

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

**LEONARDO DO ESPIRITO SANTO**

**UM SISTEMA DE CONTROLE ADAPTATIVO UTILIZANDO ALGORITMO DA  
LÓGICA PARACONSISTENTE APLICADO À UMA UNIDADE  
EXPERIMENTAL NO CONTROLE DE VAZÃO**

**SANTOS/SP  
2018**

**LEONARDO DO ESPIRITO SANTO**

**UM SISTEMA DE CONTROLE ADAPTATIVO UTILIZANDO ALGORITMO DA  
LÓGICA PARACONSISTENTE APLICADO À UMA UNIDADE  
EXPERIMENTAL NO CONTROLE DE VAZÃO**

Dissertação apresentada a 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 e coorientação do Me. Cláudio Luís Magalhães Fernandes.

**SANTOS/SP**

**2018**

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

511.31 ESPÍRITO SANTO, Leonardo do.  
E78s

Um Sistema de Controle Adaptativo Utilizando Algoritmo da Lógica Paraconsistente aplicado à uma unidade experimental no controle de Vazão.  
Leonardo do Espirito Santo/SP 2018  
57 p.

Orientador: Dr. João Inácio da Silva Filho  
Coorientação: Me. Cláudio Luís Magalhães Fernandes.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2018.

1.Automação Industrial 2.IEC 61131-3 3.Lógicas não-clássicas 4.Lógica Paraconsistente 5. Algoritmo 6. Controle de vazão  
I. Da Silva Filho, J. I. II. Fernandes, C. L. M.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha esposa e à minha família que me incentivaram durante esta etapa importante na minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me conduzir pelos melhores caminhos e por colocar as seguintes pessoas em minha vida, que foram importantes para a conclusão desta dissertação.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, pela dedicação na orientação e pela contribuição técnica através da sua grande inteligência e humildade.

Ao meu coorientador Cláudio Luís Magalhães Fernandes, que se tornou um irmão em minha carreira, realizando o acompanhamento que foi de extrema importância na construção deste trabalho.

A todo o corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNISANTA, pelo grande conhecimento transmitido em todo curso, em especial aos professores Mauricio Conceição Mário, Dorotéia Vilanova Garcia e Marlene da Silva pela motivação e orientação que foi fundamental em todo curso.

Aos meus colegas de turma em especial ao Rodrigo Silvério da Silveira, pelo apoio e acompanhamento durante todas as atividades do programa. Sendo um motivador constante em minha trajetória acadêmica.

Aos amigos Fábio Lobue dos Santos e Arlindo de Goes Moreira que foram de fundamental importância na conclusão dos experimentos que deram origem a esta dissertação.

## RESUMO

A Lógica Paraconsistente - LP vem sendo pesquisada para que seus algoritmos possam ser aplicados com êxito em diversos campos da área industrial. Entre estes destacamos: em controle de processos contínuos de malha fechada, na robótica, na automação industrial e em controles híbridos combinando a LP com o controle Proporcional, Integral e Derivativo – PID. Esta pesquisa teve como objetivo principal a implementação em Controlador Programável (CP) de um algoritmo denominado de Nó de Análise Paraconsistente (NAP) pertencente a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), com aplicação direta em uma malha de controle real e estudo comportamental em controle de vazão. O NAP foi instalado em um controle de uma unidade experimental composta por dois reservatórios, transmissor de vazão, bomba e *drive* (inversor de frequência) onde foi possível realizar a automação controlando a vazão na malha, e o monitoramento do processo em um *software* supervisão para a geração dos gráficos. Para a implementação foi criado um bloco funcional NAP, que recebeu o sinal de *setpoint* (SP), representando o valor desejado pelo operador, e o sinal da variável de processo (VP), que representou a quantidade litros por hora que passa pela tubulação, sendo esta medição realizada pelo transmissor de vazão. Assim, o bloco constituído pelo NAP funcionou como um Sistema de Controle Paraconsistente, que recebe os dois sinais nas entradas e gera um sinal de saída que é aplicado a um *drive*, tendo esse, a função de controlar a velocidade da bomba e consequentemente controlando a vazão. Os resultados desta pesquisa apresentaram comportamento do NAP confiável e equivalente ao de um sistema consolidado PID, demonstrando ser a aplicação deste uma nova alternativa para o controle de processos em malha fechada através da ação de um controle paraconsistente adaptativo. Esta técnica utilizando Lógica Paraconsistente atende a norma IEC 61131-3 indicada para as lógicas não-clássicas em controladores programáveis, apesar de ser uma nova aplicação, ainda com poucas referências, apresenta vantagens, tais como: o baixo tempo de computação, facilidade nos ajustes dos parâmetros e extensão dos limites de controlabilidade possibilitando assim uma modularização no sistema e a reutilização do algoritmo.

**Palavras Chave:** Automação Industrial. IEC 61131-3. Lógicas não-clássicas. Lógica Paraconsistente. algoritmo. Controle de vazão.

## ABSTRACT

The Paraconsistent Logic - PL has been researched so that its algorithms can be applied successfully in several fields of the industrial area. Among these we highlight: in closed loop continuous process control, in robotics, in industrial automation and in hybrid controls combining the LP with Proportional, Integral and Derivative - PID control. This research had as main objective the implementation in Programmable Controller (CP) of an algorithm called Paraconsistent Analyzer Node (PAN) belonging to Paraconsistent Logic Annotated with two-valued annotation (PAL2v), with direct application in a real control mesh and behavioral study in flow control. The PAN was installed in a control of an experimental unit composed of two reservoirs, flow transmitter, pump and drive (frequency inverter) where it was possible to carry out the automation and controlling the flow in the mesh and the monitoring of the process in a software of supervision for generation of graphs. For its implementation, a PAN functional block was created, which received the Setpoint signal (SP), representing the value desired by the operator, and the Process variable (VP) signal, which represented the quantity of liters per hour that passes through the pipe, this measurement being carried out by the flow transmitter. Thus, the PAN block functions as a Paraconsistent Control System, which receives the two signals at the inputs and generates an output signal that is applied to a drive, the latter having the function of controlling the speed of the pump and consequently controlling the flow rate. The results of this research presented a reliable NAP behavior equivalent to that of a consolidated PID system, demonstrating that it is a new alternative for the control of closed - loop processes through the action of an adaptive paraconsistent control. This technique, using Paraconsistent Logic, complies with the IEC 61131-3 standard for non-classical logic controllers, although it is a new application with few references, it has advantages such as: low computation time, ease of adjustment of the parameters and extension of controllability limits thus allowing a modularization in the system and the reuse of the algorithm.

