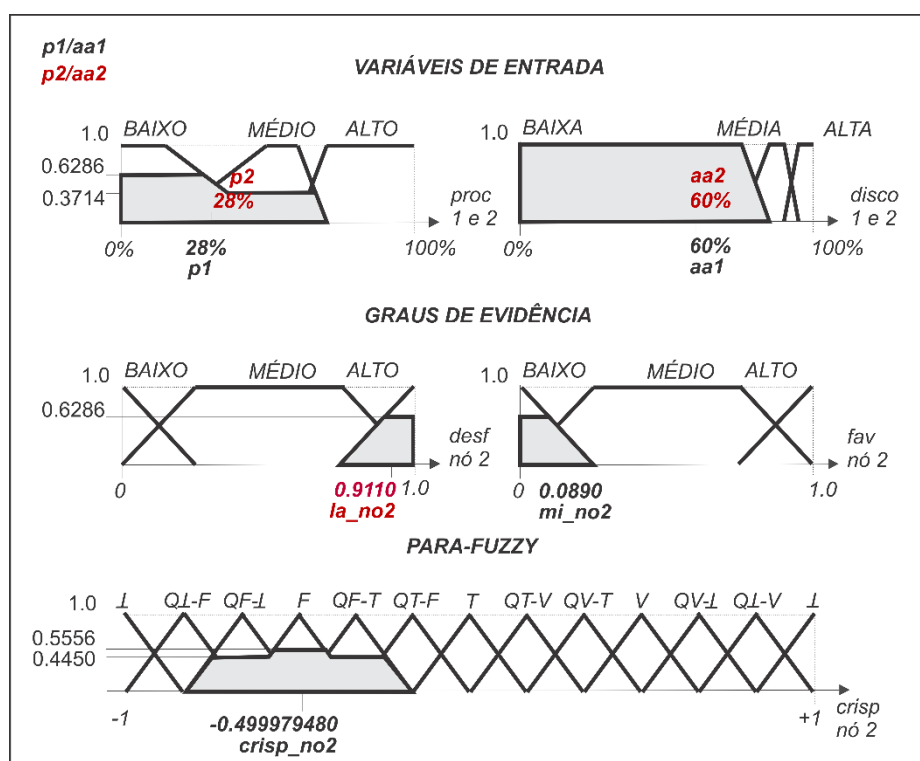


Figura 48 – Saída *crisp_no2* e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,8220$ e $G_{ct} = 0$ para servidor Scatex – Ensaio 2

O valor de *crisp* encontrado foi **-0,499979480**, o estado **F** ficou com pertinência de **0,5556** e os estados adjacentes **QF- $\perp$** e **QF-T**, com pertinência de **0,4450**. Esses dados podem ser vistos na tabela 35.

Tabela 35 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 2 para servidor Scatex – Ensaio 2

<i>mi_no2</i>	<i>la_no2</i>	G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp_no2</i>
0,0890	0,9110	-0,8220	0,0000	0,4450	0,4450	0,5556	-0,499979480

Para essa situação, o resultado do **Nó 2** foi **2**, ou seja, indicou-se **condição normal** de funcionamento do equipamento no quesito processamento e alocação de arquivos (disco rígido). Como o resultado do **Nó 1** foi 3 e o resultado do **Nó 2** foi 2, a condição resultante foi 3, ou seja, condição resultante de instabilidade.

c) Ensaio 3 (E3) (servidor Scatex) – Operação com falha

- **Nó 1:** proc. med. 1 = p1 = 10%, mem. med. 1 = m1 = 95%, processamento 2 = p2 = 10%, memória 2 = m2 = 95,5%.
- **Nó 2:** proc. med. 1 = p1 = 10%, aloc. de arquivos med. 1 = aa1 = 70%, proc. med. 2 = p2 = 10%, aloc. de arquivos med. 2 = aa2 = 70%.

Para o ensaio 3 (**E3**), houve divergência no **Nó 1** e não houve divergência no **Nó 2**. Para o **Nó 1**, conforme a figura 49, foram obtidos os valores de grau de evidência favorável *mi_no1* igual a **0,9200** e grau de evidência desfavorável *la_no1* igual a **0,0800**, e valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} iguais a **0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

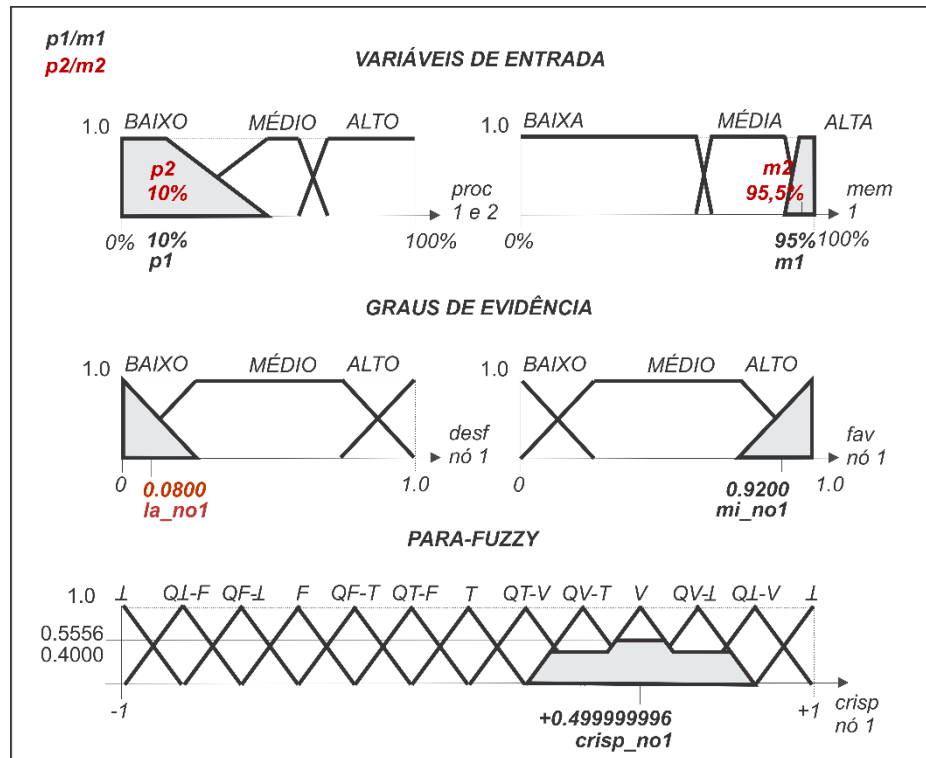


Figura 49 – Saída *crisp_no1* e pertinências Fuzzy para $G_c = 0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para servidor Scatex – Ensaio 3

O valor de *crisp* encontrado foi **0,499999996**, os estados **QV-L** e **QV-T** ficaram com pertinência de **0,4000** e o estado **V** com pertinência de **0,5556**. Esses dados podem ser vistos na tabela 36.

Tabela 36 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 para servidor Scatex – Ensaio 3

<i>mi_no1</i>	<i>la_no1</i>	G_c	G_{ct}	QV-L	QV-T	V	<i>crisp_no1</i>
0,9200	0,0800	0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	+0,499999996

O resultado do **Nó 1** para condição de operação do servidor Scatex foi **1**, ou seja, indicou-se **condição de falha** em relação ao funcionamento do equipamento no quesito processamento e memória. No **Nó 2**, conforme a figura 50, foram obtidos os valores de grau de evidência favorável *mi_no2* igual a **0,0800** e grau de evidência desfavorável *la_no2* igual a **0,9200**, e valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} iguais a **-0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

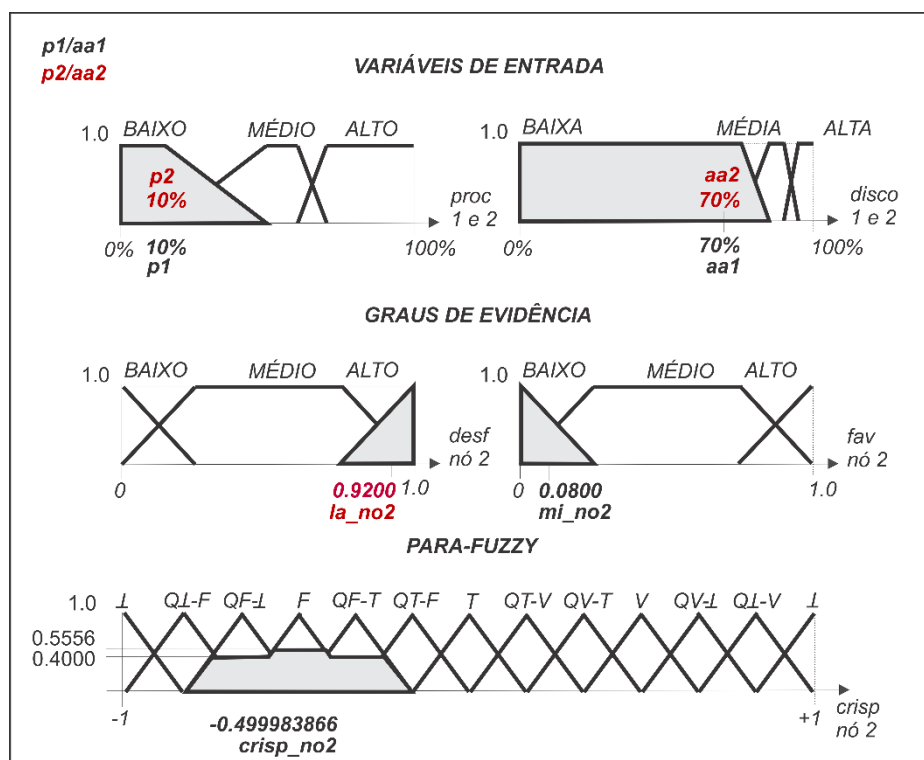


Figura 50 – Saída $crisp_no2$ e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para servidor Scatex – Ensaio 3

O valor de $crisp$ encontrado foi **-0,499983866**, os estados **QF-L** e **QF-T** ficaram com pertinência de **0,4000** e o estado **F**, com pertinência de **0,5556**. Esses dados podem ser vistos na tabela 37.

Tabela 37 – Principais parâmetros de análise Para-Fuzzy do Nó 2 para servidor Scatex – Ensaio 3

mi_no2	la_no2	G_c	G_{ct}	QF-L	QF-T	F	$crisp_no2$
0,0800	0,9200	-0,8400	0,0000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866

O resultado do **Nó 2** foi **2**, ou seja, indicou-se **condição normal** de funcionamento do equipamento no quesito processamento e alocação de arquivos (disco rígido). Como o resultado do **Nó 1** foi 1 e o resultado do **Nó 2** foi 2, a condição resultante foi 1, ou seja, condição resultante de falha.

Mais resultados podem ser encontrados no **Apêndice B**.

3.1.3 Para o subsistema especialista de condição de operação de roteador (interface de rede)

Destacam-se os seguintes ensaios para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1:

a) Ensaio 1 (E1) (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) – Operação normal

- **Nó 1:** taxa med. 1 = $t1 = 900\text{ k}$, erro med. 1 = $e1 = 1$, taxa med. 2 = $t2 = 1110\text{ k}$, erro med. 2 = $e2 = 0$.

Para o ensaio 1 (E1), conforme a figura 51, houve divergência no **Nó 1 (único)**. Para o **Nó 1 (único)** foram obtidos os valores de grau de evidência favorável mi_no1 igual a **0,0800** e grau de evidência desfavorável la_no1 igual a **0,9200**. Os valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} foram **-0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

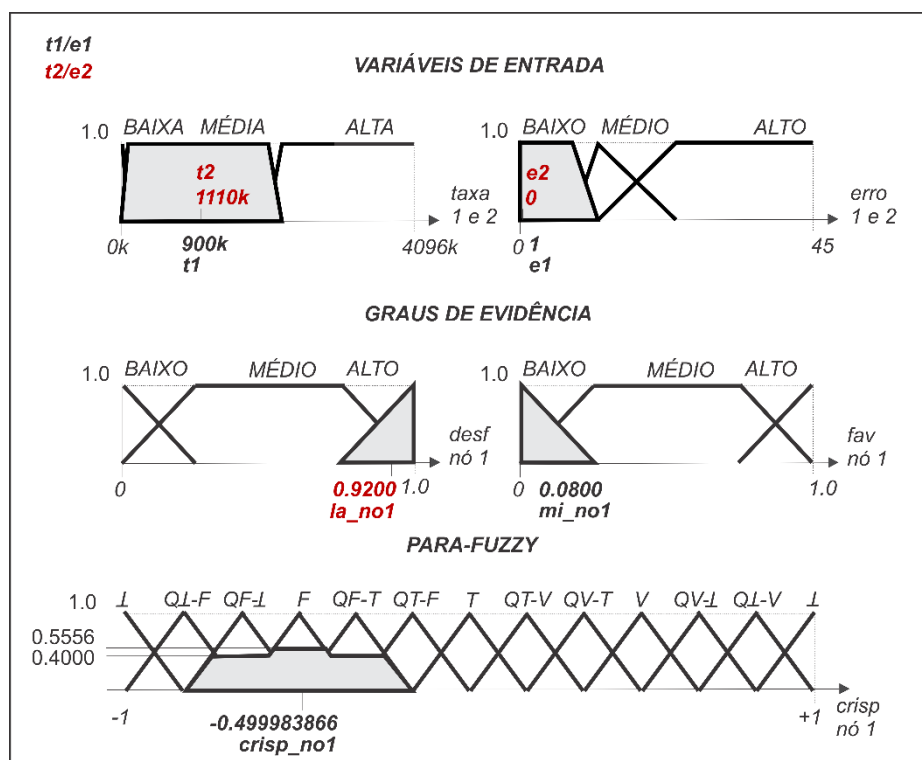


Figura 51 – Saída $crisp_no1$ e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

O valor de $crisp$ encontrado foi **-0,499983866**, o estado **F** ficou com pertinência de **0,5556** e os estados adjacentes **QF-L** e **QF-T**, com pertinência de **0,4000**. Esses dados podem ser vistos na tabela 38.

Tabela 38 – Principais parâmetros de análise Para-Fuzzy do Nó 1 (único) para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

mi_no1	la_no1	G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	$crisp_no1$
0,0800	0,9200	-0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866

Para essa situação, o resultado do **Nó 1 (único)** foi **2**, ou seja, indicou-se **condição normal** de funcionamento do equipamento no quesito taxa e erro.

b) Ensaio 2 (E2) (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) – Operação com instabilidade

- **Nó 1:** taxa 1= $t1=900k$, erro med. 1= $e1=9$, taxa med. 2= $t2=1300k$, erro med. 2= $e2=9$.

Para o ensaio 2 (**E2**), conforme figura 52, houve divergência no **Nó 1(único)**. Foram obtidos os valores de grau de evidência favorável mi_no1 igual a **0,3941** e o grau de evidência desfavorável la_no1 igual a **0,6059**. Os valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} foram **-0,2118** e **0,0000**, respectivamente.

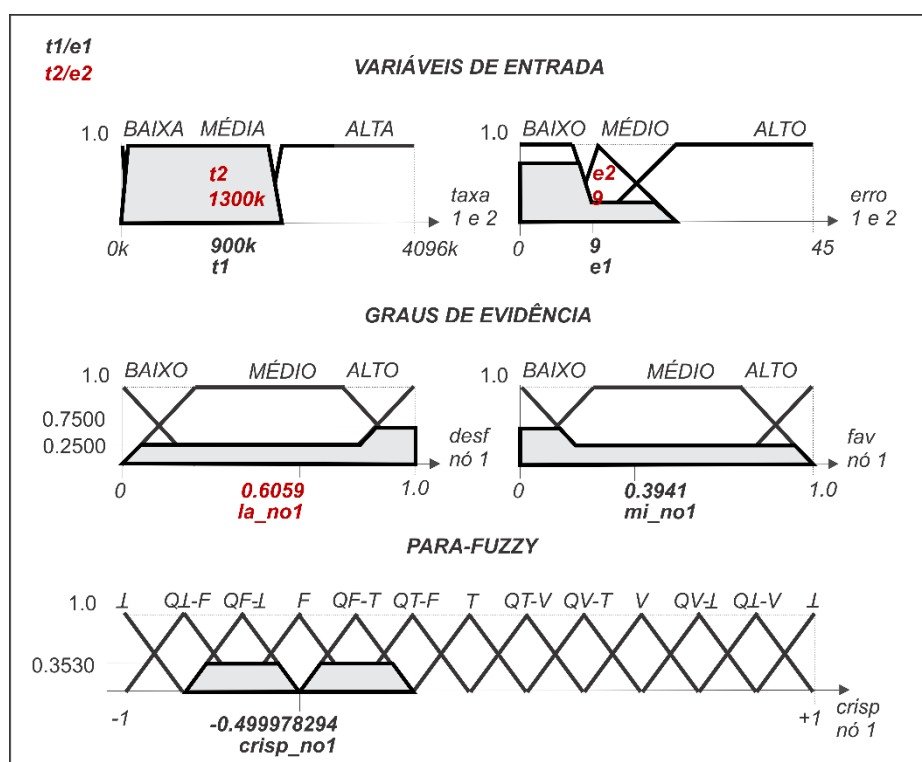


Figura 52 – Saída $crisp_no1$ e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,2118$ e $G_{ct} = 0$ para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

O valor de $crisp$ encontrado foi **-0,499978294** e os estados **QF- $\perp$** e **QF-T** ficaram com pertinência de **0,3530**. Esses dados podem ser vistos na tabela 39.

Tabela 39 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 (*único*) para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

<i>mi_no1</i>	<i>la_no1</i>	G_c	G_{ct}	$QF_{-}\perp$	$QF_{-}T$	<i>crisp_no1</i>
0,3941	0,6059	-0,2118	0	0,3530	0,3530	-0,499978294

Para essa situação, o resultado do **Nó 1 (*único*)** foi **3**, ou seja, indicou-se **condição de instabilidade** para funcionamento do equipamento no quesito taxa e erro.

c) Ensaio 3 (*E3*) (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) – Operação com falha

- **Nó 1:** taxa med. 1 = $t1 = 0k$, erro med. 1 = $e1 = 0$, taxa med. 2 = $t2 = 0k$, erro med. 2 = $e2 = 0$.

Para o ensaio 3 (*E3*), conforme a figura 53, não houve divergência no **Nó 1 (*único*)**. Foram obtidos os valores de grau de evidência favorável *mi_no1* igual a **0,9200** e grau de evidência desfavorável *la_no1* igual a **0,0800**. Os valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} foram **0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

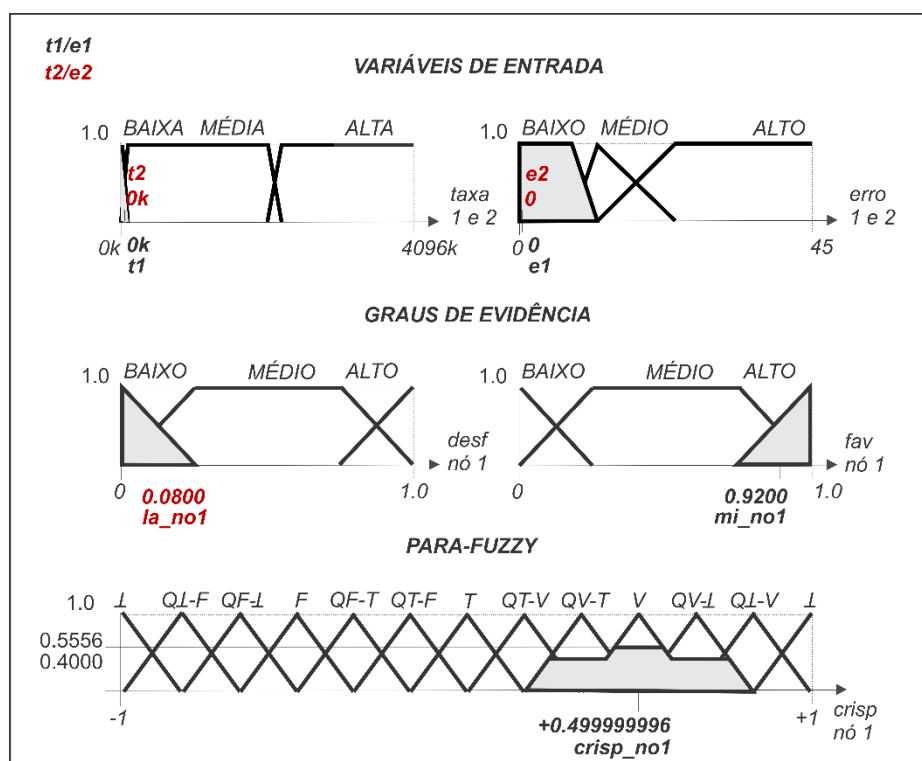


Figura 53 – Saída *crisp_no1* e pertinências Fuzzy para $G_c = +0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

O valor de *crisp* encontrado foi **0,499999996**, os estados **QV- $\perp$** e **QV-T** ficaram com pertinência de **0,4000** e o estado **V**, com pertinência de **0,5556**. Esses dados podem ser vistos na tabela 40.

Tabela 40 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 (*único*) para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

<i>mi_no1</i>	<i>la_no1</i>	<i>G_c</i>	<i>G_{ct}</i>	<i>QV-$\perp$</i>	<i>QV-T</i>	<i>V</i>	<i>crisp_no1</i>
0,9200	0,0800	0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	+0,499999996

Para essa situação, o resultado do **Nó 1 (*único*)** foi **1**, ou seja, indicou-se **condição de falha** para funcionamento do equipamento no quesito taxa e erro.

Mais resultados podem ser encontrados no **Apêndice B**.

3.1.4 Para o subsistema especialista de condição de operação de UAC (ligação protocolar)

Destacam-se os seguintes ensaios para UAC 1 da Usina Genérica 1:

a) Ensaio 1 (*E1*) (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) – Operação normal

- **Nó 1:** taxa med. 1 = msg1 = 1000 msg, erro med. 1 = e1 = 0, taxa med. 2 = msg2 = 990 msg, erro med. 2 = e2 = 0.

Houve divergências nas informações de duas fontes de medições diferentes para o ensaio 1 (*E1*), conforme a figura 54. Foram obtidos os valores de grau de evidência favorável *mi_no1* igual a **0,0800** e grau de evidência desfavorável *la_no1* igual a **0,9200**. Os valores de grau de certeza *G_c* e grau de contradição *G_{ct}* foram - **0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

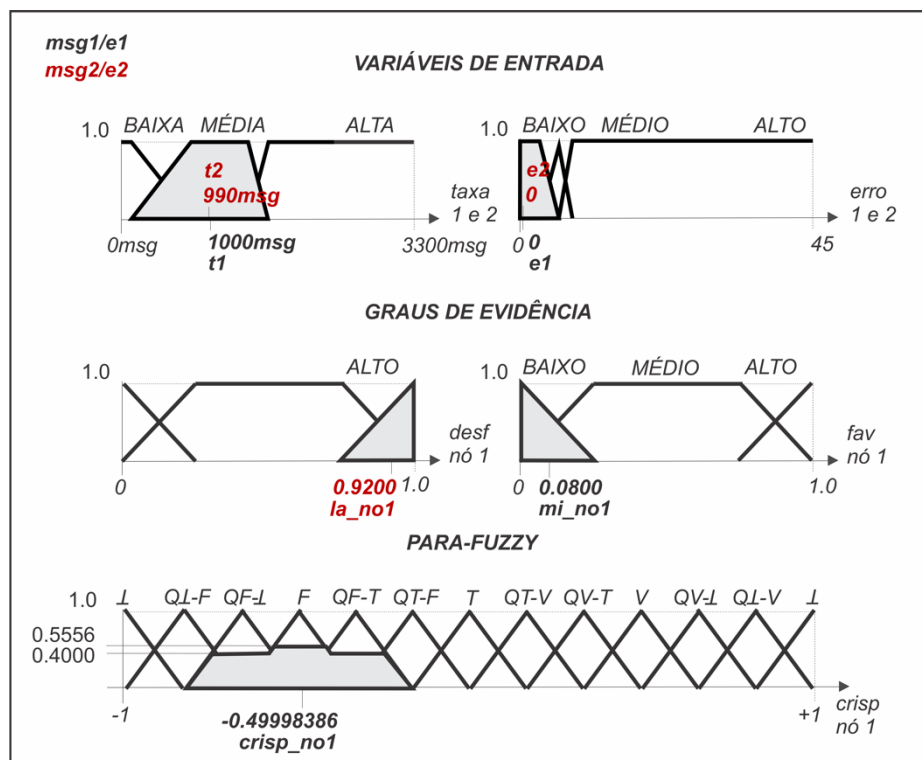


Figura 54 – Saída *crisp_no1* e pertinências Fuzzy para $G_c = -0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

O valor de *crisp* encontrado foi **-0,499983866**, o estado **F** ficou com pertinência de **0,5556**, e os estados adjacentes **QF-⊥** e **QF-T** com pertinência de **0,4000**. Esses dados podem ser vistos na tabela 41.

Tabela 41 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 (*único*) para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

<i>mi_no1</i>	<i>la_no1</i>	G_c	G_{ct}	QF-⊥	QF-T	F	<i>crisp_no1</i>
0,0800	0,9200	-0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866

Para essa situação, o resultado do **Nó 1 (*único*)** foi **2**, ou seja, indicou-se **condição normal** de funcionamento da ligação protocolar no quesito taxa e erro.

b) Ensaio 2 (E2) (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) – Operação com instabilidade

- **Nó 1:** taxa med. 1 = $t_1 = 1000$ msg, erro med. 1 = $e_1 = 7$, taxa med. 2 = $t_2 = 990$ msg, erro 2 = $e_2 = 7$.

Houve divergências nas informações de duas fontes de medições diferentes

para o ensaio 2 (**E2**), conforme a figura 55. Foram obtidos os valores de grau de evidência favorável **mi_no1** igual a **0,5331** e grau de evidência desfavorável **la_no1** igual a **0,4669**. Os valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} foram **+0,0662** e **0,0000**, respectivamente.

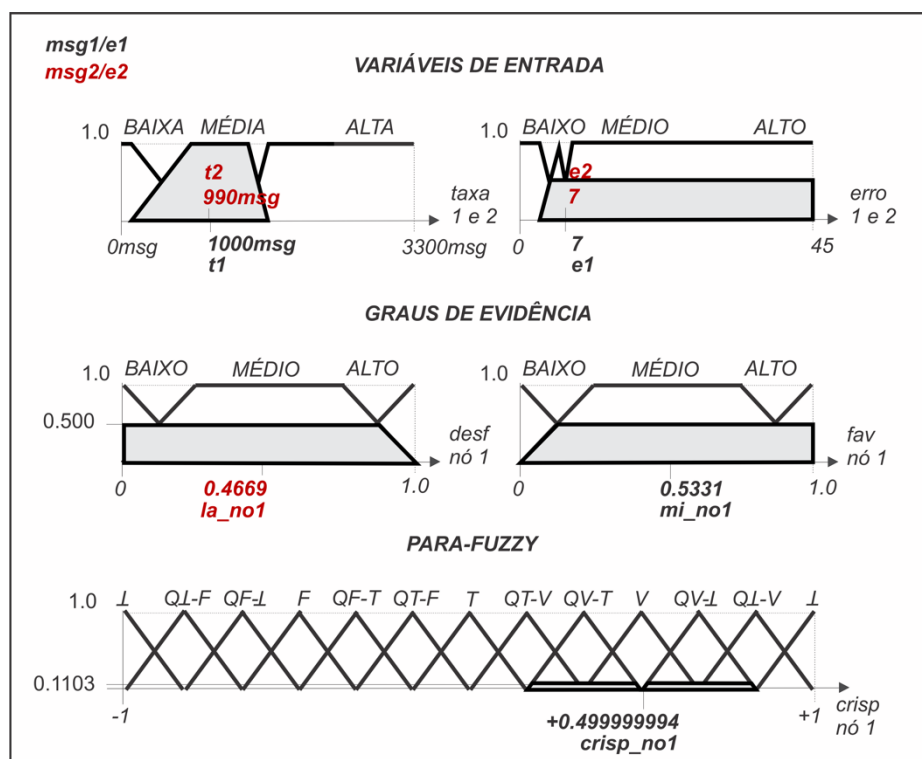


Figura 55 – Saída crisp_no1 e pertinências Fuzzy para $G_c = +0,0662$ e $G_{ct} = 0$ para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

O valor de *crisp* encontrado foi **0,499999994** e os estados **QV-⊥** e **QV-T** ficaram com pertinência de **0,1103**. Esses dados podem ser vistos na tabela 42.

Tabela 42 – Principais parâmetros de análise Para-Fuzzy do Nó 1 (único) para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

mi_no1	la_no1	G_c	G_{ct}	QV-⊥	QV-T	crisp_no1
0,5331	0,4669	0,0662	0,0000	0,1103	0,1103	+0,499999994

Para essa situação, o resultado do **Nó 1 (único)** foi 3, ou seja, indicou-se **condição de instabilidade** para funcionamento da ligação protocolar no quesito taxa e erro.

c) Ensaio 3 (E3) (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) – Operação com falha

- **Nó 1:** taxa med. 1 = t1 = 31 msg, erro med. 1 = e1 = 0, taxa med. 2 = t2 = 30 msg,

erro med. 2 = $e_2 = 0$.

Houve divergências nas informações de duas fontes de medições diferentes para o ensaio 3 (**E3**), conforme a figura 56. Foram obtidos os valores de grau de evidência favorável **mi_no1** igual a **0,9200**, e grau de evidência desfavorável **la_no1** igual a **0,0800**. Os valores de grau de certeza G_c e grau de contradição G_{ct} foram **+0,8400** e **0,0000**, respectivamente.

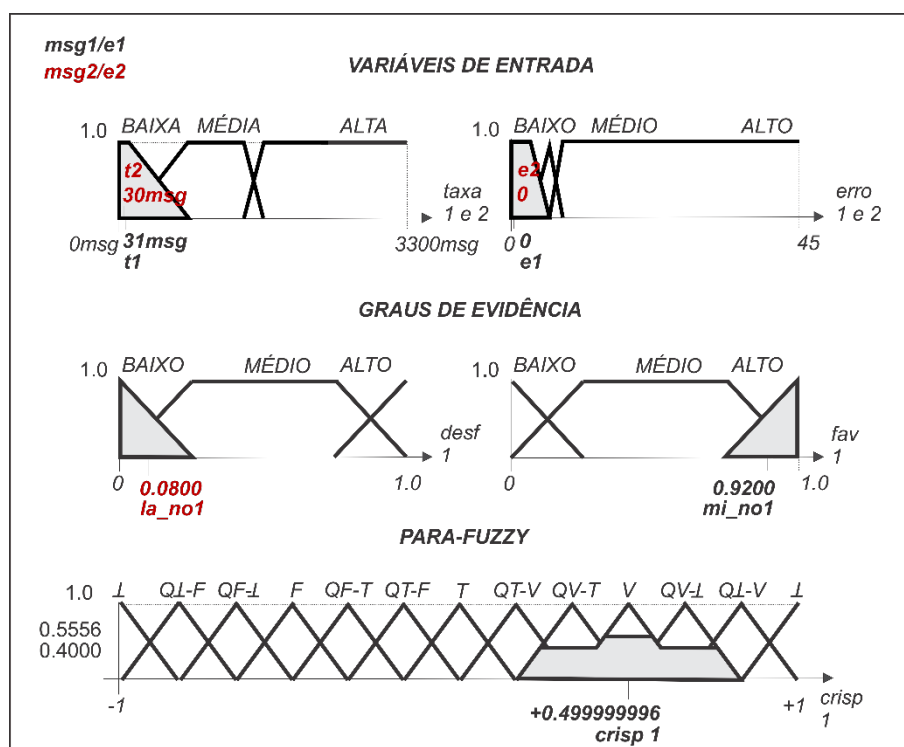


Figura 56 – Saída *crisp_no1* e pertinências *Fuzzy* para $G_c = +0,8400$ e $G_{ct} = 0$ para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

O valor de *crisp* encontrado foi **0,499999996**, os estados **QV-1** e **QV-T** ficaram com pertinência de **0,4000** e o estado **V**, com pertinência de **0,5556**. Esses dados podem ser vistos na tabela 43.

Tabela 43 – Principais parâmetros de análise *Para-Fuzzy* do Nó 1 (*único*) para ligação protocolar 1 da UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

mi_no1	la_no1	G_c	G_{ct}	QV-1	QV-T	V	crisp_no1
0,9200	0,0800	0,8400	0	0,4000	0,4000	0,5556	+0,499999996

Para essa situação, o resultado do **Nó 1 (*único*)** foi **1**, ou seja, indicou-se **condição de falha** para funcionamento da ligação protocolar no quesito taxa e erro.

Resultados adicionais podem ser encontrados no **Apêndice B**.

3.2 Resultados dos *softwares* CLP500 PARA-FUZZY e SCADA-Scatex

São apresentados os resultados provenientes dos *softwares* CLP500 e Scatex para os subsistemas especialistas organizados da seguinte forma:

- **Para Subsistema Especialista de Servidor Scatex:** realizados três ensaios, demonstrando os resultados do subsistema especialista do servidor Scatex para situações de **falha, normalidade e instabilidade**.
- **Para Subsistema Especialista de Roteador 1 de Usina 1:** realizados três ensaios, demonstrando os resultados do subsistema especialista do roteador 1 da Usina 1 para situações de **falha, normalidade e instabilidade**.
- **Para Subsistema Especialista de UAC 1 de Usina 1:** realizados três ensaios, demonstrando os resultados do subsistema especialista da ligação protocolar da UAC 1 da Usina 1 para situações de **falha, normalidade e instabilidade**.

Ainda são apresentadas as telas (*sinóticos*) criadas no *software* Scatex como resultado de interface gráfica para a equipe de operação e manutenção do sistema proposto no item 2.2.

3.2.1 Lista de variáveis e telas específicas

a) Ensaio 1 – Servidor Scatex (REDE=B, IP=.158)

- Operação normal: **E1(Proc. Med. 1 (1%), Mem. Med. 1 (20%), Proc. Med. 2 (0,8%), Mem. Med. 2 (22%), Alloc. Arq. Med. 1 (60%), Alloc. Arq. Med. 2 (60%))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 1 – E1):**

Tabela 44 – Informações coletadas por dois canais SNMP do servidor Scatex - Ensaio 1

Tag	Nível Hierárquico 1	Descrição da Entidade	Valor CLP500	Valor Scatex
COAXSCSVS1P1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – PROC. 1	1	1
COAXSCSVS1P2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – PROC. 2	0,8	0,8
COAXSCSVS1M1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – MEM. 1	20	20
COAXSCSVS1M2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – MEM. 2	22	22

COAXSCSVS1AL1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – ALOC. ARQ. 1	60	60
COAXSCSVS1AL2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – ALOC. ARQ. 2	60	60

As informações tratadas coletadas por dois canais SNMP de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* são mostradas na lista da tabela 44. O software CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme as listas das tabelas 45 e 46, e variável **COAXSCSVS1CR** (tabela 47).

Para o **Nó 1**, as informações do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 45.

Tabela 45 – Lista de variáveis do Nó 1 do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 1

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1N1CT1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CONT. 1	2,23517E-08	2,23517E-08
COAXSCSVS1N1CE1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CERTEZA 1	-0,833333	-0,833333
COAXSCSVS1N1EP9	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 9	0	0
COAXSCSVS1N1EP8	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 8	0	0
COAXSCSVS1N1EP7	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 7	0	0
COAXSCSVS1N1EP6	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 6	0	0
COAXSCSVS1N1EP5	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 5	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N1EP4	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 4	0,555556	0,555556
COAXSCSVS1N1EP3	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 3	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N1EP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 2	0	0
COAXSCSVS1N1EP13	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 13	0	0
COAXSCSVS1N1EP12	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 12	0	0
COAXSCSVS1N1EP11	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 11	0	0
COAXSCSVS1N1EP10	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 10	0	0
COAXSCSVS1N1EP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 1	0	0
COAXSCSVS1N1CP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – CRISP 1	-0,499982	-0,499982
COAXSCSVS1N1C1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. 1	2	2

Para o **Nó 2**, as informações do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 46.

Tabela 46 – Lista de variáveis do Nó 2 do *print view* e do *print preview* do CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 1

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1N2CT2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CONT. 2	2,23517E-08	2,23517E-08
COAXSCSVS1N2CE2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CERTEZA 2	-0,833333	-0,833333
COAXSCSVS1N2EP9	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 9	0	0
COAXSCSVS1N2EP8	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 8	0	0
COAXSCSVS1N2EP7	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 7	0	0

COAXSCSVS1N2EP6	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 6	0	0
COAXSCSVS1N2EP5	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 5	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N2EP4	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 4	0,555556	0,555556
COAXSCSVS1N2EP3	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 3	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N2EP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 2	0	0
COAXSCSVS1N2EP13	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 13	0	0
COAXSCSVS1N2EP12	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 12	0	0
COAXSCSVS1N2EP11	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 11	0	0
COAXSCSVS1N2EP10	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 10	0	0
COAXSCSVS1N2EP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 1	0	0
COAXSCSVS1N2CP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – CRISP 2	-0,499982	-0,499982
COAXSCSVS1N2C2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. 2	2	2

O resultado agregado do **Nó 1** e do **Nó 2** é uma variável que se chama condição de operação resultante. Esta é o agregado das variáveis **COAXSCSVS1N1C1** e **COAXSCSVS1N2C1**. Nesse caso, seu valor foi **2**, representado pela variável **COAXSCSVS1CR**.

Tabela 47 – Condição de operação resultante para servidor Scatex – Ensaio 1

Tag	Nível Hierárquico 1	Descrição da Entidade	Valor CLP500	Valor Scatex
COAXSCSVS1CR	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. R.	2	2

Essas variáveis foram refletidas nas telas dos **Nós 1** e **2** (por IEC104), conforme mostrado nas figuras 57 e 58, a seguir (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (dos **Nós 1** e **2**), na cor **cinza**, a condição de operação normal.