**Keywords:** Industrial Automation. IEC 61131-3. Non-classical logics. Paraconsistent Logic. algorithm. Flow control.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reticulado da LPA2v repartindo em 12 estados lógicos..	3
Figura 2 – Ponto de Interpolação (Gc,Gct) e distância D .....	5
Figura 3 – Grau de Certeza de valor resultante real – Gcr no reticulado..	6
Figura 4 – Representação em bloco de um Nó de Análise Paraconsistente típico..	6
Figura 5 – Transformação de grau de contradição Gct em grau de contradição normalizado $\mu_{ctr}$ .....	7
Figura 6 – Gráfico de modelagem de sinais Lógicos Paraconsistente.....	8
Figura 7 – Divisão das linguagens em Textuais e Gráficas.....	9
Figura 8 – Unidade experimental..	12
Figura 9 – Representação da unidade experimental no <i>software</i> InduSoft Web Studio .....	12
Figura 10 – Linguagem ST .....	12
Figura 11 – Representação da Instalação do CP DU351.....	14
Figura 12 – Bloco Funcional NAP_PARACON.....	14
Figura 13 – Declaração de variáveis do bloco NAP_PARACON.....	15
Figura 14 – Modelagem de sinais Lógicos Paraconsistentes.....	16
Figura 15 – Bloco Funcional MVLP .....	17
Figura 16 – Declaração de variáveis e Programação em ST do MVLP.....	17
Figura 17 – Área para inserção de valores no software supervisorio.....	20
Figura 18 – Resposta do Bloco NAP_PARACON para um SP 80%.....	21
Figura 19 – Resposta do Bloco NAP_PARACON para um SP 35%.....	22
Figura 20 – Resposta do Bloco NAP_PARACON para um SP 45%.....	22
Figura 21 – Bloco PID..	23
Figura 22 – Estado inicial da malha de vazão.....	24
Figura 23 – Determinação da constante de tempo no controle de vazão..	25
Figura 24 – Programação em ladder do PID.....	26
Figura 25 – Resposta do Bloco PID na planta de vazão para um SP de 50%.....	27
Figura 26 – Resposta do Bloco PID na planta de vazão para um SP de 35%.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conversão adotada de real e inteiro.....	14
Tabela 2 – Representação so sinal de entrada PV.....	17
Tabela 3 – Representação do sinal de saída.....	18
Tabela 4 – Resultado do bloco NAP_PARACON para um SP de 50%.....	18
Tabela 5 – Resultado do bloco NAP_PARACON para um SP de 35% .....	20

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estados Lógicos extremos.....	2
Quadro 2 – Estados Lógicos não-extremos.....	4
Quadro 3 – Variáveis de controle.....	4
Quadro 4 – Variáveis do Bloco PID.....	23

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
CLP	Controlador Lógico Programável
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
CP	Controlador Programável
LP	Lógica Paraconsistente
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada
V	Verdadeiro
F	Falso
LPA2v	Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores
$V_{scc}$	Valor superior de controle de certeza
$V_{icc}$	Valor inferior de controle de certeza
$V_{scct}$	Valor superior de controle de contradição
$V_{icct}$	Valor inferior de controle de contradição
$G_C$	Grau de Certeza
$G_{ct}$	Grau de Contradição
$G_{CR}$	Grau de Certeza real
D	Distância
NAP	Nó de Análise Paraconsistente
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
SFC	Sequenciamento Gráfico de Funções
IL	Lista de Instruções
LD	Diagrama <i>Ladder</i>
FBD	Diagrama de Blocos Funcionais
ST	Texto Estruturado
PID	Proporcional Integral e Derivativo
PV	Variável de Processo
SP	<i>Setpoint</i>
FZ	Elemento final de controle de vazão
FT	Transmissor de vazão
TAG	Etiqueta
TA	Tanque

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IHM	<i>Interface Home Máquina</i>
AI	Entrada Analógica
AO	Saída Analógica
INT	Inteiro
l/h	Litros por hora
mA	Miliampére
Hz	Hertz
ISA	International Society of Automation

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\top$	Inconsistente
$\perp$	Paracompleto ou indeterminado
$\perp \rightarrow F$	Indeterminado, tendendo ao Falso
$\perp \rightarrow V$	Indeterminado, tendendo ao Verdadeiro
$\top \rightarrow F$	Inconsistente, tendendo ao Falso
$\top \rightarrow V$	Inconsistente, tendendo ao Verdadeiro
$QV \rightarrow \top$	Quase Verdadeiro, tendendo ao Inconsistente
$QF \rightarrow \top$	Quase Falso, tendendo ao Inconsistente
$QF \rightarrow \perp$	Quase Falso, tendendo ao Indeterminado
$QV \rightarrow \perp$	Quase Verdadeiro, tendendo ao Indeterminado
$\mu$	Grau de evidência favorável
$\lambda$	Grau de evidência desfavorável
$\varphi$	Intervalo de Certeza
$\varphi E$	Intervalo de Evidência Resultante
$\mu ER$	Grau de Evidência Resultante real
$\mu_{ctr}$	Grau de contradição normalizado
$K_p$	Ganho Proporcional
$K_i$	Ganho Integral

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores .....	2
1.2	Modelagem do valor lógico paraconsistente com variação linear.....	8
1.3	Norma 61131 .....	9
1.4	Objetivo.....	10
1.5	Justificativa e Relevância do Tema.....	10
2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
2.1	Unidade experimental .....	11
2.2	Linguagem de Programação.....	13
2.3	Elemento de Controle – Controlador Programável (CP) .....	13
2.3.1	Construção do Bloco Funcional NAP_PARACON para o CP.....	14
2.3.2	Adequação de valores para o Bloco Funcional NAP_PARACON .....	15
2.3.3	Construção do BF de Modelagem de Valor Lógico Paraconsistente (MVL) ..	16
3	RESULTADOS.....	18
3.1	Modelagem de sinais de entrada do CP.....	18
3.2	Modelagem de sinais de saída do CP .....	19
3.3	Resultados do Bloco NAP_PARACON.....	20
4.	DISCUSSÃO.....	23
4.1	Bloco PID utilizado para a comparação com o bloco NAP_PARACON.....	23
4.1.1	Resultado do Bloco PID .....	26
5.	CONCLUSÕES.....	28
6.	VERSÃO COMPACTA.....	29
	REFERÊNCIAS.....	35
	APÊNDICE A –Programação completa do bloco NAP_PARACON.....	38
	APÊNDICE B – Programação completa em <i>ladder</i> .....	38
	ANEXO A – Normas do NAP.....	40
	ANEXO A – Algoritmo da LPA2v.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo previsões feitas pela maioria dos participantes do Fórum Econômico Mundial em 2015, evento que ocorre anualmente na Suíça na cidade de Davos, representando a maioria dos representantes da elite política e empresarial no mundo, estima que até 2025, 30% do trabalho de auditoria no mundo será realizado por inteligência artificial (IA), 10% da frota de carros não dependerá de motoristas para trafegar, estimativa nos Estados Unidos (MANO, 2017).

Os investimentos em tecnologia vêm aumentando, sendo que parte desses recursos está alimentando uma nova geração de empreendedores alcançando diversas *startups* de inteligência artificial, que no mundo em 2012 era de 160 empresas com investimentos na ordem de 0,6 bilhões de dólares, passando em 2016 para 658 empresas alcançando a cifra de 5 bilhões de dólares (TEIXEIRA, 2017).

Os diversos processos da indústria têm tornado seu gerenciamento cada vez mais complexo, que aumenta proporcionalmente ao crescimento da qualidade nos produtos e serviços, assim como a velocidade na logística de produção e entrega ao cliente final. Esses processos geram uma grande quantidade de dados que devem ser geridos e interpretados na etapa de controle, através dos controladores, dispositivos de campo, *software* de monitoramento e sistemas de inteligência artificial (TAVARES & COELHO et al., 2016).

No processo de automação industrial os controladores são computadores dedicados inicialmente denominados em Controlador Lógico Programável (CLP), aplicado na maioria dos casos à manufatura, e o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), utilizando em processos contínuos. Com a evolução acelerada da tecnologia houve a conversão para um único computador com as mesmas funcionalidades de ambos sistemas, este denominado Controlador Programável – CP (FERNANDES, 2012).

Segundo Abe (1992), as lógicas denominadas de não-clássicas são aquelas que divergem em seus fundamentos de alguma das leis binárias que sustentam a lógica clássica. Os Controladores Programáveis modernos, trazem condições nas quais os algoritmos podem ser configurados para tratar sinais com base em Lógica Nebulosa, que é uma lógica não-clássica também conhecida como Lógica *Fuzzy* (KAUFMANN & GUPTA, 1985). Neste trabalho aplica-se também uma lógica não

Clássica, denominada de Lógica Paraconsistente (LP), que será detalhada a seguir.

### 1.1 Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores

A área da ciência da computação e suas aplicações em sistemas inteligentes é um grande campo para a aplicação da Lógica Paraconsistente (LP), assim como a automação, robótica, sistemas especialistas dentre outros. A Lógica Paraconsistente surge como uma Lógica alternativa à lógica clássica (ABE, 2006).

A LP, portanto, faz parte da família das Lógicas não-Clássicas que tem algoritmos utilizados na IA. Esta admite o processamento de sinais contraditórios e revoga o princípio da não-contradição (DA SILVA et al., 2008).

Segundo Abe (1992) a Lógica Paraconsistente pode ser entendida conforme a seguir: - É dito que uma teoria é consistente quando entre seus teoremas não houver contradição, em caso contrário, ela é denominada inconsistente. Uma teoria é denominada como trivial se todas as sentenças (ou fórmulas) de sua linguagem forem teoremas; se o contrário ocorrer, ela é classificada como sendo não-trivial. Uma lógica é denominada Paraconsistente se puder tratar de inconsistências e de forma não trivial.

Uma Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) é uma classe de Lógica Paraconsistente que representa uma família de lógicas não-clássicas empregadas inicialmente em programação lógica por Subrahmanian (DA SILVA et al., 2008). Posteriormente Blair e Subrahmanian construíram a teoria geral da programação anotada que teve como resultado as aplicações em bases de dados que contem contradições (DA SILVA et al., 2008).

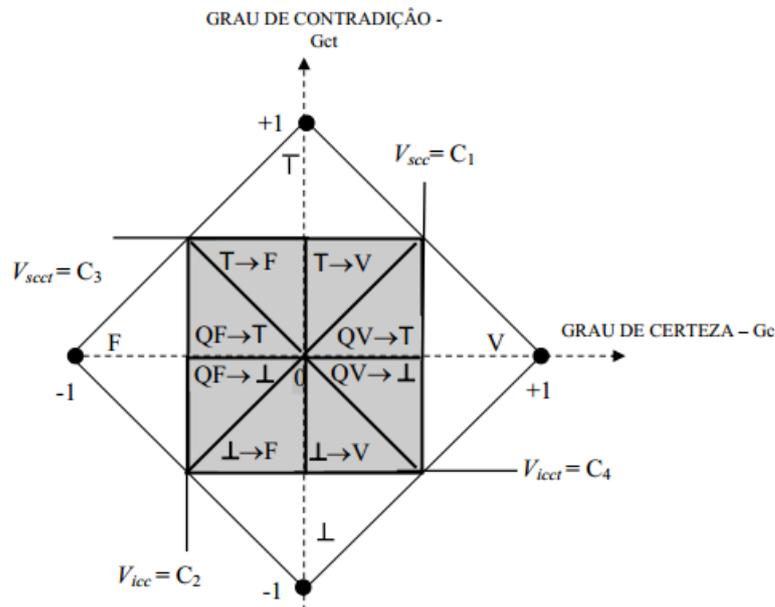
Com o intuito de propor soluções para determinados problemas não solucionados pela Lógica Clássica são agregadas às noções de verdade e falsidade, os conceitos de inconsistência, paracompleteza, assumindo assim os quatros símbolos são apresentados no quadro 1 (ABE, 2006).

**Quadro 1. Estados extremos**

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
T	Inconsistente
V	Verdadeiro
F	Falso
⊥	Paracompleto

utiliza dois graus de evidência e pode ser representada através de um Reticulado associado. Em algumas situações onde a Lógica Clássica é incapaz de ser aplicada devido a sua natureza estritamente binária, a Lógica Paraconsistente, na sua forma especial com anotação de dois valores (LPA2v), apresenta-se adequada, principalmente quando o conhecimento de evidências é utilizado para solucionar conflitos e ocorrem diversas inferências inconsistentes (DA SILVA FILHO, 2006).

Na LPA2v, a partir das evidências analisadas são gerados graus de certeza e de contradição os quais poderão fornecer dados para tomadas de decisão. Em Da Silva Filho, (1999) temos como resultado um reticulado dividido em 12 regiões (figura 1), denominadas de estados lógicos resultantes gerados através das interpolações dos graus de contradição e de certeza, que são determinados pelos valores de medições obtidos em meio físico na forma de Graus de Evidência normalizados (FERNANDES, 2012). No Reticulados da LPA2v exposto na figura 1, os 4 estados lógicos extremos são representados pelas áreas que ocupa cada vértice do reticulado: Falso, Verdadeira, Inconsistente e Indeterminado.



**Figura 1. Reticulado da LPA2v repartido em 12 estados lógicos.**  
**Fonte: Da Silva Filho (1999)**

As áreas internas do reticulado são nomeadas de estados lógicos não-extremos, sendo cada área nomeada conforme a proximidade com os respectivos estados extremos. Esses estados, segundo Da Silva Filho (2006), são apresentados através do quadro 2:

**Quadro 2. Estados Lógicos não-extremos**

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
$\perp \rightarrow \mathbf{F}$	Indeterminado (paracompleto) tendendo a Falso
$\perp \rightarrow \mathbf{V}$	Indeterminado (paracompleto) tendendo a Verdadeiro
$\top \rightarrow \mathbf{F}$	Inconsistente tendendo a Falso
$\top \rightarrow \mathbf{V}$	Inconsistente tendendo a Verdadeiro
$\mathbf{QV} \rightarrow \top$	Quase – verdadeiro tendendo a Inconsistente
$\mathbf{QF} \rightarrow \top$	Quase – falso tendendo a Inconsistente
$\mathbf{QF} \rightarrow \perp$	Quase – falso tendendo a Indeterminado
$\mathbf{QV} \rightarrow \perp$	Quase – verdadeiro tendendo a Indeterminado

As variáveis de controle utilizadas para recursos de otimização podem ser observadas através do quadro 2.

**Quadro 3. Variáveis de controle**

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
$V_{scc}$	Valor superior de controle de certeza
$V_{scct}$	Valor superior de controle de contradição
$V_{icc}$	Valor inferior de controle de certeza
$V_{icct}$	Valor inferior de controle de contradição

Portanto, a análise paraconsistente é traduzida utilizando-se os dados recebidos na forma grau de evidência desfavorável (descrença) representado por  $\mu$  e grau de evidência favorável (crença) representado por  $\lambda$ , gerando resultados nomeados de grau de contradição e grau de certeza, pelos quais para a tomada de decisão o sistema determinará um estado lógico (FERNANDES, 2012).

Conforme visto em Da Silva Filho, Lambert-Torres e Abe (2003) através de uma transformação linear entre valores de graus de evidência expostos em um Quadrado Unitário no Plano cartesiano (QUPC) e representados em um Reticulado de quatro vértices  $\tau$  pode-se definir valores correspondentes ao grau de certeza ( $G_c$ ) e ao grau de contradição ( $G_{ct}$ ).

O  $G_c$  é calculado conforme a equação 1.

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

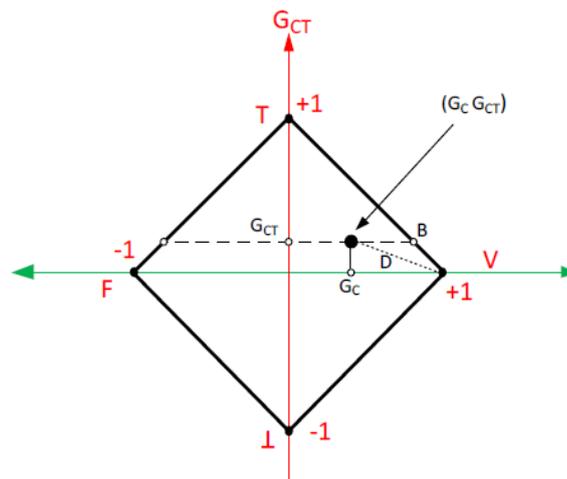
Seus valores são expostos no eixo horizontal do Reticulado da LPA2v.