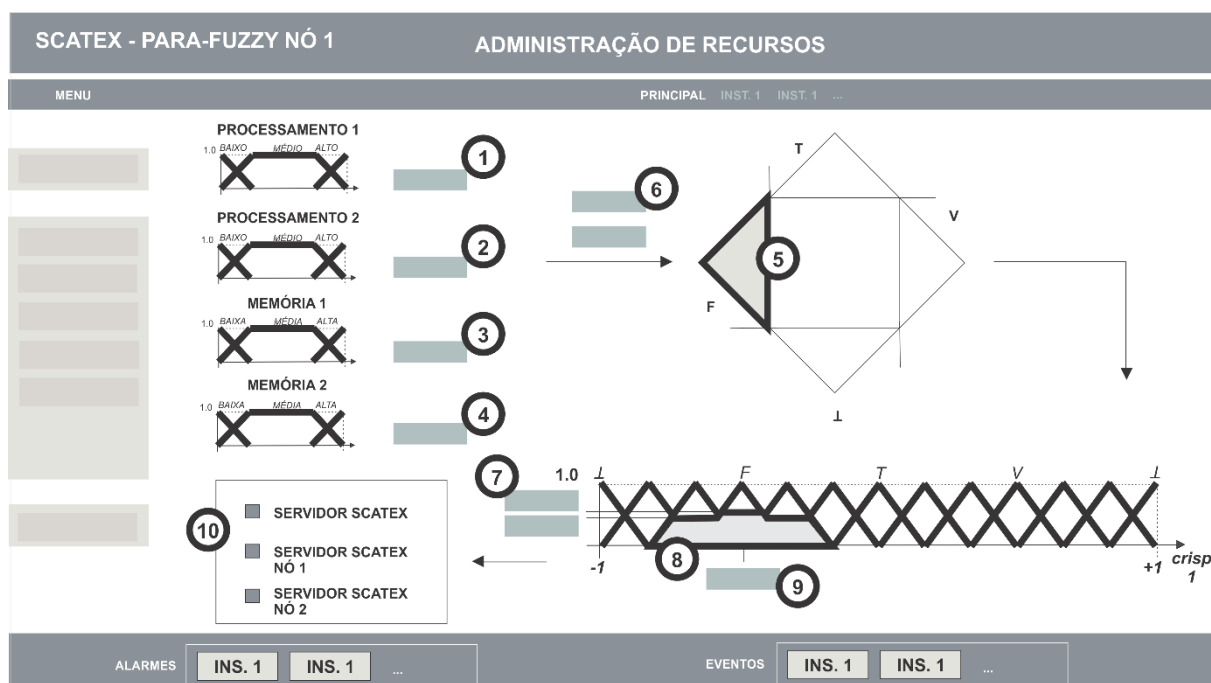


Figura 57 – Ilustração da tela Para-Fuzzy para Nó 1 no SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio

1
1- Proc. 1 = 1%, 2- Proc. 2 = 0,8%, 3- Mem. 1 = 20%, 4- Mem. 2 = 22%, 5- Estado lógico evid. F, 6- $G_c = -0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,416667$, $F = 0,555556$, 8- Estados $QF-\perp$, $QF-T$ e F , 9- Crisp = -0,499982, 10 - Condição de operação Nó 1 (normal)

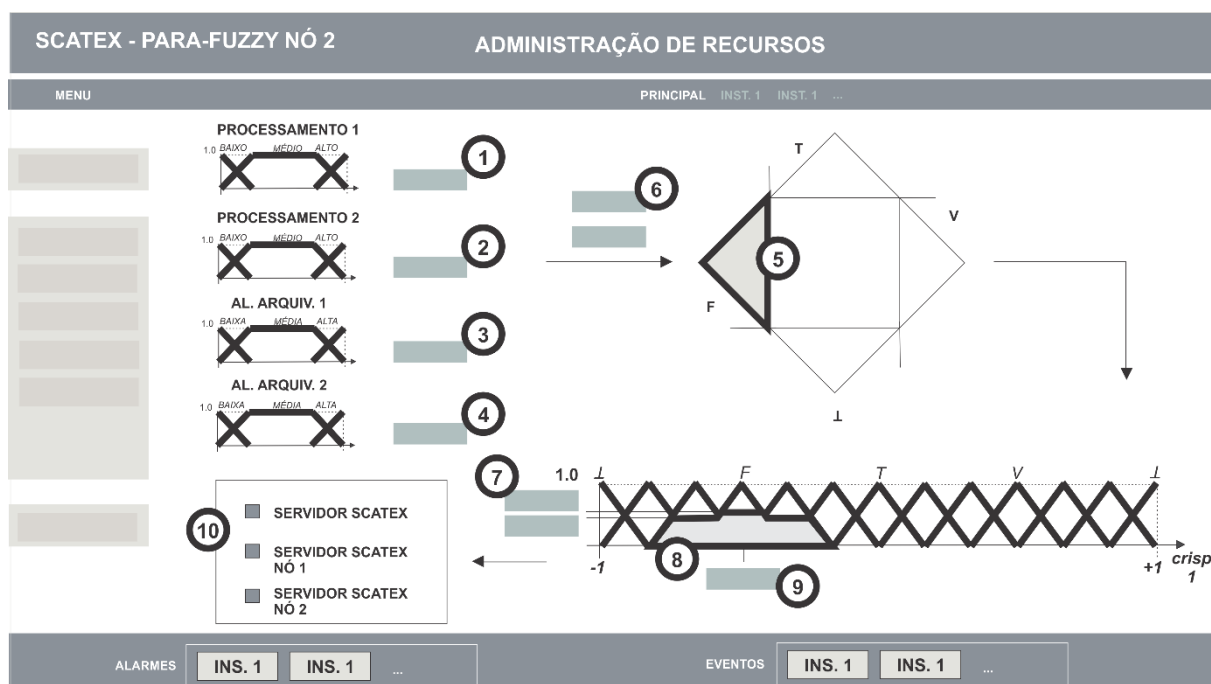


Figura 58 – Ilustração da tela Para-Fuzzy para Nó 2 no SCADA-Scatex para servidor Scatex– Ensaio

1
1- Proc. 1 = 1%, 2- Proc. 2 = 0,8%, 3- Al. Ar. 1 = 60%, 4- Al. Ar. 2 = 60%, 5- Estado lógico evid. F, 6- $G_c = -0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,416667$, $F = 0,555556$, 8- Estados $QF-\perp$, $QF-T$ e F , 9- Crisp = -0,499982, 10 - Condição de operação Nó 2 (normal)

b) Ensaio 2 – Servidor Scatex (REDE=B, IP=.158)

- Operação com instabilidade: **E2 (Proc. Med. 1 (28%), Mem. Med. 1 (85%), Proc. Med. 2 (28%), Mem. Med. 2 (85%), Alloc. Med. 1 (60%), Alloc. Med. 2 (60%))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 2 – E2):**

Tabela 48 – Informações coletadas por dois canais SNMP do servidor Scatex – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1P1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – PROC. 1	28	28
COAXSCSVS1P2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – PROC. 2	28	28
COAXSCSVS1M1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – MEM. 1	85	85
COAXSCSVS1M2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – MEM. 2	85	85
COAXSCSVS1AL1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – ALOC. ARQ. 1	60	60
COAXSCSVS1AL2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – ALOC. ARQ. 2	60	60

As informações tratadas, coletadas por dois canais SNMP de servidor

UC500/CLP500 *Para-Fuzzy*, são mostradas na lista da tabela 48. O *software* CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme as listas das tabelas 49 e 50 e a variável **COAXSCSVS1CR** (tabela 51).

Para o **Nó 1**, as informações do *print view* e do *print preview* do CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 49.

Tabela 49 – Lista de variáveis do Nó 1 do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1N1CT1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CONT. 1	-0,0419385	-0,0419385
COAXSCSVS1N1CE1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CERTEZA 1	-0,155926	-0,155926
COAXSCSVS1N1EP9	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 9	0	0
COAXSCSVS1N1EP8	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 8	0	0
COAXSCSVS1N1EP7	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 7	0	0
COAXSCSVS1N1EP6	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 6	0	0
COAXSCSVS1N1EP5	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 5	0,259877	0,259877
COAXSCSVS1N1EP4	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 4	0	0
COAXSCSVS1N1EP3	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 3	0,259877	0,259877
COAXSCSVS1N1EP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 2	0,0698974	0,0698974
COAXSCSVS1N1EP13	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 13	0	0
COAXSCSVS1N1EP12	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 12	0,0698974	0,0698974
COAXSCSVS1N1EP11	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 11	0	0
COAXSCSVS1N1EP10	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 10	0	0
COAXSCSVS1N1EP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 1	0	0
COAXSCSVS1N1CP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – CRISP 1	-0,614889	-0,614889
COAXSCSVS1N1C1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. 1	3	3

Para o **Nó 2**, as informações do *print view* e do *print preview* do CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 50.

Tabela 50 – Lista de variáveis do Nó 2 do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1N2CT2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CONT. 2	-2,9802E-08	-2,9802E-08
COAXSCSVS1N2CE2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CERTEZA 2	-0,816567	-0,816567
COAXSCSVS1N2EP9	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 9	0	0
COAXSCSVS1N2EP8	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 8	0	0
COAXSCSVS1N2EP7	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 7	0	0
COAXSCSVS1N2EP6	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 6	0	0
COAXSCSVS1N2EP5	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 5	0,458581	0,458581
COAXSCSVS1N2EP4	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 4	0,555556	0,555556

COAXSCSVS1N2EP3	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 3	0,458581	0,458581
COAXSCSVS1N2EP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 2	0	0
COAXSCSVS1N2EP13	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 13	0	0
COAXSCSVS1N2EP12	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 12	0	0
COAXSCSVS1N2EP11	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 11	0	0
COAXSCSVS1N2EP10	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 10	0	0
COAXSCSVS1N2EP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 1	0	0
COAXSCSVS1N2CP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – CRISP 2	-0,499981	-0,499981
COAXSCSVS1N2C2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. 2	2	2

O resultado agregado do **Nó 1** e do **Nó 2** é uma variável que se chama condição de operação resultante. Esta é o agregado das variáveis **COAXSCSVS1N1C1** e **COAXSCSVS1N2C2**. Nesse caso, seu valor foi **3**, representado pela variável **COAXSCSVS1CR**.

Tabela 51 – Condição de operação resultante para servidor Scatex – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1CR	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. R.	3	3

Essas variáveis foram refletidas nas telas dos **Nós 1** e **2** (por IEC104), conforme mostrado nas figuras 59 e 60, a seguir (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (dos **Nós 1** e **2**), na cor **laranja**, a condição de operação instável.

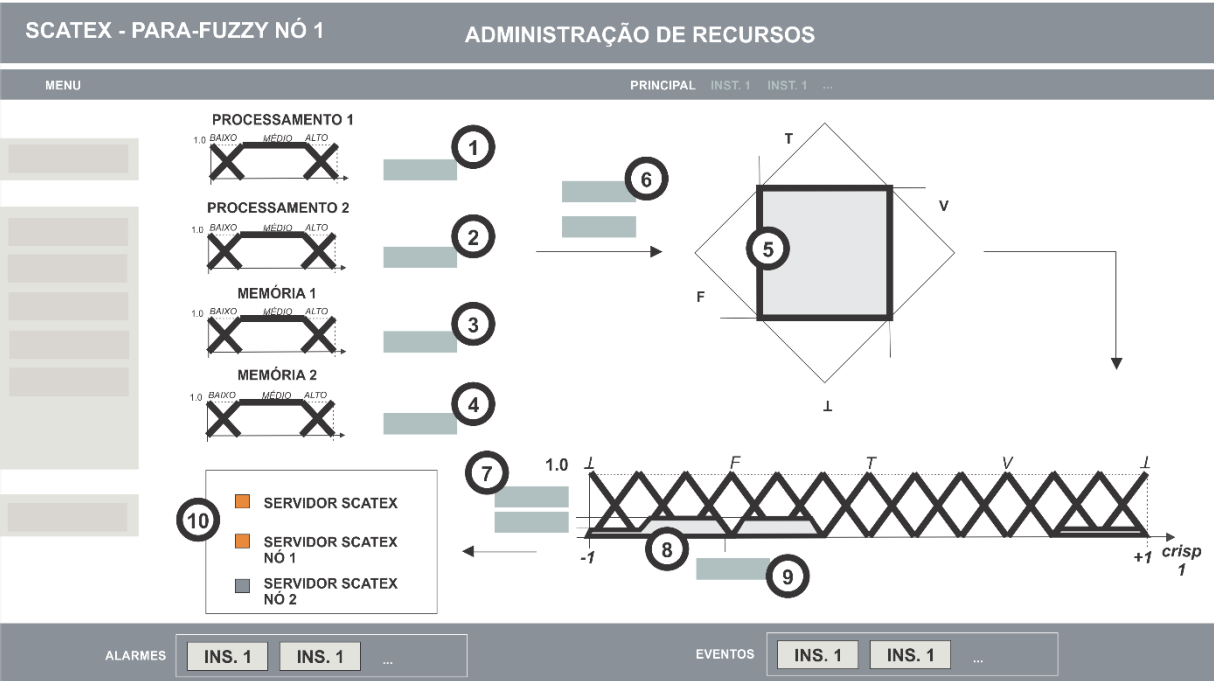


Figura 59 – Ilustração da tela Para-Fuzzy para Nó 1 no SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio

2
1- Proc. 1 = 28%, 2- Proc. 2 = 28%, 3- Mem. 1 = 85%, 4- Mem. 2 = 85%, 5- Estados lógicos evid. $QF-\perp$ e $QF-T$, 6- $G_c = -0,155926$ e $G_{ct} = -0,0419385$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,259877$, $Q\perp-F = Q\perp-V = 0,0698974$, 8 - Estados $QF-\perp$, $QF-T$, $Q\perp-F$ e $Q\perp-V$, 9- $Crisp = -0,611489$, 10 - Condição de operação Nó 1 (*instável*)

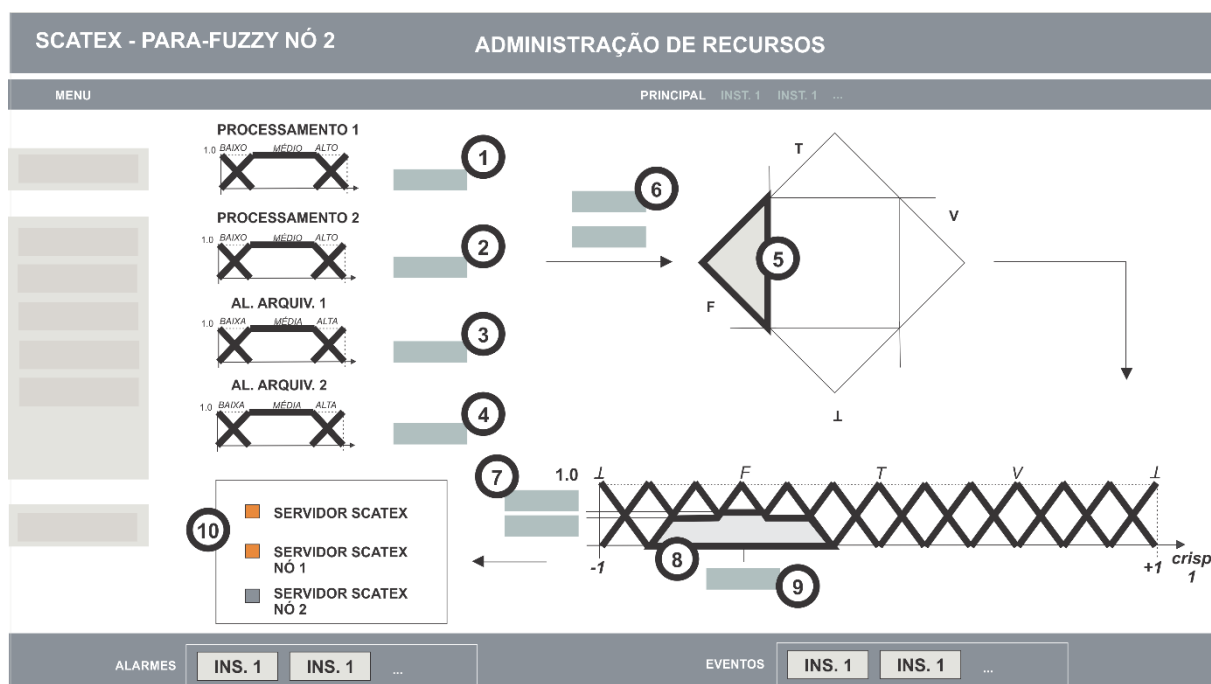


Figura 60 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 2 no SCADA-Scatex para servidor Scatex– Ensaio 2

1- Proc. 1 = 28%, 2- Proc. 2 = 28%, 3- Al. Ar. 1 = 60%, 4- Al. Ar. 2 = 60%, 5- Estado lógico evid. F , 6- $G_c = -0,816567$ e $G_{ct} = -2,9802E-08$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,458581$, $F = 0,555556$, 8- Estados $QF-\perp$, $QF-T$ e F , 9- $Crisp = -0,499981$, 10 - Condição de operação Nó 2 (*normal*)

c) Ensaio 3 – Servidor Scatex (REDE=B, IP=.158)

- Operação em falha: **E3 (Proc. Med. 1 (10%), Mem. Med. 1 (95%), Proc. Med. 2 (10%), Mem. Med. 2 (95,5%), Alloc. Med. 1 (70%), Alloc. Med. 2 (70%))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 3 – E3):**

Tabela 52 – Informações coletadas por dois canais SNMP do servidor Scatex – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1P1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – PROC. 1	10	10
COAXSCSVS1P2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – PROC. 2	10	10
COAXSCSVS1M1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – MEM. 1	95	95
COAXSCSVS1M2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – MEM. 2	95,5	95,5
COAXSCSVS1AL1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – ALOC. ARQ. 1	70	70
COAXSCSVS1AL2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – ALOC. ARQ. 2	70	70

As informações tratadas coletadas por dois canais SNMP de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* são mostradas na lista da tabela 52. O software CLP500,

após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme as listas das tabelas 53 e 54 e a variável **COAXSCSVS1CR** (tabela 55).

Para o **Nó 1**, as informações do *print view* e do *print preview* do CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex estão na tabela 53.

Tabela 53 – Lista de variáveis do Nó 1 do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1N1CT1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CONT. 1	2,23517E-08	2,23517E-08
COAXSCSVS1N1CE1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CERTEZA 1	0,833333	0,833333
COAXSCSVS1N1EP9	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 9	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N1EP8	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 8	0	0
COAXSCSVS1N1EP7	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 7	0	0
COAXSCSVS1N1EP6	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 6	0	0
COAXSCSVS1N1EP5	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 5	0	0
COAXSCSVS1N1EP4	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 4	0	0
COAXSCSVS1N1EP3	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 3	0	0
COAXSCSVS1N1EP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 2	0	0
COAXSCSVS1N1EP13	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 13	0	0
COAXSCSVS1N1EP12	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 12	0	0
COAXSCSVS1N1EP11	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 11	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N1EP10	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 10	0,555556	0,555556
COAXSCSVS1N1EP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 1	0	0
COAXSCSVS1N1CP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – CRISP 1	0,500000	0,500000
COAXSCSVS1N1C1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. 1	1	1

Para o **Nó 2**, as informações do *print view* e do *print preview* do CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex estão na tabela 54.

Tabela 54 – Lista de variáveis do Nó 2 do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1N2CT2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CONT. 2	2,23517E-08	2,23517E-08
COAXSCSVS1N2CE2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – G. DE CERTEZA 2	-0,833333	-0,833333
COAXSCSVS1N2EP9	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 9	0	0
COAXSCSVS1N2EP8	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 8	0	0
COAXSCSVS1N2EP7	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 7	0	0
COAXSCSVS1N2EP6	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 6	0	0
COAXSCSVS1N2EP5	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 5	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N2EP4	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 4	0,555556	0,555556
COAXSCSVS1N2EP3	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 3	0,416667	0,416667
COAXSCSVS1N2EP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 2	0	0
COAXSCSVS1N2EP13	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 13	0	0

COAXSCSVS1N2EP12	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 12	0	0
COAXSCSVS1N2EP11	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 11	0	0
COAXSCSVS1N2EP10	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 10	0	0
COAXSCSVS1N2EP1	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – E. PARA-FUZZY 1	0	0
COAXSCSVS1N2CP2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – CRISP 2	-0,499982	-0,499982
COAXSCSVS1N2C2	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. 2	2	2

O resultado agregado do **Nó 1** e do **Nó 2** é uma variável que se chama condição de operação resultante. Esta é o agregado das variáveis **COAXSCSVS1N1C1** e **COAXSCSVS1N2C2**. Nesse caso, seu valor foi **1**, representado pela variável **COAXSCSVS1CR**.