O  $G_{ct}$  é calculado conforme a equação 2.

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

Seus valores são expostos no eixo vertical do Reticulado da LPA2v.

Em Da Silva Filho, Lambert-Torres e Abe (2003) é introduzido o Grau de certeza real ( $G_{CR}$ ), que é uma variável que tem como objetivo proporcionar um resultado mais aprimorado, livre do efeito da contradição. O grau de certeza real pode ser calculado, utilizando os graus de contradição ( $G_{ct}$ ) e os graus de certeza ( $G_c$ ), gerando o ponto ( $G_c, G_{ct}$ ). Partindo deste ponto, é possível traçar uma reta com distância  $D$  até o limite  $V$ , para o caso de  $G_c > 0$  e até o limite  $F$ , para o caso de  $G_c < 0$ . O ponto de interpolação e a distância são apresentados na figura 2 representado no vértice direito do grau de certeza real (DA SILVA FILHO et al., 2008).

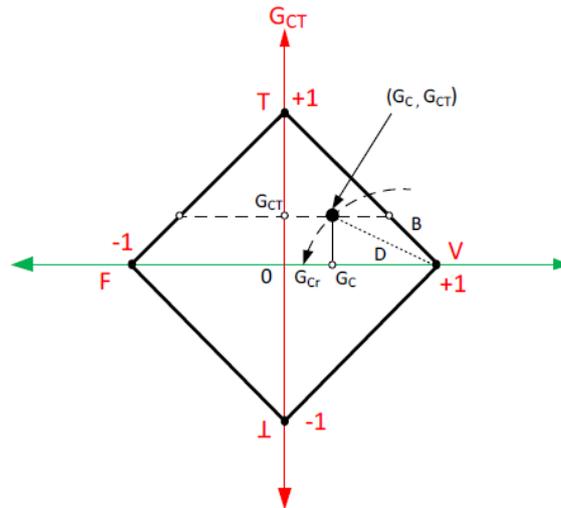


**Figura 2. Ponto de Interpolação ( $G_c, G_{ct}$ ) e distância  $D$ .  
Fonte: Coelho apud. Da Silva Filho et al. (2008)**

A determinação da distância  $D$  é realizada através da equação 3.

$$D = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2} \quad (3)$$

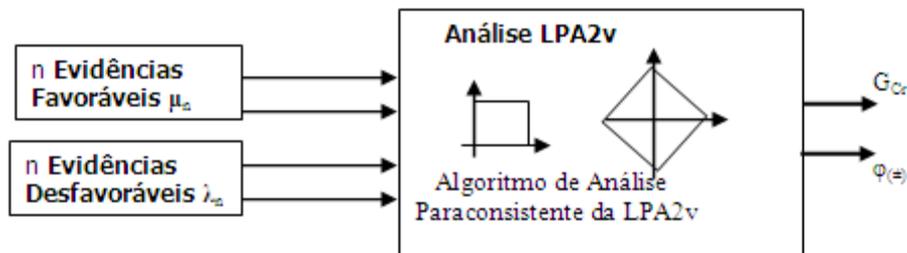
Após ser calculada a distância  $D$ , deverá ser obtido pela projeção da reta  $D$  o grau de certeza de valor real no eixo do grau de certeza, como é visto na figura 3.



**Figura 3. Grau de Certeza de valor resultante real –  $G_{cr}$  no reticulado.**  
**Fonte: Coelho apud. Da Silva Filho et al., (2008)**

A partir da LPA2v foram construídos algoritmos paraconsistentes classificados como Nó de Análise Paraconsistente (NAP) cuja função é produzir um tratamento e controle de sinais de informações contraditórias e incertas. Nas redes de análise paraconsistente, os NAPs fazem tratamento de sinais de informação conforme os fundamentos da LP. Com as entradas sendo alimentadas pelos Graus de Evidências gerados da base de dados de Conhecimento Incerto, os NAPs utilizam as equações obtidas da metodologia da LPA2v e vão obtendo os Graus de Certeza real GCR acompanhados de seus respectivos Intervalos de Certeza  $\phi$ . Este processo possibilita a obtenção de conclusões à respeito de determinadas proposições (DA SILVA FILHO, 2008).

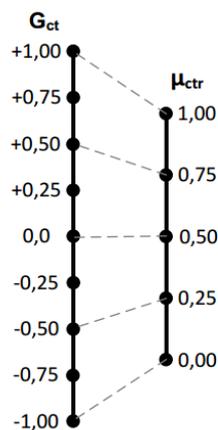
Apresenta-se na figura 4 um diagrama de blocos de um Nó de Análise Paraconsistente típico.



**Figura 4. Representação em bloco de um Nó de Análise Paraconsistente típico.**  
**Fonte: Da Silva Filho (2008).**

Segundo Da Silva Filho et al. (2008), cada NAP recebe uma anotação composta por valores de graus representativos das evidências favoráveis  $\mu$  e desfavoráveis  $\lambda$  a determinada proposição  $P$ . Portanto, em cada NAP se fará a análise de apenas uma única proposição na qual, com base nos conceitos da LPA2v, os sinais de evidências devem ser tratados. Desse modo devem-se considerar algumas normas, como as listadas no anexo A.

Para a padronização da resposta do NAP é realizada uma normalização no grau de contradição, assim os valores resultantes encontrados ficarão no intervalo real fechado entre 0 e 1. A relação entre os valores do Grau de Contradição ( $G_{ct}$ ) e os valores do Grau de Contradição Normalizado ( $\mu_{ctr}$ ) é apresentada na figura 5.



**Figura 5. Transformação de grau de contradição  $G_{ct}$  em grau de contradição normalizado  $\mu_{ctr}$ .**  
Fonte: Da Silva Filho et al. (2008)

Após a normalização, quando não há mais contradição entre os valores dos graus de evidência das entradas, o valor do grau de contradição normalizado assume o valor de 0,5.

O Grau de Evidência resultante real  $\mu_{Er}$  é considerado quando o valor calculado de  $\mu_E$  é livre ou reduzido dos efeitos devidos a presença da contradição, possuindo um sinal no intervalo real fechado entre 0 e 1, o Grau de Evidência resultante real é obtido calculando-se a princípio o valor do Grau de Certeza real através das equações (4) e (5) apresentadas a seguir: (DA SILVA FILHO et al., 2008).

Para  $G_c > 0$

$$G_{Cr} = 1 - \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2} \quad (4)$$

Para  $G_c < 0$

$$G_{Cr} = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2} - 1 \quad (5)$$

A sequência completa do algoritmo da LPA2v é apresentada no anexo B.

## 1.2 Modelagem do valor lógico paraconsistente com variação linear

Na extração do conhecimento das fontes de informações, é possível verificar que a grandeza  $x$  é linear de modo diretamente proporcional à variação das evidências a respeito de uma determinada proposição. O limite inferior da medição da grandeza é representado por  $a_1$  e o valor limite superior é representado por  $a_2$ . A figura 6 mostra o gráfico com variação do Grau de Evidência para esta situação (Da Silva Filho, 2008).