Tabela 55 – Condição de operação resultante para servidor Scatex – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárquico 1	Entidade	CLP500	Scatex
COAXSCSVS1CR	C. DE OPERAÇÃO	SERV. 1 S.X. – COND. OP. R.	1	1

Essas variáveis foram refletidas nas telas dos **Nós 1** e **2** (por IEC104), conforme mostrado nas figuras 61 e 62, a seguir (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (dos **Nós 1** e **2**), na cor **vermelha**, a condição de operação em falha.

Nos ensaios, não foram apresentadas condições de contradição elevada. Porém, caso se tenha por algum motivo a situação de indeterminação ou inconsistência, os quadrados de sinalização correspondentes (do item 10) ficarão com fundo **preto**.

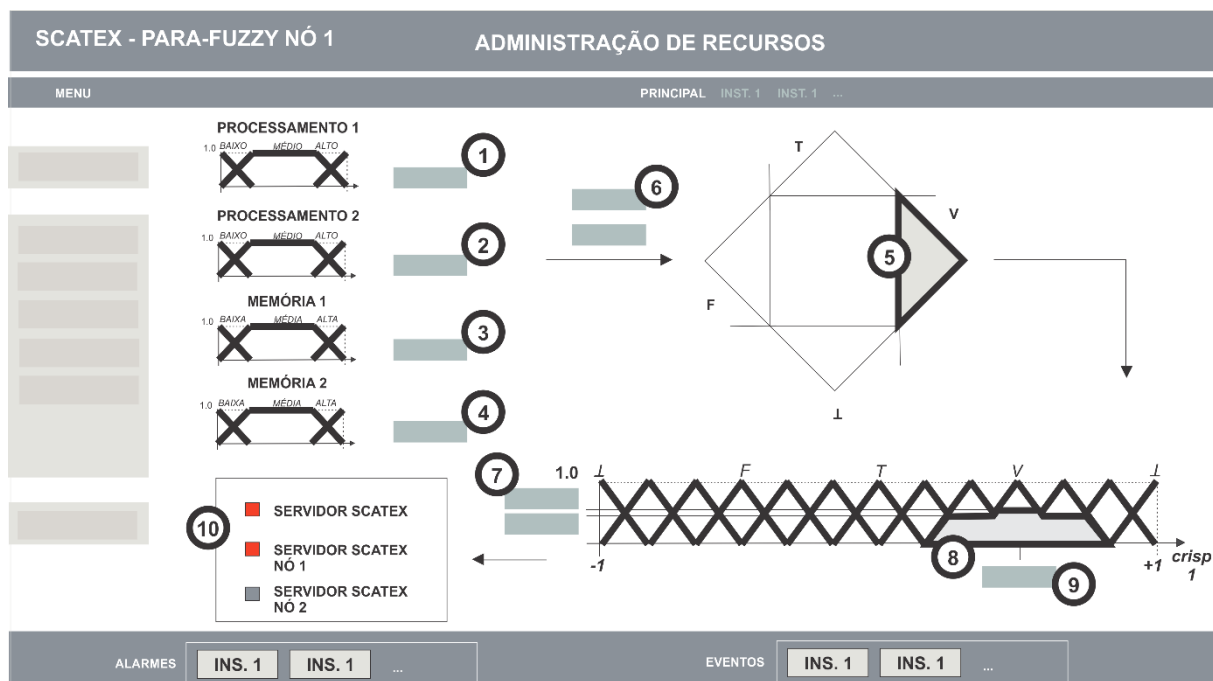


Figura 61 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para servidor Scatex – Ensaio 3

1- *Proc. 1* = 10%, 2- *Proc. 2* = 10%, 3- *Mem. 1* = 95%, 4- *Mem. 2* = 95,5%, 5- Estado lógico evid. V, 6- $G_c = 0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QV-T = QV-\perp = 0,416667$, $V = 0,555556$, 8- Estados $QV-T$, $QV-\perp = e V$, 9- *Crisp* = 0,50000, 10 - Condição de operação Nó 1 (*falha*)

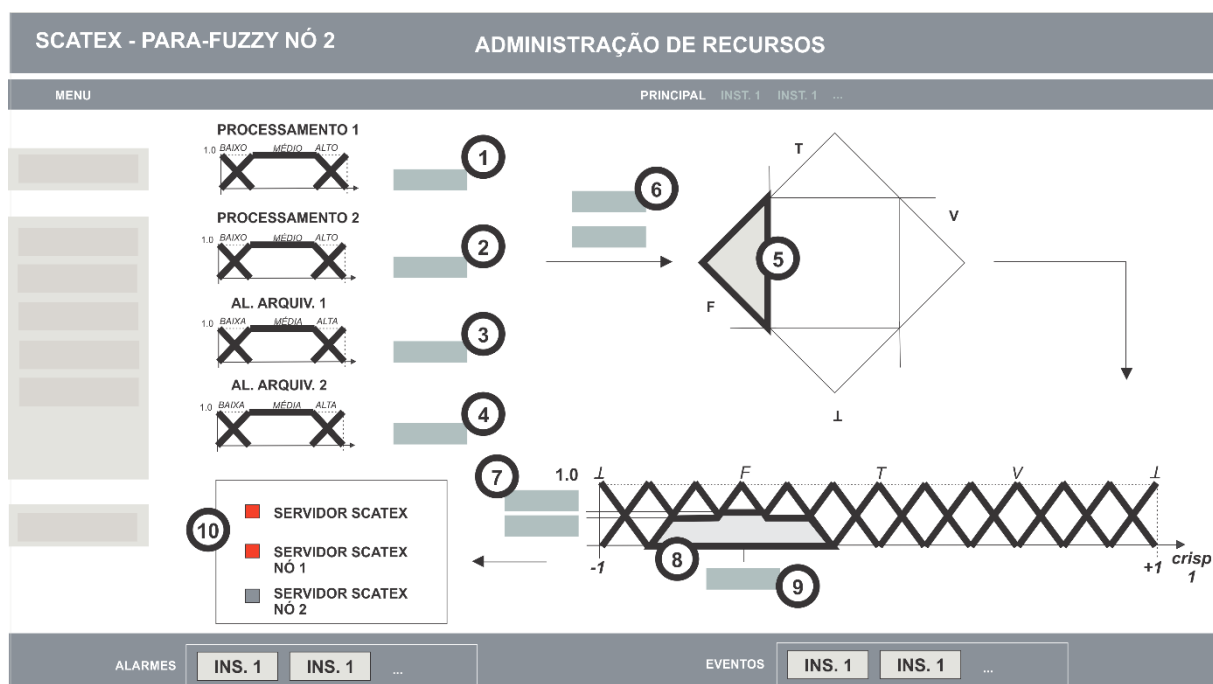


Figura 62 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 2 no SCADA-Scatex para servidor Scatex– Ensaio 3

1- *Proc. 1* = 10%, 2- *Proc. 2* = 10%, 3- *Al. Ar. 1* = 70%, 4- *Al. Ar. 2* = 70%, 5- Estado lógico evid. F, 6- $G_c = -0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,416667$, $F = 0,555556$, 8- Estados $QF-\perp$, $QF-T$ e F , 9- *Crisp* = -0,499982, 10 - Condição de operação Nó 2 (*normal*)

d) Ensaio 1 (*interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1*)
(ROTEADOR = 1, INTERFACE SAÍDA = 3)

- Operação normal: **E1(Taxa Med. 1 (900k), Erro Med. 1 (1), Taxa Med. 2 (1110k), Erro Med. 2 (0))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 1 – E1):**

Tabela 56 – Informações coletadas por dois canais SNMP com roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

Tag	Nível Hierárq. 1	Descrição da Entidade	Valor CLP500	Valor Scatex
U1AXSCR1I3T1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – TAXA 1	900	900
U1AXSCR1I3T2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – TAXA 2	1110	1110
U1AXSCR1I3E1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – ERRO 1	1	1
U1AXSCR1I3E2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – ERRO 2	0	0

As informações tratadas, coletadas por dois canais SNMP de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy*, são mostradas na lista da tabela 56. O *software* CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme a lista da tabela 57.

Para o **Nó 1 (único)**, as informações do *print view* e *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 57.

Tabela 57 – Lista de variáveis do Nó 1 (único) do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

Tag	Nível Hierárq. 1	Descrição da Entidade	Valor CLP500	Valor Scatex
U1AXSCR1I3N1CT1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – G. DE CONT. 1	2,23517E-08	2,23517E-08
U1AXSCR1I3N1CE1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – G. DE CERTEZA 1	-0,833333	-0,833333
U1AXSCR1I3N1EP9	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 9	0	0
U1AXSCR1I3N1EP8	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 8	0	0
U1AXSCR1I3N1EP7	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 7	0	0
U1AXSCR1I3N1EP6	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 6	0	0
U1AXSCR1I3N1EP5	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 5	0,416667	0,416667
U1AXSCR1I3N1EP4	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 4	0,555556	0,555556
U1AXSCR1I3N1EP3	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 3	0,416667	0,416667
U1AXSCR1I3N1EP2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 2	0	0
U1AXSCR1I3N1EP13	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 13	0	0
U1AXSCR1I3N1EP12	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 12	0	0
U1AXSCR1I3N1EP11	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 11	0	0
U1AXSCR1I3N1EP10	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 10	0	0
U1AXSCR1I3N1EP1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 1	0	0
U1AXSCR1I3N1CP1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – CRISP 1	-0,499982	-0,499982
U1AXSCR1I3N1C1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – COND. OP. 1	2	2

O resultado da condição de operação é apresentado pela variável **U1AXSCR1I3N1C1** com o valor **2**, que indica operação normal.

As variáveis são refletidas na tela do **Nó 1 (único)** (por IEC104), conforme mostrado na figura 63 (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (do **Nó 1 (único)**), na cor **cinza**, a condição de operação normal.

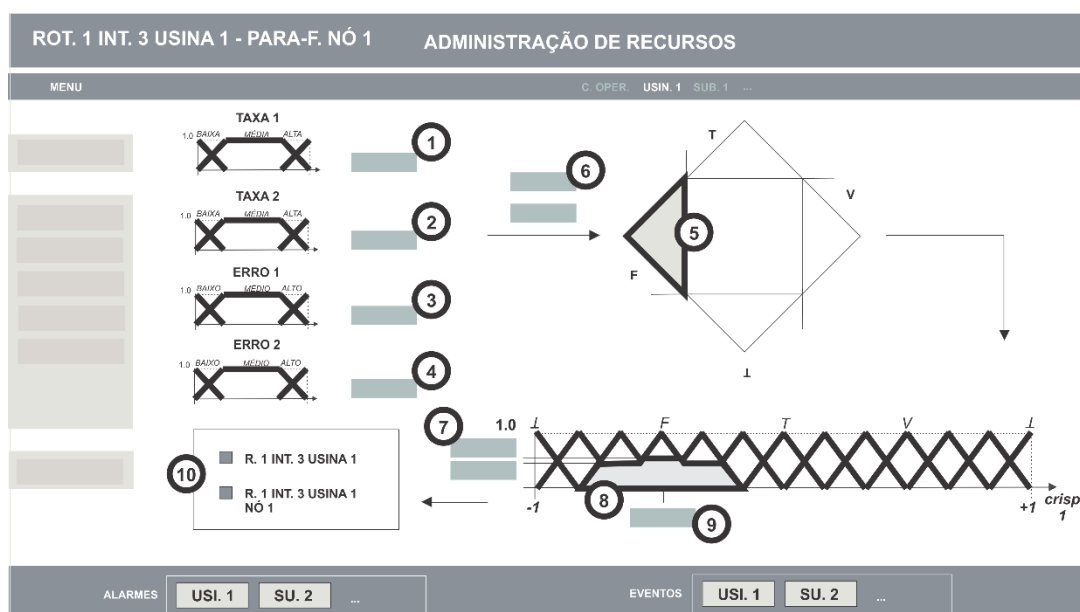


Figura 63 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para rot. 1 int. 3 da Usina 1 – Ensaio 1

1- *Tax. 1*=900k, 2- *Tax. 2* = 1110k, 3- *Erro 1* = 1oct, 4- *Erro 2* = 0oct, 5- Estado lógico evid. *F*, 6 - $G_c = -0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,416667$, $F = 0,555556$, 8 - Estados $QF-\perp$, $QF-T$ e F , 9- *Crisp* = -0,499982, 10 - Condição de operação Nó 1 (*normal*)

e) Ensaio 2 (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=3)

- Operação com instabilidade: **E2(Taxa Med. 1 (1300k), Erro Med. 1 (9), Taxa Med. 2 (1300k), Erro Med. 2 (9))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 2 – E2):**

Tabela 58 – Informações coletadas por dois canais SNMP com roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

Tag	Nível Hierárq. 1	Descrição da Entidade	Valor CLP500	Valor Scatex
U1AXSCR1I3T1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – TAXA 1	1300	1300
U1AXSCR1I3T2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – TAXA 2	1300	1300
U1AXSCR1I3E1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – ERRO 1	9	9
U1AXSCR1I3E2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – ERRO 2	9	9

As informações tratadas coletadas por dois canais SNMP de servidor

UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* são mostradas na lista da tabela 58. O *software* CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme a lista da tabela 59.

Para o **Nó 1 (único)**, as informações do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 59.

Tabela 59 – Lista de variáveis do Nó 1 (único) do *print view* e do *print preview* do CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCR1I3N1CT1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – G. DE CONT. 1	-0,0386752	-0,0386752
U1AXSCR1I3N1CE1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – G. DE CERTEZA 1	-0,236325	-0,236325
U1AXSCR1I3N1EP9	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 9	0	0
U1AXSCR1I3N1EP8	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 8	0	0
U1AXSCR1I3N1EP7	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 7	0	0
U1AXSCR1I3N1EP6	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 6	0	0
U1AXSCR1I3N1EP5	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 5	0,393875	0,393875
U1AXSCR1I3N1EP4	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 4	0	0
U1AXSCR1I3N1EP3	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 3	0,393875	0,393875
U1AXSCR1I3N1EP2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 2	0,0644588	0,0644588
U1AXSCR1I3N1EP13	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 13	0	0
U1AXSCR1I3N1EP12	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 12	0,0303894	0,0303894
U1AXSCR1I3N1EP11	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 11	0	0
U1AXSCR1I3N1EP10	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 10	0	0
U1AXSCR1I3N1EP1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 1	0	0
U1AXSCR1I3N1CP1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – CRISP 1	-0,556207	-0,556207
U1AXSCR1I3N1C1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – COND. OP. 1	3	3

O resultado da condição de operação é apresentado na variável **U1AXSCR1I3N1C1** com o valor **3**, que indica operação com instabilidade.

As variáveis são refletidas na tela do nó (por IEC104), conforme mostrado na figura 64 (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (do **Nó 1 (único)**), na cor **laranja**, a condição de operação instável.

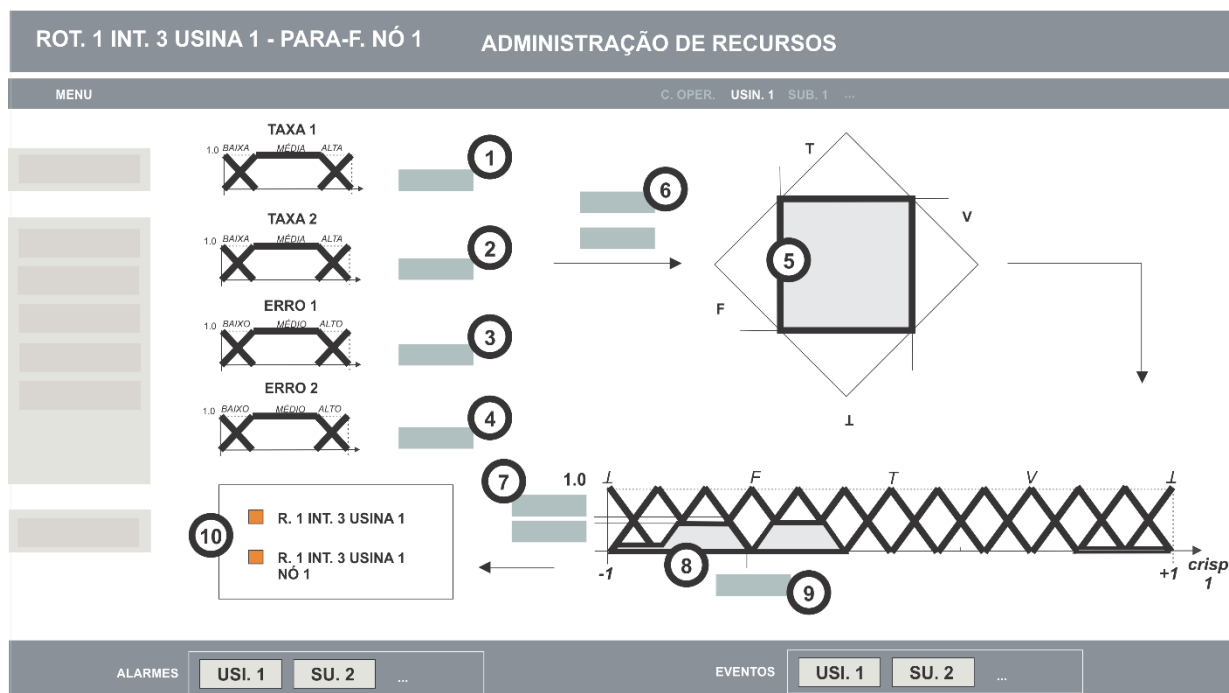


Figura 64 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para rot. 1 int. 3 da Usina 1 – Ensaio 2

1- *Tax. 1* = 1300k, 2- *Tax. 2* = 1300k, 3- *Erro 1* = 9oct, 4- *Erro 2* = 9oct, 5- Estado lógico evid. $QF-\perp$ e $QF-T$, 6- $G_c = -0,236325$ e $G_{ct} = -0,0386752$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,393875$, $Q\perp-F = 0,0644588$, $Q\perp-V = 0,0303894$, 8 - Estados $QF-\perp$, $QF-T$, $Q\perp-F$ e $Q\perp-V$, 9- *Crisp* = -0,556207, 10 - Condição de operação Nó 1 (*instável*)

f) Ensaio 3 (*interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1*)
(*ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=3*)

- Operação com falha: **E3**(*Taxa Med. 1 (0k), Erro Med. 1 (0), Taxa Med. 2 (0k), Erro Med. 2 (0)*)
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 3 – E3):**

Tabela 60 – Informações coletadas por dois canais SNMP com roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCR1I3T1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – TAXA 1	0	0
U1AXSCR1I3T2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – TAXA 2	0	0
U1AXSCR1I3E1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – ERRO 1	0	0
U1AXSCR1I3E2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – ERRO 2	0	0

As informações tratadas, coletadas por dois canais SNMP de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy*, são mostradas na lista da tabela 60. O software CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme a lista da tabela 61.

Para o **Nó 1 (único)**, as informações do **print view** e do **print preview** do

UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 61.