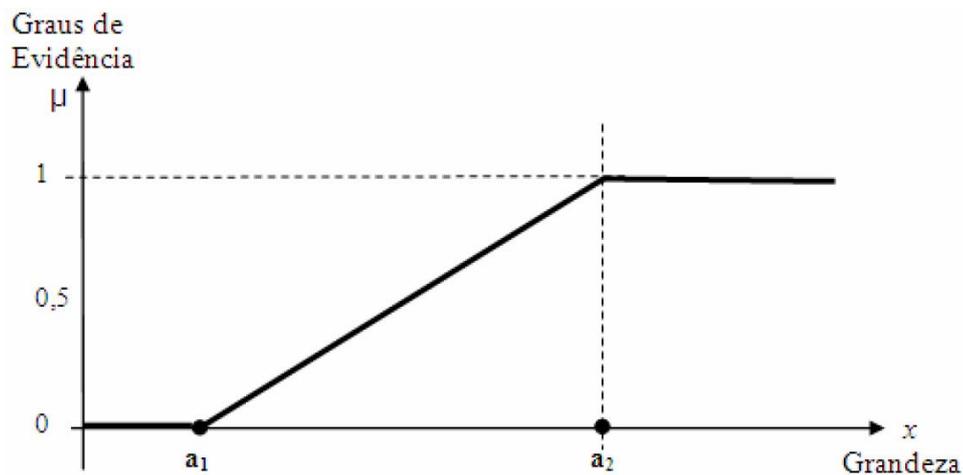


Figura 6. Gráfico de modelagem de sinais Lógicos Paraconsistentes.

Fonte: Da Silva Filho (2008).

O grau de evidência  $\mu$ , que tem seu valor variado de 0 até 1, é calculado utilizando os valores mínimo e máximo representados respectivamente por  $a_1$  e  $a_2$  como é mostrado na equação (6).

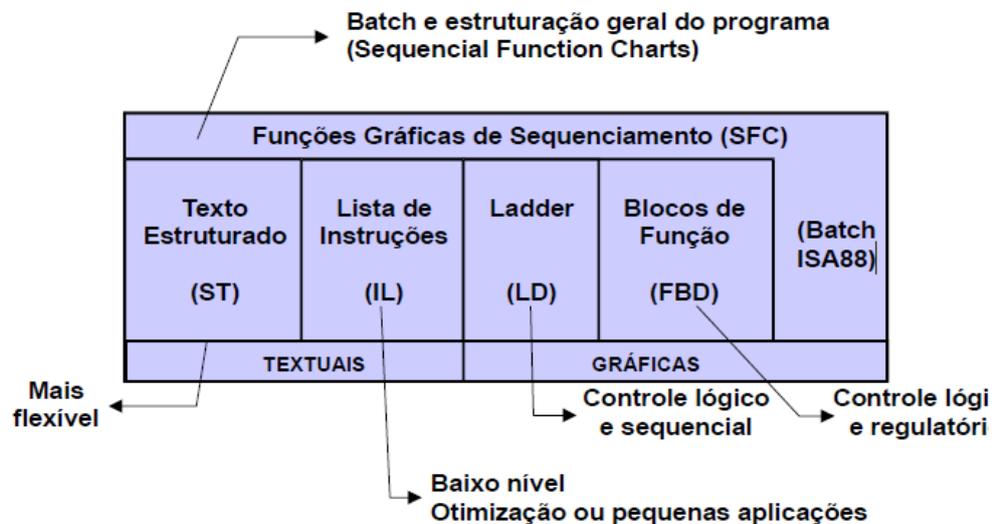
$$\mu_{(x)} = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{se } x \in [a_1, a_2] \\ 1, & \text{se } x > a_2 \\ 0, & \text{se } x < a_1 \end{cases}$$

(6)

### 1.3 Norma IEC 61131

A *International Electrotechnical Commission* (IEC) é uma comissão internacional, não governamental, sem fins lucrativos, formada por representantes de fabricantes, fornecedores, distribuidores e usuários de CPs pertencentes aos Comitês Nacionais dos países membros de todo mundo. Com sua sede desde 1948 em Genebra a IEC possui diversos centros regionais, dentre eles, um na América Latina, na cidade de São Paulo, no Brasil (FERNANDES, 2012).

A norma IEC 61131 estabelece em seu item três (3) a padronização de cinco (5) tipos de linguagens de programação, que serão classificados como Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC), Lista de Instruções (IL), Diagrama *Ladder* (LD), Diagrama de Blocos (FBD) e Texto Estruturado (ST). Na figura 7 apresenta-se os tipos de linguagem em conformidade a norma (FERNANDES, 2012).



**Figura 7. Divisão das linguagens em Textuais e Gráficas.**

**Fonte: Catálogo Altus MasterTool IEC**

A norma IEC 61131-3 foi, portanto, elaborada visando o atendimento às demandas da comunidade industrial e buscando uma padronização, tendo como principais aspectos a adoção de Linguagens de Programação, recursos Multitarefa e Reutilização de *Software* (FERNANDES, 2012).

## **1.4 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo aplicar um algoritmo denominado Nó de Análise Paraconsistente (NAP) pertencente a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), no controle de vazão de uma unidade experimental, como uma proposta de um método de alternativo de controle de processo.

## **1.5 Justificativa e Relevância do Tema**

Segundo Desborough (2002), em uma pesquisa realizada no ano de 2002, com mais de 11.000 malhas de controle analisadas em diversas plantas tais como: refinarias, indústrias químicas, de papel, etc., cerca de 97% eram controladas com o algoritmo PID.

Os processos industriais de automação contam com o controle Proporcional Integral e Derivativo (PID) em um Controlador Programável (CP) ou em controladoras dedicadas em PID. A Lógica Paraconsistente tem apresentado resultados satisfatórios em trabalhos utilizando os 12 reticulados (FERNANDES, 2012) e em controle híbrido (COELHO, 2015). Este trabalho propõe a inserção de um NAP em um CP atuando no controle de um processo de automação de acordo com a norma IEC 6113. A aplicação do NAP foi realizada em uma malha fechada de processo contínuo de controle de vazão em uma unidade experimental, trazendo a aplicação para o mais próximo da realidade (FERNANDES, 2012).

Apesar de ser uma nova aplicação com poucas referencias esta técnica possibilita a expansão da aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores em áreas industriais, para a realização da Automação e controle de variáveis de processo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é mostrada a unidade experimental onde foi aplicada a metodologia. Esta unidade é composta por um transmissor de vazão responsável por gerar o valor medido da Variável de Processo (PV). Um Controlador Programável (CP) cuja função é processar os sinais de PV e de *Setpoint* (SP). Um *drive* representado pelo inversor de frequência, cuja função é controlar a vazão da bomba através do controle de frequência. A metodologia aplicada para a criação do Bloco Funcional (BF) denominado NAP\_PARACON, foi inserir o algoritmo do NAP no CP, utilizando da linguagem de Texto Estruturado pertencente ao controlador.

### 2.1 Unidade experimental

A unidade experimental utilizada neste projeto de pesquisa representada na figura 8 foi adequada às características de um sistema de controle em malha fechada. Neste tipo de sistema, toda tomada de decisão e, conseqüentemente a ação de controle vão depender diretamente de um sinal monitorado por um elemento sensor na unidade experimental. Tendo sido a grandeza física vazão a escolhida como variável de controle, foram então utilizados na automação desse processo industrial, componentes tais como; um CP, um inversor de frequência como *drive*, o TAG FZ-200, que representa a bomba e é identificado como elemento de atuação, o TAG FT-200, que identifica o transmissor de vazão representando o elemento sensor para a realização da automação desse processo industrial. Para a realização no monitoramento das ações foi utilizando um *software* supervisor que possui recursos gráficos necessários para a aplicação desenvolvida.

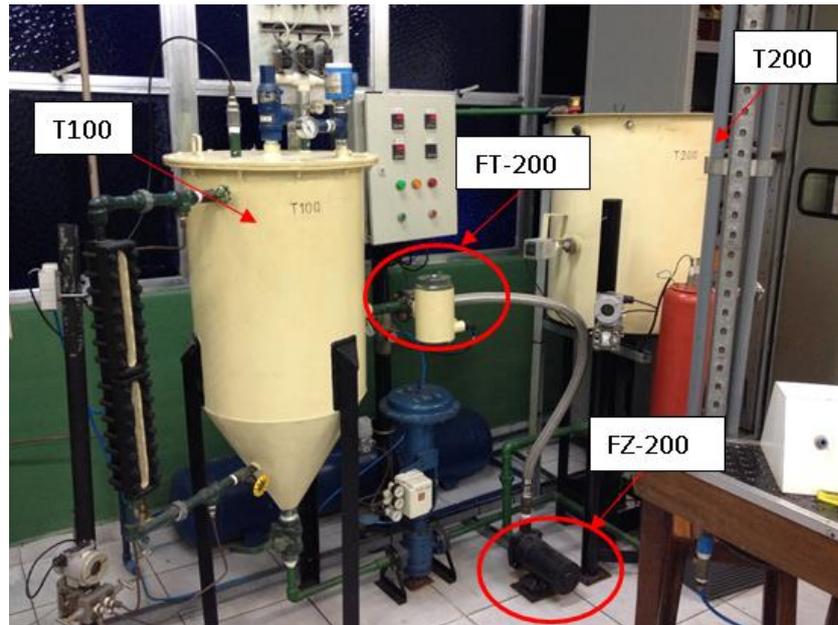


Figura 8. Unidade experimental

Como plataforma gráfica de desenvolvimento para a realização dos testes referentes a unidade experimental, foi utilizado um sistema de supervisão que é apresentado na figura 9. Composta por dois tanques, essa planta apresenta o TA100 como um vaso e o TA 200 como sendo um tanque aberto.

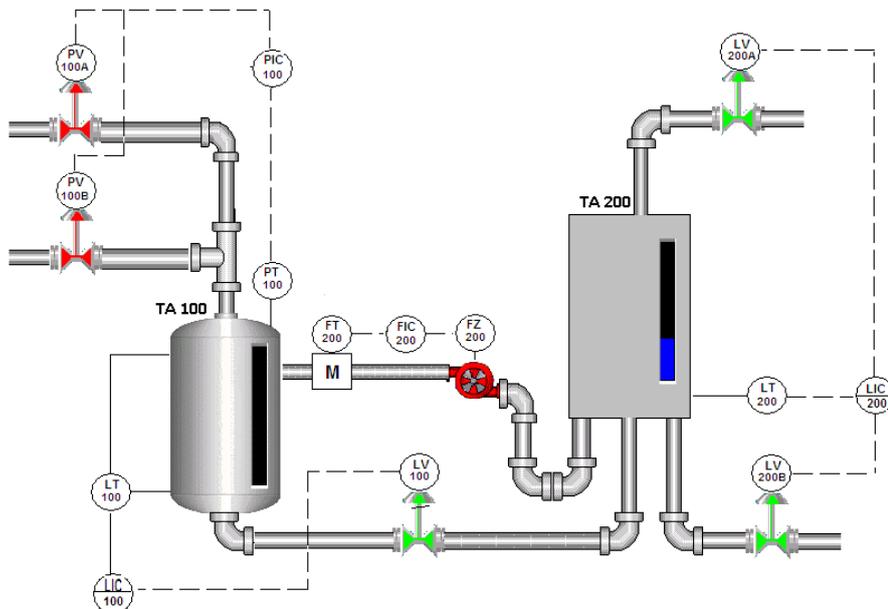


Figura 9. Representação da unidade experimental no software InduSoft Web Studio.

## 2.2 Linguagem de Programação

A linguagem Texto Estruturado (ST) *Structured Text*, utilizada na aplicação é estabelecida na IEC 61131-3 como uma programação de alto nível e sintaxe similar a linguagem em Pascal da norma *International Organization for Standardization* (ISO) 7185. É definida como uma linguagem baseada em texto, em comparação com o diagrama *ladder* que é baseado em gráficos. A aplicação principal é no desenvolvimento de programas computacionais em controle industrial e possui a capacidade de descrever o comportamento de programas, blocos funcionais, funções, além de passos, ações e transições na linguagem SFC. A linguagem de Texto Estruturado possui característica de flexibilidade, no entanto necessita de especialistas em desenvolvimento de *softwares* para a construção de aplicações voltadas à indústria. Apresenta-se na figura 10 a linguagem ST (FERNANDES, 2012), (PETER, 2015).

```

0052
0053 (**Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante*)
0054
0055 IF ucctr < 50 THEN
0056     intervalo_S:= - intervalo_E;
0057 END_IF
0058
0059 IF ucctr > 50 THEN
0060     intervalo_S:= intervalo_E;
0061 END_IF
0062
0063 IF ucctr = 50 THEN
0064     intervalo_S:= 100;
0065 END_IF
0066
0067 (* Determine o sinal da Saida*)
0068
0069 S1:= REAL_TO_INT(uER);
0070 S2:= intervalo_S;
0071
0072
0073 END_IF
0074

```

Figura 10. Linguagem ST.

## 2.3 Elemento de Controle - Controlador Programável (CP)

Na malha de testes utilizando a vazão como variável manipulada, foi utilizado como elemento de controle do processo o CP da marca ALTUS DU351. Este controlador programável atende a norma 61131-3 que preconiza a reutilização de código e modularidade. Apresenta-se na figura 11 o controlador programável juntamente com os equipamentos FT-200, Bomba e Inversor conectados ao CP que possui uma *interface* composta por teclado e *display* representado uma *Interface* Homem Máquina (IHM).



Figura 11. Representação da Instalação do CP DU351.

### 2.3.1 Construção do Bloco Funcional NAP\_PARACON para o CP

O bloco funcional (NAP\_PARACON) foi construído utilizando o Texto Estruturado como linguagem de programação para a inserção do Algoritmo do NAP da LPA2v, ação esta que utilizou as técnicas de programação estruturadas na norma IEC 61131-3. O NAP\_PARACON representado na figura 12 engloba funções de uma lógica não clássica, sendo que suas características facilitam a implementação em sistemas de controle de automação baseados em fundamentos da Lógica Paraconsistente. Além disso, a modularidade desse Bloco Funcional permite a sua inserção em conjunto com lógicas clássicas e em sistemas baseados em outras linguagens pertencentes a Norma, como por exemplo a linguagem *Ladder*.

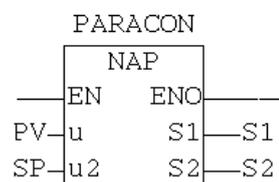


Figura 12. Bloco funcional NAP\_PARACON.

O bloco possui duas entradas, sendo SP e VP, representando respectivamente, Grau de Evidência favorável e Grau de Evidência desfavorável, as saídas são compostas pelo Grau de evidência resultante real (S1) e Intervalo de Evidência Resultante (S2).

A seguir é apresentada na figura 13 a declaração de variáveis da

programação para a coleta de dados iniciais da Função NAP. Toda a programação (**Apêndice A**) foi realizada na linguagem de Texto Estruturado contendo as operações matemáticas que foram utilizadas na sequência do programa.

0001	FUNCTION_BLOCK NAP
0002	VAR_INPUT
0003	EN: BOOL;
0004	u: REAL;
0005	u2: REAL;
0006	END_VAR
0007	
0008	VAR_OUTPUT
0009	ENO: BOOL;
0010	S1: REAL;
0011	S2: REAL;
0012	uctr: REAL;
0013	END_VAR
0014	
0015	VAR
0016	desf: REAL;
0017	intervalo_E: REAL;
0018	Gc: REAL;
0019	Gct: REAL;
0020	D: REAL;
0021	Gcr: REAL;
0022	Intervalo_S: REAL;
0023	uER: REAL;
0024	END_VAR

**Figura 13. Declaração de variáveis do bloco NAP\_PARACON.**

### 2.3.2 Adequação de valores para o Bloco Funcional NAP\_Paracon

A programação da Função NAP\_PARACON foi baseada no algoritmo do NAP da LPA2V. Para adequação dos valores de engenharia envolvidos na simulação os valores calculados dos graus de evidências favoráveis representados por  $\mu_1$  e  $\mu_2$  foram utilizados entre o intervalo de 0 e 100 representados através de valores inteiros. Na tabela 1 apresenta-se a comparação dos valores com os correspondentes fatores de aproximação utilizados.