Tabela 61 – Lista de variáveis do Nó 1 do *print view* e do *print preview* do CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCR1I3N1CT1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – G. DE CONT. 1	2,23517E-08	2,23517E-08
U1AXSCR1I3N1CE1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – G. DE CERTEZA 1	0,833333	0,833333
U1AXSCR1I3N1EP9	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 9	0,416667	0,416667
U1AXSCR1I3N1EP8	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 8	0	0
U1AXSCR1I3N1EP7	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 7	0	0
U1AXSCR1I3N1EP6	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 6	0	0
U1AXSCR1I3N1EP5	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 5	0	0
U1AXSCR1I3N1EP4	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 4	0	0
U1AXSCR1I3N1EP3	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 3	0	0
U1AXSCR1I3N1EP2	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 2	0	0
U1AXSCR1I3N1EP13	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 13	0	0
U1AXSCR1I3N1EP12	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 12	0	0
U1AXSCR1I3N1EP11	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 11	0,416667	0,416667
U1AXSCR1I3N1EP10	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 10	0,555556	0,555556
U1AXSCR1I3N1EP1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – E. PARA-FUZZY 1	0	0
U1AXSCR1I3N1CP1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – CRISP 1	0,5	0,5
U1AXSCR1I3N1C1	USINA 1	U. 1 ROT. 1 I. 3 – COND. OP. 1	1	1

O resultado da condição de operação é apresentado na variável **U1AXSCR1I3N1C1** com o valor **1**, que indica operação **em falha**.

As variáveis são refletidas na tela do nó (por IEC104), conforme mostrado na figura 65, a seguir (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (do **Nó 1 (único)**), na cor **vermelha**, a condição de operação em falha.

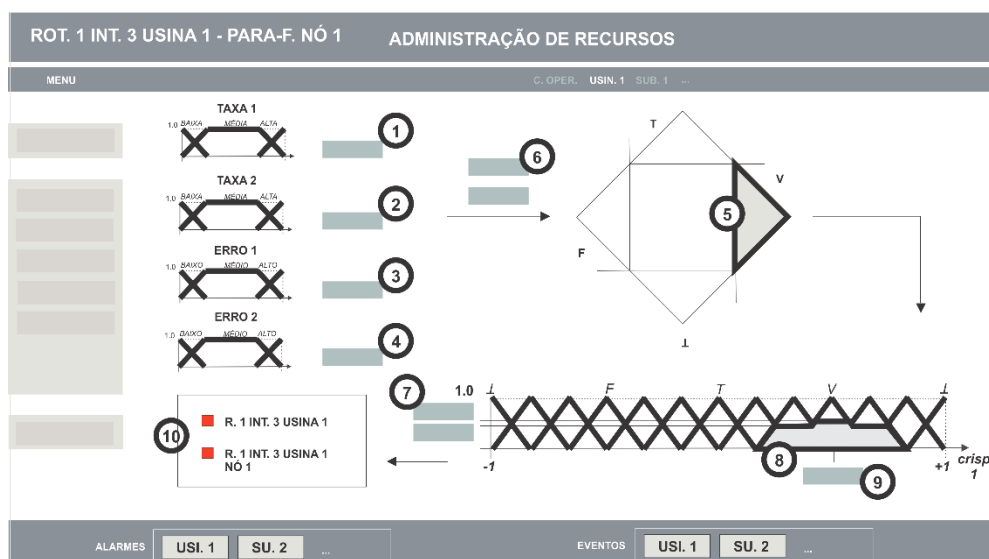


Figura 65 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para rot. 1 int. 3 da Usina 1 – Ensaio 3

1- *Tax. 1* = 0k, 2- *Tax. 2* = 0k, 3- *Erro 1* = 0oct, 4- *Erro 2* = 0oct, 5- Estado lógico evid. *V*,
6- $G_c = 0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QV-\perp = QV-T = 0,416667$, $V = 0,555556$, 8 - Estados $QV-\perp$,
 $QV-T$ e V , 9- *Crisp* = 0,5, 10 - Condição de operação Nó 1 (*falha*)

Nos ensaios não foram apresentadas condições de contradição elevada. Porém, caso se tenha por algum motivo a situação de indeterminação ou inconsistência, os quadrados de sinalização correspondentes (do item 10) ficarão com fundo **preto**.

g) Ensaio 1 (*ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1*) (*REDE=G, IP=.10*)

- Operação normal: **E1(Taxa Med. 1 (1000), Erro Med. 1 (0), Taxa Med. 2 (990), Erro Med. 2 (0))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 1 – E1):**

Tabela 62 – Informações coletadas por um canal IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 1

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCU1L1T1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – TAXA 1	1000	1000
U1AXSCU1L1T2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – TAXA 2	990	990
U1AXSCU1L1E1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – ERRO 1	0	0
U1AXSCU1L1E2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – ERRO 2	0	0

As informações tratadas coletadas por um canal IEC104 de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* são mostradas na lista da tabela 62. O *software* CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os

resultados conforme a lista da tabela 63.

Para o **Nó 1 (único)**, as informações do **print view** e do **print preview** do UC500/CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex estão na tabela 63.

Tabela 63 – Lista de variáveis do Nó 1 (único) do “print view” e “print preview” do UC500/CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex para ligação protocolar 1 com UAC 1 da usina Genérica 1 – Ensaio 1

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCU1L1N1CT1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – G. DE CONT. 1	2,23517E-08	2,23517E-08
U1AXSCU1L1N1CE1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – G. DE CERTEZA 1	-0,833333	-0,833333
U1AXSCU1L1N1EP9	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 9	0	0
U1AXSCU1L1N1EP8	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 8	0	0
U1AXSCU1L1N1EP7	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 7	0	0
U1AXSCU1L1N1EP6	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 6	0	0
U1AXSCU1L1N1EP5	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 5	0,416667	0,416667
U1AXSCU1L1N1EP4	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 4	0,555556	0,555556
U1AXSCU1L1N1EP3	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 3	0,416667	0,416667
U1AXSCU1L1N1EP2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 2	0	0
U1AXSCU1L1N1EP13	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 13	0	0
U1AXSCU1L1N1EP12	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 12	0	0
U1AXSCU1L1N1EP11	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 11	0	0
U1AXSCU1L1N1EP10	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 10	0	0
U1AXSCU1L1N1EP1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 1	0	0
U1AXSCU1L1N1CP1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – CRISP 1	-0,499982	-0,499982
U1AXSCU1L1N1C1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – COND. OP. 1	2	2

O resultado da condição de operação é apresentado na variável **U1AXSCU1L1N1C1** com o valor **2**, que indica operação normal.

As variáveis são refletidas na tela do nó (por IEC104), conforme mostrado na figura 66 (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (do **Nó 1 (único)**), na cor **cinza**, a condição de operação normal.

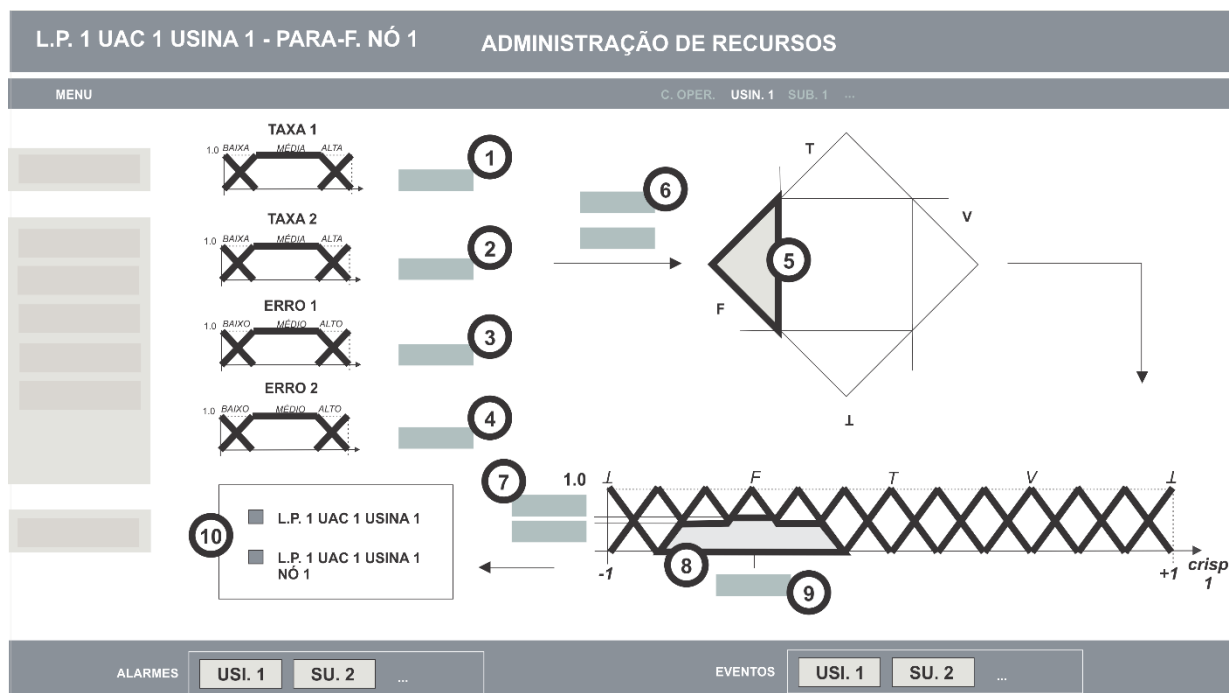


Figura 66 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para lig. prot. 1 da UAC 1 da Usina 1 – Ensaio 1

1- *Tax. 1* = 1000 msg, 2- *Tax. 2* = 990 msg, 3- *Erro 1* = 0oct, 4- *Erro 2* = 0oct, 5- Estado lógico evid. *F*, 6- $G_c = -0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QF-\perp = QF-T = 0,416667$, $F = 0,555556$, 8- Estados $QF-\perp$, $QF-T$ e F , 9- *Crisp* = -0,499982, 10- Condição de operação Nó 1 (*normal*)

h) Ensaio 2 (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) (REDE=G, IP=.10)

- Operação com instabilidade: **E2(Taxa Med. 1 (1000), Erro Med. 1 (7), Taxa Med. 2 (990), Erro Med. 2 (7))**
- **Leitura por protocolo de comunicação (ensaio 1 – E1):**

Tabela 64 – Informações coletadas por um canal IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCU1L1T1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – TAXA 1	1000	1000
U1AXSCU1L1T2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – TAXA 2	990	990
U1AXSCU1L1E1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – ERRO 1	7	7
U1AXSCU1L1E2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – ERRO 2	7	7

As informações tratadas coletadas por um canal IEC104 de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* são mostradas na lista da tabela 64. O software CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme a lista da tabela 65.

Para o **Nó 1 (único)**, as informações do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 65.

Tabela 65 – Lista de variáveis do Nó 1 (*único*) do *print view* e do *print preview* do UC500/CLP500 Para-Fuzzy e SCADA-Scatex para ligação protocolar 1 com UAC 1 da usina Genérica 1 – Ensaio 2

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCU1L1N1CT1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – G. DE CONT. 1	0,00073322	0,00073322
U1AXSCU1L1N1CE1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – G. DE CERTEZA 1	0,0649577	0,0649577
U1AXSCU1L1N1EP9	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 9	0,103074	0,103074
U1AXSCU1L1N1EP8	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 8	0,00122203	0,00122203
U1AXSCU1L1N1EP7	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 7	0	0
U1AXSCU1L1N1EP6	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 6	0,00122203	0,00122203
U1AXSCU1L1N1EP5	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 5	0	0
U1AXSCU1L1N1EP4	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 4	0	0
U1AXSCU1L1N1EP3	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 3	0	0
U1AXSCU1L1N1EP2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 2	0	0
U1AXSCU1L1N1EP13	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 13	0	0
U1AXSCU1L1N1EP12	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 12	0	0
U1AXSCU1L1N1EP11	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 11	0,103074	0,103074
U1AXSCU1L1N1EP10	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 10	0	0
U1AXSCU1L1N1EP1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 1	0	0
U1AXSCU1L1N1CP1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – CRISP 1	0,494548	0,494548
U1AXSCU1L1N1C1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – COND. OP. 1	3	3

O resultado da condição de operação é apresentado na variável **U1AXSCU1L1N1C1** com o valor **3**, que indica operação com instabilidade.

As variáveis são refletidas na tela do nó (por IEC104), conforme mostrado na figura 67 (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (do **Nó 1 (único)**), na cor **laranja**, a condição de operação instável.

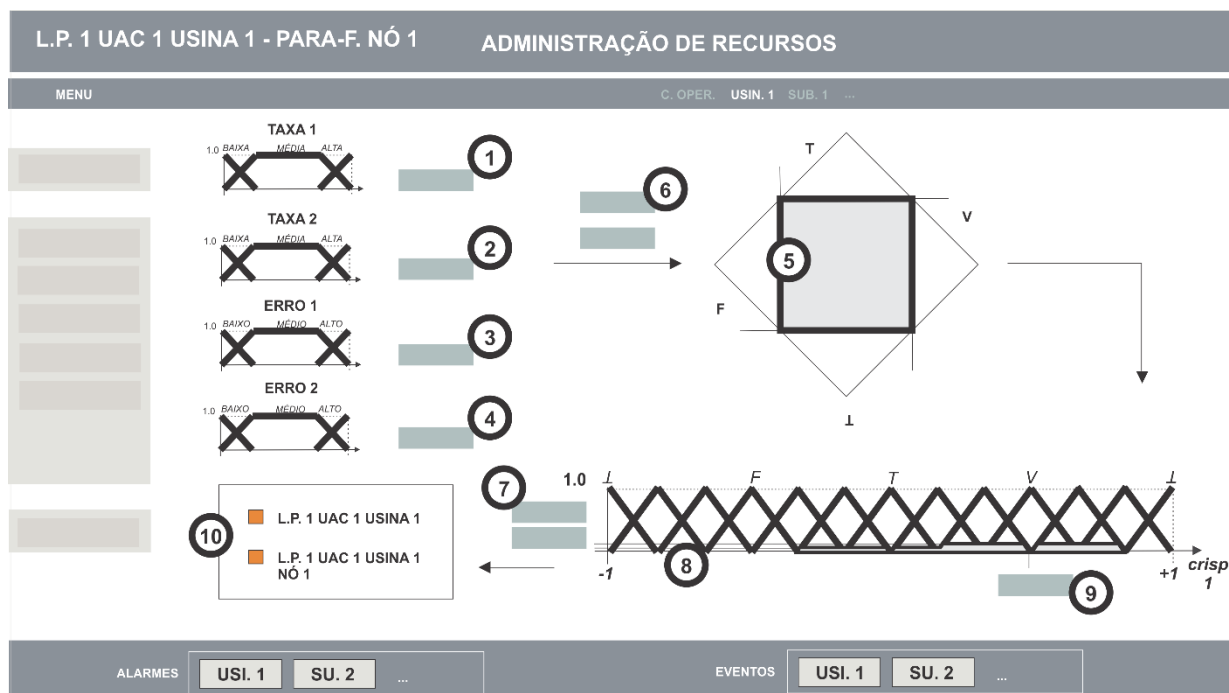


Figura 67 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para lig. prot. 1 da UAC 1 da Usina 1 – Ensaio 2

1- *Tax. 1* = 1000 msg, 2- *Tax. 2* = 990 msg, 3- *Erro 1* = 7oct, 4- *Erro 2* = 7oct, 5- Estado lógico evid. $QV-\perp = QV-T$, 6- $G_c = 0,0649577$ e $G_{ct} = 0,00073322$, 7- $QT-V = QT-F = 0,00122203$, $QV-\perp = QV-T = 0,103074$, 8- Estados $QT-V$, $QT-F$, $QV-\perp$ e $QV-T$, 9- *Crisp* = 0,494548, 10- Condição de operação Nó 1 (*instável*)

i) Ensaio 3 (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) (REDE=G, IP=.10)

- Operação com falha: **E3(Taxa Med. 1 (31), Erro Med. 1 (0), Taxa Med. 2 (30), Erro Med. 2 (0))**
- **Leitura por protocolo de comunicação:**

Tabela 66 – Informações coletadas por um canal IEC104 com UAC 1 da Usina Genérica 1 – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCU1L1T1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – TAXA 1	31	31
U1AXSCU1L1T2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – TAXA 2	30	30
U1AXSCU1L1E1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – ERRO 1	0	0
U1AXSCU1L1E2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – ERRO 2	0	0

As informações tratadas coletadas por um canal IEC104 de servidor UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* são mostradas na lista da tabela 66. O software CLP500, após realizar os cálculos correspondentes ao sistema especialista, apresentou os resultados conforme a lista da tabela 67.

Para o **Nó 1 (único)**, as informações do *print view* e do *print preview* do

UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex estão na tabela 67.

Tabela 67 – Lista de variáveis do Nó 1 do *print view* e do *print preview* do CLP500 *Para-Fuzzy* e SCADA-Scatex para ligação protocolar 1 com UAC 1 da usina Genérica 1 – Ensaio 3

Tag	Nível	Descrição da	Valor	Valor
	Hierárq. 1	Entidade	CLP500	Scatex
U1AXSCU1L1N1CT1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – G. DE CONT. 1	2,23517E-08	2,23517E-08
U1AXSCU1L1N1CE1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – G. DE CERTEZA 1	0,833333	0,833333
U1AXSCU1L1N1EP9	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 9	0,416667	0,416667
U1AXSCU1L1N1EP8	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 8	0	0
U1AXSCU1L1N1EP7	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 7	0	0
U1AXSCU1L1N1EP6	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 6	0	0
U1AXSCU1L1N1EP5	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 5	0	0
U1AXSCU1L1N1EP4	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 4	0	0
U1AXSCU1L1N1EP3	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 3	0	0
U1AXSCU1L1N1EP2	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 2	0	0
U1AXSCU1L1N1EP13	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 13	0	0
U1AXSCU1L1N1EP12	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 12	0	0
U1AXSCU1L1N1EP11	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 11	0,416667	0,416667
U1AXSCU1L1N1EP10	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 10	0,555556	0,555556
U1AXSCU1L1N1EP1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – E. PARA-FUZZY 1	0	0
U1AXSCU1L1N1CP1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – CRISP 1	0,5	0,5
U1AXSCU1L1N1C1	USINA 1	U. 1 U.A.C. 1 L.P. 1 – COND. OP. 1	1	1

O resultado da condição de operação é apresentado na variável **U1AXSCU1L1N1C1** com o valor **1**, que indica operação em falha.

As variáveis são refletidas na tela do nó (por IEC104), conforme mostrado na figura 68 (item 10). Destaca-se no quadrado de sinalização resultante (do **Nó 1 (único)**), na cor **vermelha**, a condição de operação em falha.