**Tabela 1. Conversão adotada de valores representativos em real e inteiro**

Real	Inteiro
0,00	0
0,01	1
0,1	10
1,0	100

### 2.3.3 Construção do BF de Modelagem de Valor Lógico Paraconsistente (MVLP)

Para os testes do NAP\_PARACON em um processo industrial, foi necessário realizar a adequação do Grau de Evidência Resultante real ( $\mu_{ER}$ ) denominado S1 com a faixa de valores utilizada no processo, para isso foi utilizado a modelagem de sinal com valor linear, sendo a valoração do S1 com variação linear e diretamente proporcional à grandeza utilizada no processo que foi a vazão. A figura 14 mostra o gráfico referente a esta modelagem.

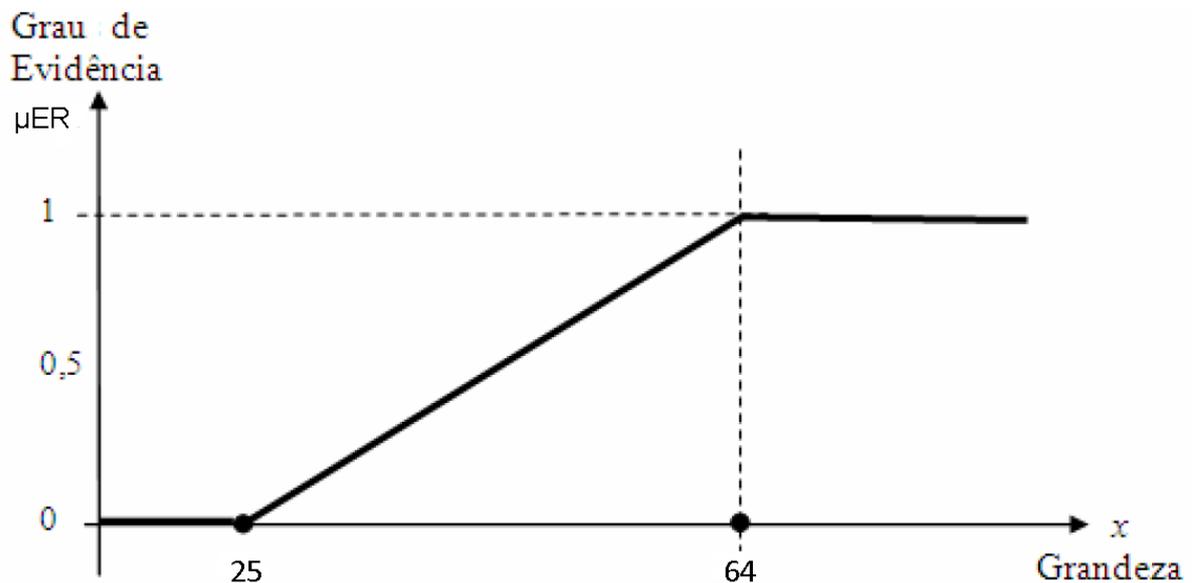
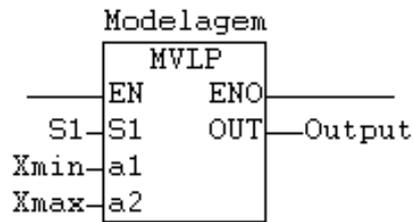


Figura 14. Modelagem de sinais Lógicos Paraconsistentes.

O Grau de Evidência Resultante Real ( $\mu_{ER}$ ), que tem o valor variado de 0 a 1 e a variável manipulada (MV) tem o valor variado de 25 a 64 representando respectivamente  $a_1$  e  $a_2$ , utilizando a equação 6, obteve-se a equação 7.

$$X = a_1 + (\mu_{ER} * (a_2 - a_1)) \quad (7)$$

Para a realização desta modelagem foi construído um bloco de sintonia denominado de Modelagem do Valor Lógico Paraconsistente (MVLP) com a função de receber o sinal de S1, gerando o sinal de saída OUT correspondente a variável manipulada (MV). Este BF utilizou as técnicas de programação estruturadas na norma IEC 61131-3. Apresenta-se na figura 15 o bloco MVLP.



**Figura 15. Bloco Funcional MVLP.**

O bloco funcional MVLP foi criado utilizando a linguagem de Texto Estruturado que é mostrado junto com a declaração de variáveis do bloco na figura 16.

0001	FUNCTION_BLOCK MVLP
0002	VAR_INPUT
0003	EN: BOOL;
0004	S1: REAL;
0005	a1: REAL;
0006	a2: REAL;
0007	END_VAR
0008	VAR_OUTPUT
0009	ENO: BOOL;
0010	OUT: REAL;
0011	END_VAR
0012	VAR
0013	uer: REAL;
0014	END_VAR
0001	EN;
0002	ENO;
0003	uer:=S1/100;
0004	OUT:=a1+(uer*(a2-a1));
0005	

**Figura 16. Declaração de variáveis e Programação em ST do MVLP.**

### 3. RESULTADOS

Seguindo os conceitos de modularidade e reaproveitamento de código da norma IEC61131-3 os blocos NAP\_PARACON e MVLP foram inseridos no programa principal (**Apêndice B**) PLC\_PRG que, por sua vez, já havia sido previamente configurado para trabalhar em linguagem *Ladder*.

Para análise e testes de aplicação do bloco NAP\_PARACON foi utilizada uma unidade experimental para o controle de vazão. Portanto, o controle da variável de processo (PV) é monitorado pelo transmissor de vazão representado por FT 200 que transmite um sinal de 4 a 20 mA sendo este instalado na entrada analógica AI3 do CP.

O processo possui uma bomba cuja função é transferir o fluido no tanque (TA 200) para o tanque (TA 100) que tem a rotação controlada por um inversor de frequência, este recebe um sinal da saída analógica AO1 do CP de 0 a 20 mA.

A unidade experimental é baseada no controle em malha fechada através de um CP DU351, onde este utiliza o Bloco Funcional NAP\_PARACON estabelecido pela norma 61131-3 e, que teve sua construção baseada no algoritmo NAP pertencente a lógica não-clássica denominada de Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de dois Valores (LPA2V).

#### 3.1 Modelagem de sinais de entrada do CP

A malha de vazão utilizada no projeto trabalha em um *range* de 0 a 150 l/h (litros por hora). Nela, um elemento sensor Transmissor de vazão do fabricante ADMAG, está instalado para transferir o fluido de um tanque aberto para o outro fechado, este elemento envia o sinal que representa a PV para a entrada analógica do CP DU351 da marca ALTUS. Este sinal é então convertido para um número inteiro entre 0 e 100 para que possa ser analisado e manipulado pelo bloco NAP\_Paracon. A tabela 2 fornece os dados referente aos valores resultantes de vazão em l/h relacionados com os valores de corrente elétrica em mA (Miliampères) gerados pelo transmissor de vazão FT200.