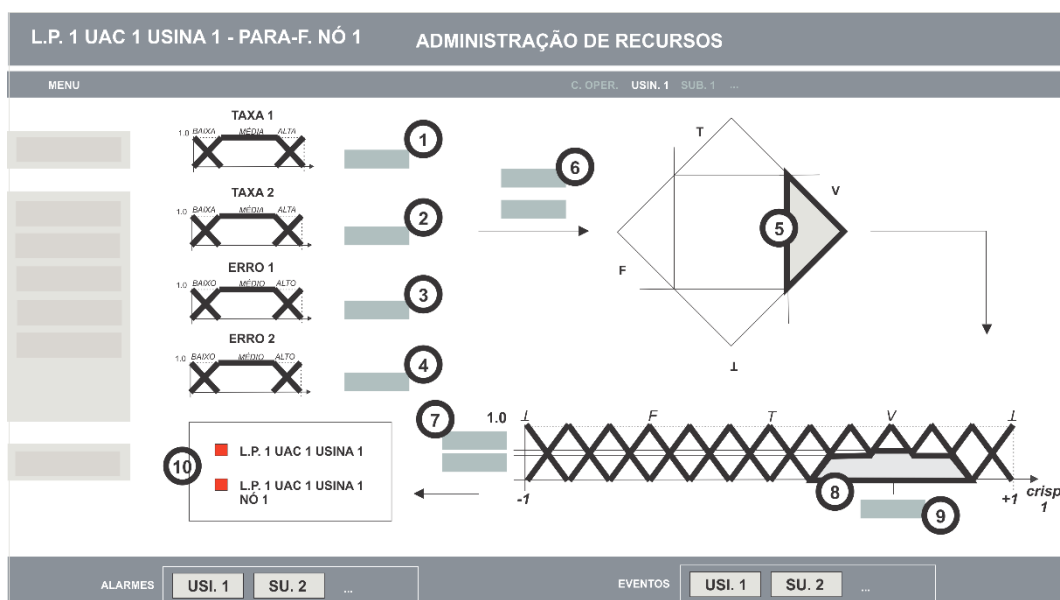


Figura 68 – Ilustração da tela *Para-Fuzzy* para Nó 1 no SCADA-Scatex para lig. prot. 1 da UAC 1 da Usina 1 – Ensaio 3

1- *Tax. 1* = 31 msg, 2- *Tax. 2* = 30 msg, 3- *Erro 1* = 0 msg, 4- *Erro 2* = 0 msg, 5- Estado lógico evid. *V*, 6- $G_c = 0,833333$ e $G_{ct} = 2,23517E-08$, 7- $QV-\perp = QV-T = 0,416667$, $V = 0,555556$, 8- Estados $QV-\perp$, $QV-T$ e V , 9- *Crisp* = 0,5, 10- Condição de operação Nó 1 (*falha*)

Nos ensaios, não foram apresentadas condições de contradição elevada. Porém, caso se tenha por algum motivo a situação de indeterminação ou inconsistência, os quadrados de sinalização correspondentes (do item 10) ficarão com fundo **preto**.

3.2.2 Telas abrangentes e telas específicas (sistema de monitoramento)

Foram realizadas telas abrangentes, que são: **Instalação – Usina Genérica 1**, **Instalação – Subestação Genérica 1** e **tela principal para Ferramenta de Monitoramento**. Também foram feitas telas específicas (exemplo nas figuras 57 e 58), que são: **Tela Específica Nó 1 (Para-Fuzzy)** e **Tela Específica Nó 2 (Para-Fuzzy)**. As sinalizações (**quadrados de sinalizações**) das telas específicas são refletidas nas telas abrangentes (ilustração nas figuras 69, 70 e 71). A hierarquia de monitoramento tem a seguinte ordem: **tela principal para Ferramenta de Monitoramento -> Instalação – Usina Genérica 1 ou Subestação Genérica 1 -> Tela Específica Nó (Para-Fuzzy)**.

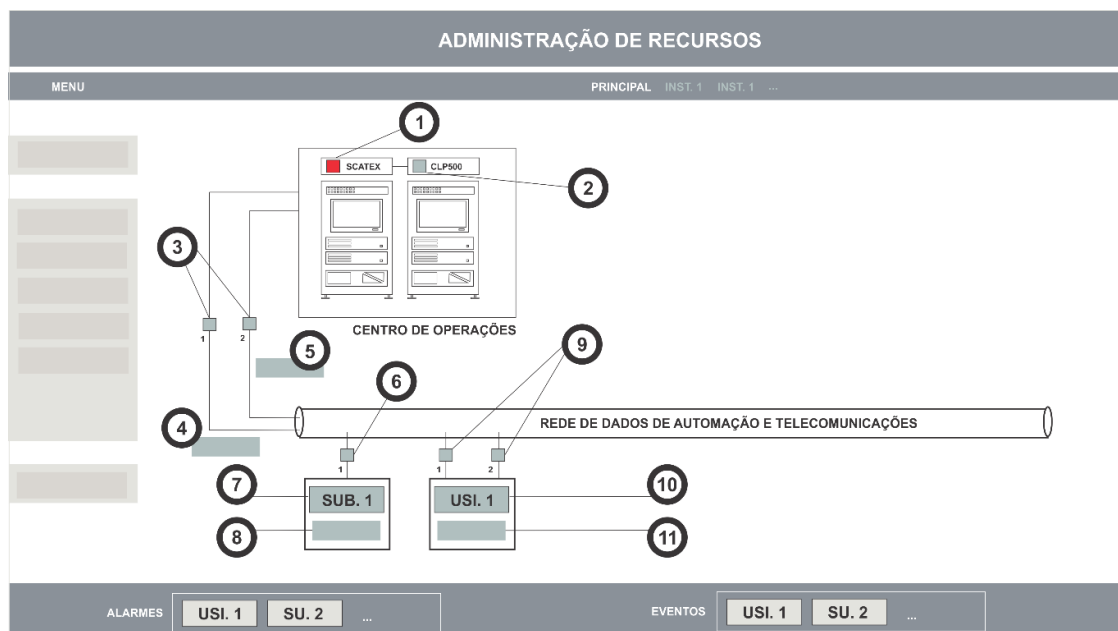


Figura 69 – Ilustração da *tela principal* no SCADA-Scatex para ferramenta de monitoramento
 1- Falha no servidor Scatex (rede=B IP=.158), 2- Falha no servidor UC500/CLP500 SCADA (rede=B IP=.122), 3- Falha nas interfaces de rede de saída (Roteador=1 e 2; Interface=1 e 2), 4 e 5- Taxas de dados (Roteador=1; Interface=1 e Roteador=2; Interface=2), 6- Falha na interface de rede de saída (Roteador=1; Interface=5), 7- Falha na ligação protocolar (UAC 1-Subest. 1), 8- Taxa de dados (Roteador=1; Interface=5), 9- Falha nas interfaces de rede de saída (Roteador=1 e 2; Interface=3 e 4), 10- Falha na ligação protocolar (UAC 1-Usina 1), 11- Soma das taxas dados (Roteador=1 e 2; Interface=3 e 4)

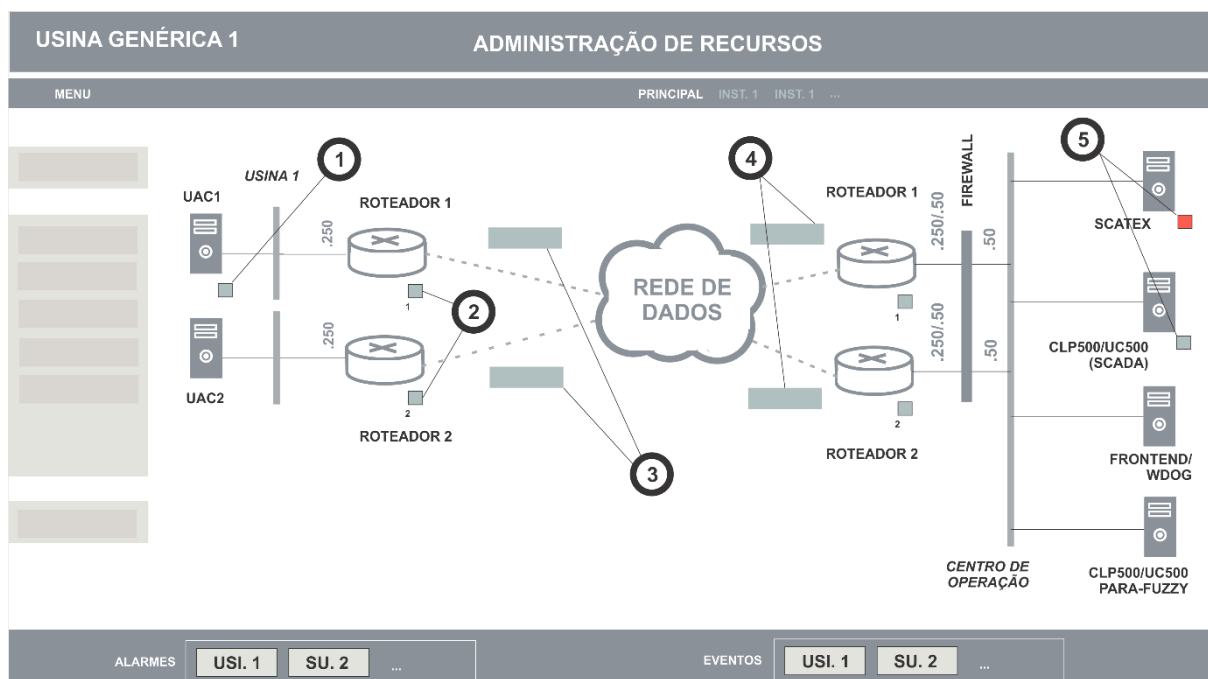


Figura 70 – Ilustração da *tela de Instalação – Usina Genérica 1* no SCADA-Scatex para ferramenta de monitoramento

1- Falha na ligação protocolar (UAC-1-Usina 1), 2- Falhas nas interfaces de rede de saída (Roteador=1 e 2; Interface=3 e 4), 3- Taxas de dados (Roteador=1; Interface=3 e Roteador=2; Interface=4), 4- Taxas de dados (Roteador=1; Interface=1 e Roteador=2; Interface=2), 5- Falhas nos servidores (Scatex e UC500/CLP500 SCADA)

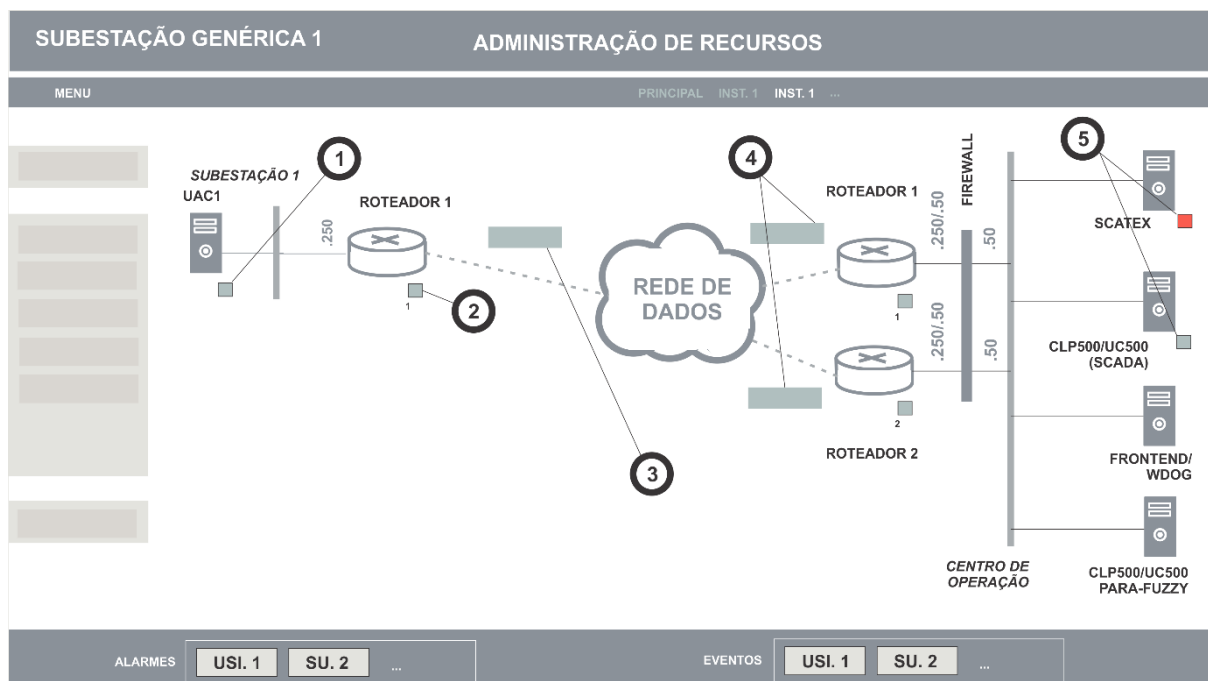


Figura 71 – Ilustração da tela de Instalação – Subestação Genérica 1 no SCADA-Scatex para ferramenta de monitoramento

- 1- Falha na ligação protocolar (UAC 1-Subest. 1), 2- Falha na interface de rede de saída (Roteador=1; Interface=5), 3- Taxa de dados (Roteador=1; Interface=5), 4- Taxas de dados (Roteador=1; Interface=1 e Roteador=2; Interface=2), 5- Falhas nos servidores (Scatex e UC500/CLP500 SCADA)

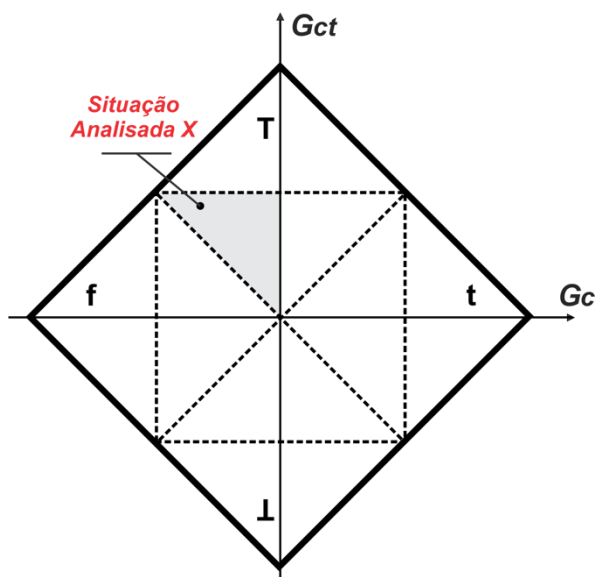


Figura 73 – Ilustração do reticulado subdividido em regiões com a projeção de uma situação analisada X

Ambos os algoritmos tratam da contradição, porém com abordagens específicas em distância **D** e presença em regiões delimitadas. O algoritmo híbrido *Para-Fuzzy* apresenta a análise dos 12 estados com a observação do estado atual e dos estados adjacentes através de funções de pertinência *Fuzzy*, e ainda traz um valor único (*crisp*) representativo do comportamento de cada situação (coordenadas G_c e G_{ct}) no reticulado, que é reflexo também das funções de pertinência *Fuzzy*. Com essa nova abordagem, pode-se ter a representação das pertinências como um campo de intensidades lógicas dos estados/regiões, com a associação de único valor (por situação) para convalidação de determinada resposta desejada, tornando a análise abrangente por considerar as influências adjacentes, como pode ser visto nos resultados apresentados nas tabelas 29, 30, 31 e no **Apêndice A**.

4.2 Com relação ao sistema de monitoramento nos *softwares* CLP500/Scatex

4.2.1 Diferença de valores entre MATLAB e *softwares* CLP500/Scatex x Resposta da condição de operação dos equipamentos analisados

Houve diferenças nos valores entre as simulações em MATLAB e o apresentado nos *softwares* CLP500 e Scatex, principalmente para as intensidades das funções de pertinência de saída e *crisp* do algoritmo híbrido *Para-Fuzzy*, e para os graus de certeza e contradição. Podem-se verificar algumas destas diferenças na

tabela 68.

Tabela 68 – Diferenças entre valores de ensaios realizados em MATLAB e *softwares* CLP500/Scatex

<i>Equipamento</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Ensaio/ Nó</i>	<i>Valor MATLAB</i>	<i>Valor CLP500</i>	<i>Valor Scatex</i>
SERVIDOR SCATEX – CENTRO DE OPERAÇÕES	G_c	1/ Nó 1	-0,840000	-0,833333	-0,833333
	G_{ct}	1/ Nó 1	0,000000	2,23517E-08	2,23517E-08
	<i>crisp</i>	1/ Nó 1	0,499983866	0,499982	0,499982
ROTEADOR 1 – USINA 1	G_c	2/ Nó 1	-0,21180	-0,236325	-0,236325
	G_{ct}	2/ Nó 1	0,00000	0,0386752	0,0386752
	QF-T/⊥	2/ Nó 1	0,3530	0,393875	0,393875
UAC 1 – USINA 1	G_c	2/ Nó 1	0,06620	0,0649577	0,0649577
	G_{ct}	2/ Nó 1	0,00000	0,00073322	0,00073322
	<i>crisp</i>	2/ Nó 1	0,499999994	0,494548	0,494548

Essas diferenças foram, de forma macro, dadas pelos seguintes fatores: tipos de variáveis utilizadas, conversões de variáveis em cálculos intermediários desde o processo de aquisição até o processo de geração das condições de operação dos equipamentos, e características e considerações internas da biblioteca *Fuzzy* utilizada.

Apesar das diferenças citadas, as condições de operação dos equipamentos nos *softwares* CLP500 e Scatex foram classificadas dentro do esperado em comparação com o MATLAB para os ensaios realizados nos itens 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4 e 3.2.1, e no **Apêndice B**.

4.2.2 Ajustes dos valores das funções de pertinência para blocos *Fuzzy* “de geração de graus de evidência favorável e desfavorável”

No uso da lógica *Fuzzy* para preparar os dados para lógica Paraconsistente (graus de evidência favorável e desfavorável), torna-se importante a definição correta dos limites das funções de pertinência *Fuzzy* para esses blocos – módulo(s) correspondente(s) do subsistema especialista(s), **mais especificamente os valores de definição para as condições de baixo(a), médio(a) e alto(a)**. Esses limites/valores influenciaram a análise paraconsistente e, consequentemente, o resultado da classificação de condição de operação do equipamento analisado. Para esse quesito, é importante destacar possibilidades para se definir esses valores:

- Obter dados de limites através de fabricante ou desenvolvedor do *software*

dos equipamentos a serem monitorados.

- Obter dados através de coleta realizada diretamente nos equipamentos em operação, tendo assim, após um período, uma base consistente de dados históricos. Com essas informações, podem-se definir os valores dos limites das funções de pertinência *Fuzzy* – **baixo(a)**, **médio(a)** e **alto(a)** – por um especialista.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi desenvolvido protótipo com Sistema Especialista dedicado ao monitoramento de equipamentos de redes de dados, no âmbito do telecomando de usinas e subestações por Centro de Operação Regional que trata as inconsistências sem trivialização nas respostas. O Sistema Especialista, desenvolvido com algoritmos fundamentados nas lógicas *Fuzzy* e lógica Paraconsistente Anotada (LPA), mostrou-se capaz de analisar sinais incertos e gerar as condições de operação para os equipamentos em questão (com falha, normal, instável, inconsistente/indeterminado), para tomadas de decisão em cenário de estudo com um centro de operação regional, uma subestação genérica e uma usina genérica, o qual representa um ambiente de telecomando.

Foram feitas simulações em MATLAB específicas com algoritmos fundamentados nas lógicas *Fuzzy* e Paraconsistente para embasamento da construção do protótipo, e com o sistema especialista idealizado. Com as simulações, posteriormente conseguiu-se implementar o protótipo denominado UC500/CLP500 *Para-Fuzzy* em máquina virtual, na qual foram forçados valores de entrada para análise das respostas e do comportamento, com base no cenário de estudo proposto. Os resultados obtidos responderam bem a exigências de rapidez nas análises para tomadas de decisão assertivas, mesmo sendo baseados em informações com dados incompletos e contraditórios.

Esse novo método de tratar sinais de informação com a utilização dos fundamentos das duas lógicas se mostrou importante, pois apresentou consonância com os desafios a se vencer, relacionados à complexidade cada vez maior no monitoramento de equipamentos de redes de dados envolvendo telecomando de subestações e usinas de geração de eletricidade. Conclui-se que o sistema especialista atuou em situações adversas com boa eficiência nas análises (testes) de condição de operação de servidores, UACs (ligações protocolares entre SCADA e UACs) e roteadores (interfaces de redes de saída de tráfego). Frisam-se os seguintes avanços:

- O desenvolvimento de uma ferramenta de análise para os principais equipamentos de uma rede de dados para ambiente de telecomando SCADA conforme ambiente proposto nos itens 2.1.2 e 2.1.3.
- A aplicação real das lógicas Paraconsistente, *Fuzzy* independente, e

Híbrida *Para-Fuzzy* em *software* CLP500 5.4.0 de ambiente SCADA.

- A obtenção de resultados satisfatórios, conforme apresentado na seção 3 e nos Apêndices A e B, que evidenciaram o bom funcionamento das lógicas e do sistema especialista, tanto em ferramenta MATLAB como em *software* CLP500.

Ainda é importante destacar que o caso estudado nesta dissertação foi uma aplicação relacionada ao telecomando de sistemas de energia elétrica. No entanto, as técnicas apresentadas utilizando as lógicas Paraconsistente Anotada e *Fuzzy* podem ser aplicadas a outras instalações industriais nas quais se faz o monitoramento remoto de instalações através de sistema SCADA.

5.1 Trabalhos futuros

Listam-se, a seguir, alguns tópicos para trabalhos futuros que darão continuidade a esta pesquisa:

a) Para as análises de interface de saída dos roteadores, uso de nó adicional no subsistema especialista para contagem de pacotes ICMP entregues (*porcentagem*).

b) Para as análises dos servidores ou computadores, uso de nó(s) adicional(is) no subsistema especialista para verificação de octetos e erros em interface(s) de placa(s) de rede, com análise individual se não houver redundância.

c) Uso de nós adicionais no subsistema especialista das UACs, acrescentando as seguintes análises:

- **Protocolo de comunicação:** quantidade de retransmissões e quantidade de procedimentos internos do protocolo mal sucedidos.
- **Recursos da UAC:** memória, processamento e alocação de arquivos.

d) Para incremento de segunda fonte de evidência de informações, a integração com ferramenta de monitoramento difundida na área de TI (como NAGIOS, CACTI etc.), avaliando seus ganhos e perdas.

e) Adição de subsistemas especialistas de análise para outros equipamentos como: terminais *servers*, conversores de fibra óptica/*ethernet*, *firewalls* etc.

REFERÊNCIAS

- ABE, J. M. Remarks on Paraconsistent Annotated Evidential Logic E_{τ} . **Unisanta Science and Technology**, v. 3, n. 1, 2014, p. 25-29.
- ABE, J. M. et al. Intelligent Paraconsistent Logic Controller and Autonomous Mobile Robot Emmy II. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE-BASED, INTELLIGENT INFORMATION & ENGINEERING SYSTEMS, 10., Bournemouth, 2006.
- ALENCAR, M. A. S. **Fundamentos de redes de computadores**. Manaus: UFAM; CETAM, 2010.
- CASE, J. et al. **A Simple Network Management Protocol – SNMP**: RFC 1157 (Historic). [s.l.]: Internet Activities Board, 1990. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc1157>>. Acesso em: 01 dez. 2018.
- CHAGAS, E. M. P. Apresentando alguns aspectos históricos do desenvolvimento da lógica clássica, ciências das ideias e dos processos da mente. **Millennium (Viseu)**, v. 29, p. 109-122, 2004.
- CHEN, C. L. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I. **IEEE-Transaction on Systems, Man and Cybernetics**, v. 20, n. 2, p. 404-435, Mar./Apr. 1990.
- CORTES, H. M. et al. Implementation of a Paraconsistent-Fuzzy Digital PID Controller in a Level Control Process. **International Journal of Computer and Information Engineering**, v. 11, n. 11, p. 1196-1204, 2017.
- DA COSTA, N. C. A. et al. **Lógica Paraconsistente Aplicada**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- DA COSTA, N. C. A.; KRAUSE, D. **Notas de lógica**. Parte I: Lógicas Proposicionais Clássica e Paraconsistente (Texto Preliminar). Florianópolis: UFSC, 2004.
- DA SILVA FILHO, J. I. **Métodos de aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação de dois valores LPA2v com construção de algoritmo e implementação de circuitos eletrônicos**. 1999. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- DA SILVA FILHO, J. I. Métodos de aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v. **Revista Seleção Documental**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 18-25, 2006.
- DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; LAMBERT-TORRES, G. **Inteligência artificial com as redes de Análises Paraconsistentes: teoria e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- DA SILVA FILHO, J. I. Lógica ParaFuzzy: um método de aplicação da Lógica Paraconsistente e Fuzzy em Sistemas de Controles Híbridos. **Revista Seleção Documental**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 16-24, 2009.
- FLORES, P. H.; MARCOS, D. V. Aplicação de SNMP no Centro de Controle da Automação da Eletrosul. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS,

8., Rio de Janeiro, 2009. **Anais...** Rio de Janeiro: CIGRÉ, 2009.

FONSECA, M. O. et al. Monitoração do desempenho de redes de automação usando SNMP. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2006.

FREITAS, B. J. Aplicações Práticas de SNMP em Redes IEC 61850. In: SEMINÁRIO TÉCNICO DE PROTEÇÃO E CONTROLE, 12., Rio de Janeiro, 2014. **Anais...** Rio de Janeiro: CIGRÉ, 2014.

HEINISCH, A. et al. Segurança cibernética para processos operativos em sistemas de energia elétrica. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 6., Fortaleza, 2011. **Anais...** Fortaleza: ANEEL, 2011.

JARDINI, J. A. **Sistemas elétricos de potência: automação**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

KRIDI, D. S. et al. Desenvolvimento de uma biblioteca Fuzzy para o controle autônomo de um robô móvel em ambiente desconhecido. **Mostra Nacional de Robótica**, v. 1, Piauí, 2013.

LOPES, R. P. S. de C. **Gestão distribuída em SNMP**. 2002. Tese (PhD) – Universidade de Aveiro, Aveiro-PT, 2002.

LOVATTO, M. **Gerenciamento e segmentação de redes: estudo de caso em empresa do setor alimentício**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Redes de Computadores) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR, 2015.

MAHMOOD, A. N. et al. Network Traffic Analysis and SCADA Security. In: STAVROULAKIS, P.; STAMP, M. (Eds.). **Handbook of Information and Communication Security**. [s.l.]: Springer, 2010.

MARREIRO, L. A. **Aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial E τ com algoritmo adaptativo de roteamento para distribuição de cargas em redes de telecomunicações**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, São Paulo, 2017.

MARRO, A. A. et al. **Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações**. Natal: Ed. UFRN, 2010.

MASSOTI, P. H. F.; SUN TING D. K. **Wallet Zero Crossings and Paraconsistent Fuzzy Logic in the Diagnostic of Rolling Bearings**. São Paulo: IPEN, 2002.

MATOUSEK, P. **Description and analysis of IEC 104 Protocol**: Technical Report. Brno: Brno University of Technology, 2017.

MAURO, D. R.; SCHMIDT, K. J. **Essential SNMP**. 2nd. ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005.

NETTO, U. C. **Determinação de um parâmetro para monitoramento do desempenho de mensagens GOOSE do Padrão IEC61850 utilizadas em subestações de energia elétrica**. 2013. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PAREDES, A. H. O. **Integração de Sistemas de Supervisão, proteção e automação de subestações de energia elétrica**. 2002. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Automação e Sistemas Elétricos Industriais) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG, 2002.

PRESUHN, R. **Version 2 of the protocol operations for the simple network management protocol (SNMP)**. IETF RFC 3416. [s.l.]: The Internet Society, 2002.

ROCHA, D. F. R. **Sistemas de supervisão e controle de autómatos: soluções baseadas em OPC e IEC 60870-5-104**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto-PTI, 2013.

STALLINGS, W. **SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2**. Boston: Addison-Wesley Longman, 1999.

TANENBAUM A. S.; WETHERALL, D. **Redes de computadores**. 5 ed. São Paulo: Person Education do Brasil, 2011.

TORRES, C. R. **Sistema Inteligente Paraconsistente para controle de robôs móveis autônomos**. 2004. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG, 2004.

TORRES, C. R.; ABE J. M.; LAMBERT-TORRES, G. Sistema inteligente paraconsistente para controle de robôs móveis autônomos. **Revista de Ciências Exatas**, Taubaté, v. 11, n. 1, p. 21-27, 2005.

TORRES, C. R. **Sistema Inteligente baseado na Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et para controle e navegação de robôs móveis autônomos em um ambiente não estruturado**. 2009. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG, 2009.

TORRES, R. C. et al. Autonomous Mobile Robot Emmy III. **Jornal Intechopen**, p. 1-3, 2011.

VILLELA, D. A. M. et al. Monitoração de Redes e Sistemas de Supervisão através de protocolo SNMP no SAGE. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 8., Rio de Janeiro, 2009.

ZADEH, L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. **IEEE-Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 1, p. 28-44, Jan. 1973.

APÊNDICE A – DADOS RELACIONADOS À LÓGICA HÍBRIDA PARA-FUZZY

Tabela A. 1 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito dos *Estados Lógicos Extremos*

$G_c = -1$ e $G_{ct} = 0$ (Falsidade)													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,49
$G_c = +1$ e $G_{ct} = 0$ (Verdade)													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0,5
$G_c = 0$ e $G_{ct} = +1$ (Inconsistência)													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0,0
$G_c = 0$ e $G_{ct} = -1$ (Indeterminação)													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	-1,0

Tabela A. 2 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito do *Estado Lógico Não Extremo* $Q_{\perp \rightarrow F}$.

Quase-Indeterminado Tendendo a Falsidade													
$G_c = -0.2$ e $G_{ct} = -0.3$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0,50	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0	-0,83
$G_c = -0.1$ e $G_{ct} = -0.4$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0,66	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	-0,92

Tabela A. 3 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito *Estado Lógico Não-Extremo* $Q_{F \rightarrow \perp}$.

Quase-Falso Tendendo a Indeterminado													
$G_c = -0.3$ e $G_{ct} = -0.2$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0,33	0,50	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,66
$G_c = -0,4$ e $G_{ct} = -0,1$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0,16	0,66	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,57

Tabela A. 4 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à

lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito do *Estado Lógico Não-Extremo* $Q_{F \rightarrow \top}$.

Quase-Falso Tendendo a Inconsistente													
$G_c = -0.3$ e $G_{ct} = 0.2$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0,11	0	0,50	0,33	0	0	0	0	0	0	0	-0,33
$G_c = -0.4$ e $G_{ct} = 0.1$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0,33	0	0,66	0,16	0	0	0	0	0	0	0	-0,42

Tabela A. 5 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito do *Estado Lógico Não-Extremo* $Q_{\top \rightarrow F}$.

Quase-Inconsistente Tendendo a Falso													
$G_c = -0.3$ e $G_{ct} = 0.4$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0,50	0,66	0	0	0	0	0	0	0	-0,24
$G_c = -0.1$ e $G_{ct} = 0.4$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0,16	0,66	0	0,33	0	0	0	0	0	-0,07

Tabela A. 6 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito do *Estado Lógico Não-Extremo* $Q_{\perp \rightarrow V}$.

Quase-Indeterminado Tendendo a Verdade													
$G_c = 0.2$ e $G_{ct} = -0.3$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,50	0	0,83
$G_c = 0.1$ e $G_{ct} = -0.4$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0,66	0	0,92

Tabela A. 7 – Valores de *crisp* e pertinências *Fuzzy* para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida *Para-Fuzzy* no âmbito do *Estado Lógico Não-Extremo* $Q_{V \rightarrow \perp}$.

Quase-Verdade Tendendo a Indeterminado													
$G_c = 0.3$ e $G_{ct} = -0.2$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0,50	0,33	0	0,66
$G_c = 0.4$ e $G_{ct} = -0.1$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0,66	0,16	0	0,57

Tabela A. 8 – Valores de *crisp* e pertinências Fuzzy para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida Para-Fuzzy no âmbito do Estado Lógico Não-Extremo $Q_{V \rightarrow \top}$.

Quase-Verdade Tendendo a Inconsistente													
$G_c = 0.3$ e $G_{ct} = 0.2$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,50	0	0,11	0	0	0,33
$G_c = 0.4$ e $G_{ct} = 0.1$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0	0,16	0,66	0	0,33	0	0	0,42

Tabela A. 9 – Valores de *crisp* e pertinências Fuzzy para entradas amostrais de G_c e G_{ct} aplicadas à lógica híbrida Para-Fuzzy no âmbito do Estado Lógico Não-Extremo $Q_{\top \rightarrow V}$.

Quase-Inconsistente Tendendo a Verdade													
$G_c = 0.3$ e $G_{ct} = 0.4$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0	0	0,66	0,50	0	0	0	0	0,24
$G_c = 0.1$ e $G_{ct} = 0.4$													
$\perp$	$Q_{\perp \rightarrow F}$	$Q_{F \rightarrow \perp}$	F	$Q_{F \rightarrow \top}$	$Q_{\top \rightarrow F}$	$\top$	$Q_{\top \rightarrow V}$	$Q_{V \rightarrow \top}$	V	$Q_{V \rightarrow \perp}$	$Q_{\perp \rightarrow V}$	$\perp$	<i>crisp</i>
0	0	0	0	0	0,33	0	0,66	0,16	0	0	0	0	0,07

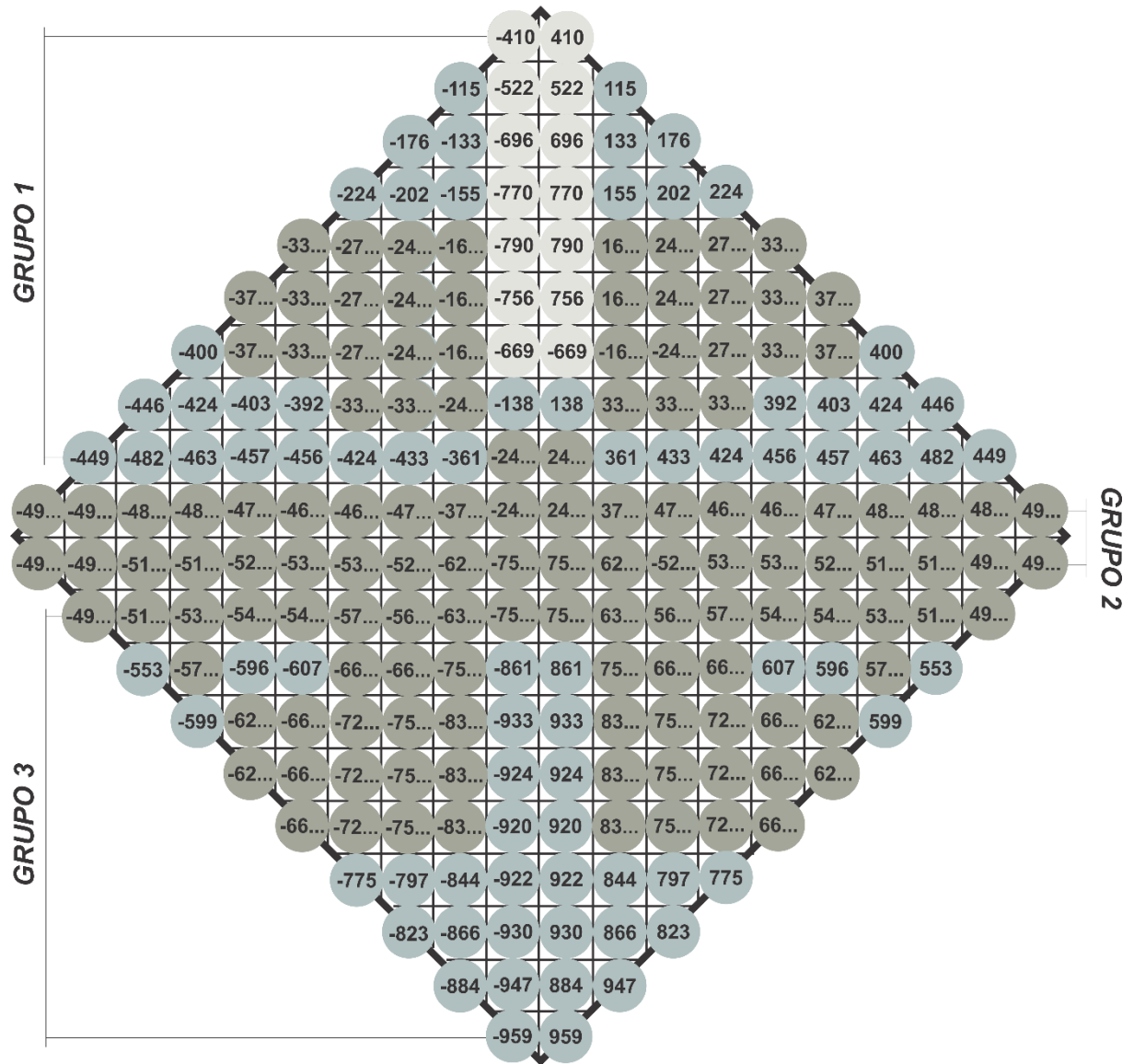


Figura A. 1 – Valores de *crisp* para entradas de G_c e G_{ct} como resultado da lógica híbrida *Para-Fuzzy*

Grupo 1: $G_{ct} = \{0.1 \text{ a } 0.9 \mid \Delta 0.1\}$ e $G_c = \{-0.9 \text{ a } -0.1 \mid \Delta 0.1 \text{ e } 0.1 \text{ a } 0.9 \mid \Delta 0.1\}$

Grupo 2: $G_{ct} = \{-0.05 \text{ e } +0.05\}$ e $G_c = \{-0.95, \dots, 0.95 \mid \Delta 0.1\}$

Grupo 3: $G_{ct} = \{-0.9 \text{ a } -0.1 \mid \Delta 0.1\}$ e $G_c = \{-0.9 \text{ a } -0.1 \mid \Delta 0.1 \text{ e } 0.1 \text{ a } 0.9 \mid \Delta 0.1\}$

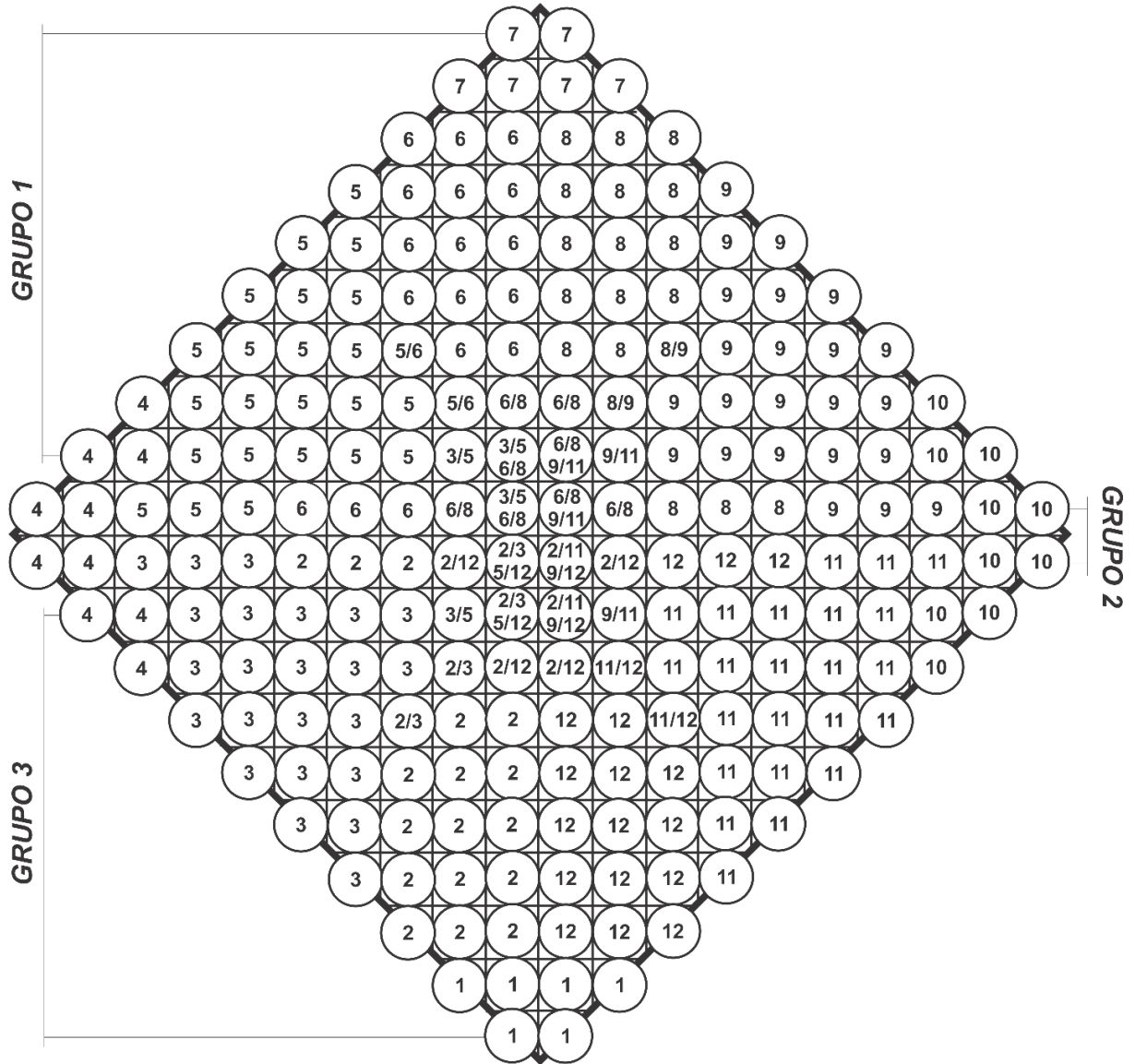


Figura A. 2 – Estados lógicos evidentes para entradas de G_c e G_{ct} como resultado da lógica híbrida Para-Fuzzy

Grupo 1: $G_{ct} = \{0.1 \text{ a } 0.9 \mid \Delta 0.1\}$ e $G_c = \{-0.9 \text{ a } -0.1 \mid \Delta 0.1 \text{ e } 0.1 \text{ a } 0.9 \mid \Delta 0.1\}$

Grupo 2: $G_{ct} = \{-0.05 \text{ e } +0.05\}$ e $G_c = \{-0.95, \dots, 0.95 \mid \Delta 0.1\}$

Grupo 3: $G_{ct} = \{-0.9 \text{ a } -0.1 \mid \Delta 0.1\}$ e $G_c = \{-0.9 \text{ a } -0.1 \mid \Delta 0.1 \text{ e } 0.1 \text{ a } 0.9 \mid \Delta 0.1\}$

- 1- Indeterminação ($\perp$)
- 2- Quase-Indeterminação tendendo à falsidade ($Q_{\perp \rightarrow F}$)
- 3- Quase-Falsidade tendendo à Indeterminação ($Q_{F \rightarrow \perp}$)
- 4- Falsidade (F)
- 5- Quase-Falsidade tendendo à Inconsistência ($Q_{F \rightarrow \top}$)
- 6- Quase-Inconsistência tendendo à falsidade ($Q_{\top \rightarrow F}$)
- 7- Inconsistência ($\top$)
- 8- Quase-Inconsistência tendendo à verdade ($Q_{\top \rightarrow V}$)
- 9- Quase-Verdade tendendo à Inconsistência ($Q_{V \rightarrow \top}$)
- 10- Verdade (V)
- 11- Quase-Verdade tendendo à Indeterminação ($Q_{V \rightarrow \perp}$)
- 12- Quase-Indeterminação tendendo à verdade ($Q_{\perp \rightarrow V}$)

**APÊNDICE B – DADOS DO MATLAB RELACIONADOS AOS SUBSISTEMAS
ESPECIALISTAS DE ANÁLISE DE FALHAS EM REDE DE DADOS DE SISTEMA
ELÉTRICO ENVOLVENDO CENTRO DE OPERAÇÃO REGIONAL, USINA
GENÉRICA 1 E SUBESTAÇÃO GENÉRICA 1**

Seguem ensaios adicionais de 1 a 27 (EA1 até EA27), com 1 nó ou 2 nós.

Ensaio Adicional 1 (EA1) – Operação normal – (Servidor Scatex) (REDE=B, IP=.158)

Nó 1: Proc. Med. 1 (50%), Mem. Med. 1 (25%), Proc. Med. 2 (50%), Mem. Med. 2 (30%)

Tabela B. 1 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA1-Nó 1 do servidor Scatex

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

Nó 2: Proc. Med. 1 (50%), Alloc. Arq. Med. 1 (**50%**), Proc. Med. 2 (50%), Alloc. Arq. 2 (51%)

Tabela B. 2 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C2** para EA1-Nó 2 do servidor Scatex

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C2
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Se **C1**=2 e **C2**=2, logo CR=2 (*normal*).

Ensaio Adicional 2 (EA2) – Operação com instabilidade – (Servidor Scatex) (REDE=B, IP=.158)

Nó 1: Proc. Med. 1 (25%), Mem. Med. 1 (65%), Proc. Med. 2 (25%), Mem. Med. 2 (65%)

Tabela B. 3 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA2-Nó 1 do servidor Scatex

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,17976	0,00000	0,2996	0,2996	0,0000	-0,499983907	3 (<i>instável</i>)

Nó 2: Proc. Med. 1 (25%), Alloc. Arq. Med. 1 40%), Proc. Med. 2 (25%), Alloc. Arq. 2 (40%)

Tabela B. 4 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C2** para EA2-Nó 2 do servidor Scatex

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C2
-0,82830	0,00000	0,4293	0,4293	0,5556	-0,499984480	2 (<i>normal</i>)

→ Se **C1**=3 e **C2**=2, logo CR=3 (*instável*).

Ensaio Adicional 3 (EA3) – Operação em falha – (Servidor Scatex) (REDE=B, IP=.158)

Nó 1: Proc. Med. 1 (40%), Mem. Med. 1 (95%), Proc. Med. 2 (40%), Mem. Med. 2 (95,7%)

Tabela B. 5 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA3-Nó 1 do servidor Scatex

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,82830	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (<i>falha</i>)

Nó 2: Proc. Med. 1 (40%), Alloc. Arq. Med. 1 (20%), Proc. Med. 2 (40%), Alloc. Arq. 2 (20%)

Tabela B. 6 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C2** para EA3-Nó 2 do servidor Scatex

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C2
-0,82830	0,00000	0,4293	0,4293	0,5556	-0,499984480	2 (<i>normal</i>)

→ Se **C1**=1 e **C2**=2, logo CR=1 (*falha*).

Ensaio Adicional 4 (EA4) – Operação normal – (Servidor UC500/CLP500 SCADA) (REDE=B, IP=.122)

Nó 1: Proc. Med. 1 (5%), Mem. Med. 1 (35%), Proc. Med. 2 (5%), Mem. Med. 2 (36%)

Tabela B. 7 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA4-Nó 1 do serv. UC500/CLP500 SCADA

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

Nó 2: Proc. Med. 1 (5%), Alloc. Arq. Med. 1 (20%), Proc. Med. 2 (5%), Alloc. Arq. 2 (21%)

Tabela B. 8 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C2** para EA4-Nó 2 do serv. UC500/CLP500 SCADA

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C2
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Se **C1**=2 e **C2**=2, logo CR=2 (*normal*).

Ensaio Adicional 5 (EA5) – Operação com instabilidade – (Servidor UC500/CLP500 SCADA) (REDE=B, IP=.122)

Nó 1: Proc. Med. 1 (20%), Mem. Med. 1 (55%), Proc. Med. 2 (20%), Mem. Med. 2 (55,5%)

Tabela B. 9 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA5-Nó 1 de serv. UC500/CLP500 SCADA

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,35522	0,00000	0,5556	0,5556	0,0000	-0,499980470	3 (<i>instável</i>)

Nó 2: Proc. Med. 1 (20%), Alloc. Arq. Med. 1 (70%), Proc. Med. 2 (20%), Alloc. Arq. 2 (71%)

Tabela B. 10 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C2** para EA5-Nó 2 de serv. UC500/CLP500 SCADA

G_c	G_{ct}	$QF-\perp$	$QF-T$	F	$crisp$	$C2$
-0,83628	0,00000	0,4093	0,4093	0,5556	-0,499984066	2 (<i>normal</i>)

→ Se $C1=2$ e $C2=3$, logo $CR=3$ (*instável*).

Ensaio Adicional 6 (EA6) – Operação em falha – (Servidor UC500/CLP500 SCADA)
(REDE=B, IP=.122)

Nó 1: Proc. Med. 1 (10%), Mem. Med. 1 (80%), Proc. Med. 2 (10%), Mem. Med. 2 (79%)

Tabela B. 11 - G_c , G_{ct} , $QV-\perp$, $QV-T$, V , $crisp$ e $C1$ para EA6-Nó 1 de serv. UC500/CLP500 SCADA

G_c	G_{ct}	$QV-\perp$	$QV-T$	V	$crisp$	$C1$
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (<i>falha</i>)

Nó 2: Proc. Med. 1 (10%), Alloc. Arq. Med. 1 (65%), Proc. Med. 2 (10%), Alloc. Arq. 2 (66%)

Tabela B. 12 - G_c , G_{ct} , $QF-\perp$, $QF-T$, F , $crisp$ e $C2$ para EA6-Nó 2 de serv. UC500/CLP500 SCADA

G_c	G_{ct}	$QF-\perp$	$QF-T$	F	$crisp$	$C2$
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Se $C1=1$ e $C2=2$, logo $CR=1$ (*falha*).

Ensaio Adicional 7 (EA7) – Operação normal – (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=3)

Nó 1: Taxa Med. 1 (1024k), Erro Med. 1 (0), Proc. Med. 2 (1024k), Erro Med. 2 (2)

Tabela B. 13 - G_c , G_{ct} , $QF-\perp$, $QF-T$, F , $crisp$ e $C1$ para EA7-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	$QF-\perp$	$QF-T$	F	$crisp$	$C1$
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Neste caso, $C1=CR=2$ (*normal*).

Ensaio Adicional 8 (EA8) – Operação com instabilidade – (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=3)

Nó 1: Taxa Med. 1 (2048k), Erro Med. 1 (9), Proc. Med. 2 (2048k), Erro Med. 2 (9)

Tabela B. 14 - G_c , G_{ct} , $QF-\perp$, $QF-T$, F , $crisp$ e $C1$ para EA8-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	$QF-\perp$	$QF-T$	F	$crisp$	$C1$
-0,2120	0,00000	0,3530	0,3530	0,0000	-0,499978295	3 (<i>instável</i>)

→ Neste caso, $C1=CR=3$ (*instável*).

Ensaio Adicional 9 (EA9) – Operação em falha – (interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=3)

Nó 1: (Taxa Med. 1 (0k), Erro Med. 1 (0), Proc. Med. 2 (0k), Erro Med. 2 (0))

Tabela B. 15 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA9-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (falha)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (**falha**).

Ensaio Adicional 10 (EA10) – Operação normal – (interface de rede de saída do roteador 2 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=2, INTERFACE SAÍDA=4)

Nó 1: Taxa Med. 1 (512k), Erro Med. 1 (2), Proc. Med. 2 (512k), Erro Med. 2 (0)

Tabela B. 16 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA10-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 2 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499999996	2 (normal)

→ Neste caso, **C1**=CR= 2 (**normal**).

Ensaio Adicional 11 (EA11) – Operação com instabilidade – (interface de rede de saída do roteador 2 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=2, INTERFACE SAÍDA=4)

Nó 1: Taxa Med. 1 (512k), Erro Med. 1 (2), Proc. Med. 2 (512k), Erro Med. 2 (0)

Tabela B. 17 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA11-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 2 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,212	0,00000	0,3530	0,3530	0,0000	-0,49998295	3 (instável)

→ Neste caso, **C1**=CR= 3 (**instável**).

Ensaio Adicional 12 (EA12) – Operação em falha – (interface de rede de saída do roteador 2 da Usina Genérica 1) (ROTEADOR=2, INTERFACE SAÍDA=4)

Nó 1: Taxa Med. 1 (1536k), Erro Med. 1 (25), Proc. Med. 2 (1536k), Erro Med. 2 (25)

Tabela B. 18 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA12-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 2 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,8400	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (falha)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (**falha**).

Ensaio Adicional 13 (EA13) – Operação normal – (*interface de rede de saída do roteador 1 da Subestação Genérica 1*) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=5)

Nó 1: Taxa Med. 1 (1024k), Erro Med. 1 (0), Taxa Med. 2 (1024k), Erro Med. 2 (2)

Tabela B. 19 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA13-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 2 (*normal*).

Ensaio Adicional 14 (EA14) – Operação com instabilidade – (*interface de rede de saída do roteador 1 da Subestação Genérica 1*) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=5)

Nó 1: Taxa Med. 1 (1228,8k), Erro Med. 1 (9), Taxa Med. 2 (1228,8k), Erro Med. 2 (9)

Tabela B. 20 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA14-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,2680	0,00000	0,4462	0,4462	0,0000	0,499999994	3 (<i>instável</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 3 (*instável*).

Ensaio Adicional 15 (EA15) – Operação em falha – (*interface de rede de saída do roteador 1 da Subestação Genérica 1*) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=5)

Nó 1: Taxa Med. 1 (2048k), Erro Med. 1 (11), Taxa Med. 2 (2048k), Erro Med. 2 (12)

Tabela B. 21 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA15-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 da Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (<i>falha</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (*falha*).

Ensaio Adicional 16 (EA16) – Operação normal – (*interface de rede de saída do roteador 1 do Centro de Operação Regional*) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=1)

Nó 1: Taxa Med. 1 (204,8k), Erro Med. 1 (0), Taxa Med. 2 (204,8k), Erro Med. 2 (2)

Tabela B. 22 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA16-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 do Centro de Operação

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 2 (*normal*).

Ensaio Adicional 17 (EA17) – Operação com instabilidade – (interface de rede de saída do roteador 1 do Centro de Operação Regional) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=1)

Nó 1: Taxa Med. 1 (204,8k), Erro Med. 1 (32), Taxa Med. 2 (204,8k), Erro Med. 2 (32)

Tabela B. 23 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA17-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 do Centro de Operação

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,38961	0,00000	0,5556	0,5556	0,0000	0,499999995	3 (<i>instável</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 3 (*instável*).

Ensaio Adicional 18 (EA18) – Operação em falha – (interface de rede de saída do roteador 1 do Centro de Operação Regional) (ROTEADOR=1, INTERFACE SAÍDA=1)

Nó 1: Taxa Med. 1 (4096k), Erro Med. 1 (34), Taxa Med. 2 (4096k), Erro Med. 2 (34)

Tabela B. 24 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA18-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 1 do Centro de Operação

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (<i>falha</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (*falha*).

Ensaio Adicional 19 (EA19) – Operação normal – (interface de rede de saída do roteador 2 do Centro de Operação Regional) (ROTEADOR=2, INTERFACE SAÍDA=2)

Nó 1: Taxa Med. 1 (614,4k), Erro Med. 1 (2), Taxa Med. 2 (614,4k), Erro Med. 2 (1)

Tabela B. 25 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA19-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 2 do Centro de Operação

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 2 (*normal*).

Ensaio Adicional 20 (EA20) – Operação com instabilidade – (interface de rede de saída do roteador 2 do Centro de Operação Regional) (ROTEADOR=2, INTERFACE SAÍDA=2)

Nó 1: Taxa Med. 1 (1228,8k), Erro Med. 1 (14), Taxa Med. 2 (1228,8k), Erro Med. 2 (14)

Tabela B. 26 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA20-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 2 do Centro de Operação

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,14481	0,00000	0,2413	0,2413	0,0000	-0,499980725	3 (<i>instável</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 3 (*instável*).

Ensaio Adicional 21 (EA21) – Operação em falha – (interface de rede de saída do roteador 2 do Centro de Operação Regional) (ROTEADOR=2, INTERFACE SAÍDA=2)

Nó 1: Taxa Med. 1 (1228,8k), Erro Med. 1 (38), Taxa Med. 2 (1228,8k), Erro Med. 2 (38)

Tabela B. 27 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA21-Nó 1 de interface de rede de saída do roteador 2 do Centro de Operação

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (falha)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (**falha**).

Ensaio Adicional 22 (EA22) – Operação normal – (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) (REDE=G, IP=.10)

Nó 1: Msg Med. 1 (825), Erro Med. 1 (0), Msg Med. 2 (825), Erro Med. 2 (2)

Tabela B. 28 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA22-Nó 1 de ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (normal)

→ Neste caso, **C1**=CR= 2 (**normal**).

Ensaio Adicional 23 (EA23) – Operação com instabilidade – (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) (REDE=G, IP=.10)

Nó 1: Msg Med. 1 (825), Erro Med. 1 (7), Msg Med. 2 (825), Erro Med. 2 (7)

Tabela B. 29 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA23-Nó 1 de ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
-0,06621	0,00000	0,1104	0,1104	0,0000	0,499999994	3 (instável)

→ Neste caso, **C1**=CR= 3 (**instável**).

Ensaio Adicional 24 (EA24) – Operação em falha – (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1) (REDE=G, IP=.10)

Nó 1: Msg Med. 1 (0), Erro Med. 1 (9), Msg Med. 2 (0), Erro Med. 2 (9)

Tabela B. 30 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA24-Nó 1 de ligação protocolar 1 com UAC 1 para Usina Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (falha)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (**falha**).

Ensaio Adicional 25 (EA25) – Operação normal – (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Subestação Genérica 1) (REDE=J, IP=.10)

Nó 1: Msg Med. 1 (477), Erro Med. 1 (0), Msg Med. 2 (477), Erro Med. 2 (0)

Tabela B. 31 - G_c , G_{ct} , QF- $\perp$, QF-T, F, *crisp* e **C1** para EA25-Nó 1 de ligação protocolar 1 com UAC 1 para Subestação Genérica 1

G_c	G_{ct}	QF- $\perp$	QF-T	F	<i>crisp</i>	C1
-0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	-0,499983866	2 (<i>normal</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 2 (*normal*).

Ensaio Adicional 26 (EA26) – Operação com instabilidade – (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Subestação Genérica 1) (REDE=J, IP=.10)

Nó 1: Msg Med. 1 (477), Erro Med. 1 (7), Msg Med. 2 (477), Erro Med. 2 (7)

Tabela B. 32 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA26-Nó 1 de ligação protocolar 1 com UAC 1 para Subestação Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,006621	0,00000	0,1104	0,1104	0,0000	0,499999994	3 (<i>instável</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR = 3 (*instável*).

Ensaio Adicional 27 (EA27) – Operação em falha – (ligação protocolar 1 com UAC 1 para Subestação Genérica 1) (REDE=J, IP=.10)

Nó 1: Msg Med. 1 (0), Erro Med. 1 (0), Msg Med. 2 (0), Erro Med. 2 (0)

Tabela B. 33 - G_c , G_{ct} , QV- $\perp$, QV-T, V, *crisp* e **C1** para EA1-Nó 1 de ligação protocolar 1 com UAC 1 para Subestação Genérica 1

G_c	G_{ct}	QV- $\perp$	QV-T	V	<i>crisp</i>	C1
0,84000	0,00000	0,4000	0,4000	0,5556	0,499999996	1 (<i>falha</i>)

→ Neste caso, **C1**=CR= 1 (*falha*).

* CR = condição de operação resultante.