Tabela 2. Representação do sinal de entrada PV

PV	I/h	mA
10	15	5,3
20	30	6,9
30	45	8,5
40	60	10,2
50	75	11,7
60	90	13,2
70	105	14,8
80	120	16,5
90	135	18,1
100	150	19,6

### 3.2 Modelagem de sinais de saída do CP

O bloco NAP\_PARACON inserido no programa PLC\_PRG compara o sinal da PV com o sinal do SP que é digitado pelo operador através do *software* supervisor. Após a comparação de sinais o bloco fornece em sua saída um valor também em número inteiro dentro do mesmo *range*, ou seja, de 0 a 100. Nesta análise, o algoritmo NAP presente no NAP\_Paracon, traduz a análise paraconsistente através das informações recebidas na forma de grau de evidência favorável ( $\mu$ ) e evidência favorável ( $\mu_2$ ), resultando no valor de grau de evidência resultante real ( $\mu_{er}$ ) representando número inteiro entre 0 e 100 gerado pelo bloco NAP\_Paracon, este foi conectado ao bloco MVLP que realiza a modelagem do S1 para o sinal de saída denominado Out. A tabela 3 fornece os dados resultantes referente as conversões efetuadas.

Tabela 3. Representação do sinal de saída

S1	Out	Hz	mA
10	28	8	6,6
20	32	10	6,8
30	36	12	7,4
40	40	15	7,5
50	44	17	7,8
60	48	20	7,9
70	52	23	8,1
80	56	26	8,3
90	60	30	8,4
100	64	33	8,8

Foi possível analisar a equivalência dos dados, com o S1, que representa o grau de evidência resultante real, o Out, que representa o sinal de saída do bloco, a frequência em Hz do *drive* de controle, representado pelo inversor de frequência e a corrente elétrica em mA, que é saída analógica do CP.

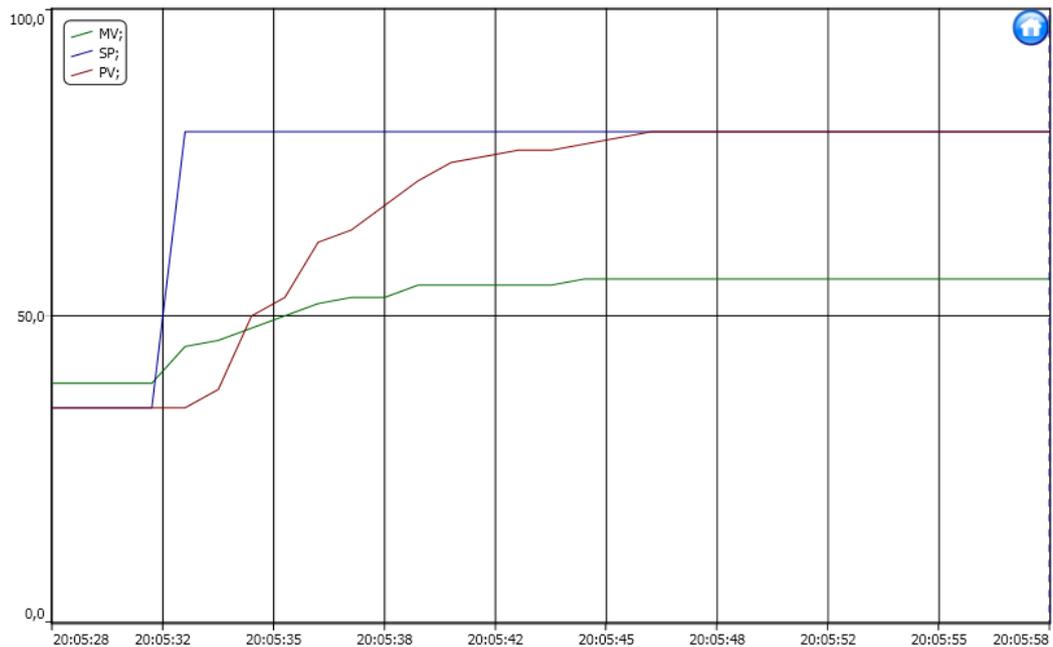
### 3.3 Resultados do Bloco NAP\_PARACON

Para a exibição dos resultados, foram inseridos no *software* de supervisão os valores correspondentes ao valor de vazão desejado (SP) e dos valores de a1 e a2. A figura 17 mostra os campos para inserção.

SP	<input type="text" value="0,00"/>
a1 (Min)	<input type="text" value="0,00"/>
a2 (Max)	<input type="text" value="0,00"/>

Figura 17. Área para inserção de valores no *software* supervisor.

Apresenta-se na figura 18 o comportamento do Bloco NAP\_PARACON para um SP de 80%, nesta situação a variável do processo estava em 35% representando uma vazão de 52,5l/h e o valor desejado de SP igual a 80% representando uma vazão de 120l/h essa diferença entre os valores foi tratada pelo bloco, resultando na correção do valor da PV.



**Figura 18. Resposta do Bloco NAP\_PARACON para um SP 80%.**

Apresenta-se na figura 19 o teste realizado inicialmente com a VP em 45% (67,5 l/h) e o SP para 35% (52,5 l/h), na figura 20 é mostrado o teste com a VP em 80% (120 l/h) e o SP para 45% (67,5 l/h), estes testes comprovam que foi possível controlar a vazão na unidade experimental utilizando o algoritmo do NAP pertencente à Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores.



Figura 19. Resposta do Bloco NAP\_PARACON para um SP 35%.

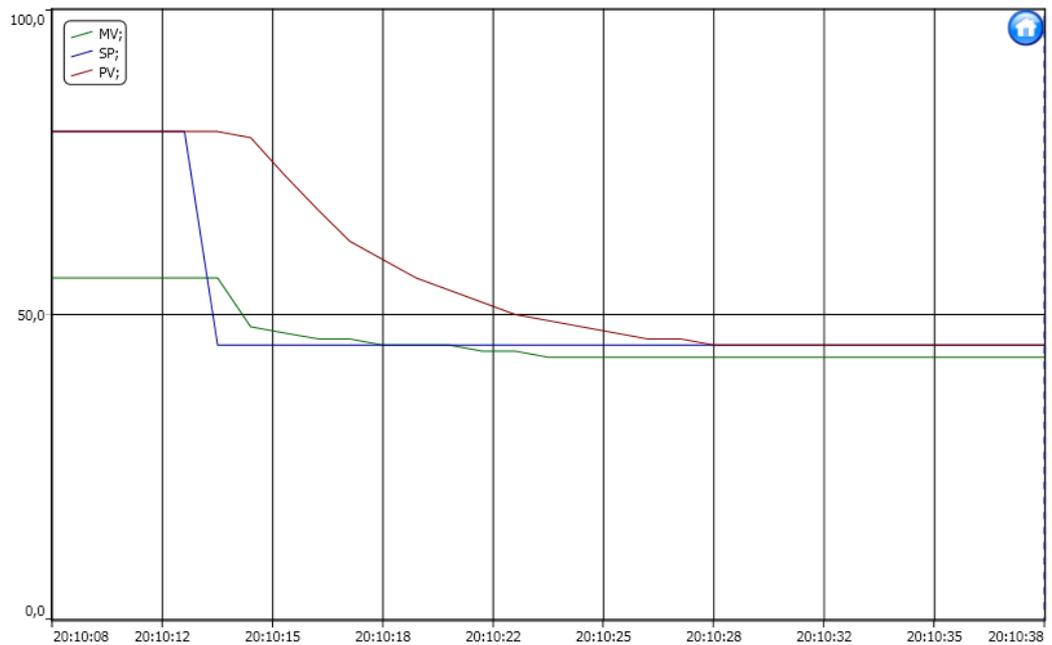


Figura 20. Resposta do Bloco NAP\_PARACON para um SP 45%.

## 4. DISCUSSÃO

Para comprovar a eficiência do Bloco NAP\_PARACON, foi aplicado na mesma unidade experimental (malha vazão) de estudo, um bloco PID, este que atualmente é consolidado no mercado da automação industrial.

### 4.1 Bloco PID utilizado para a comparação com o bloco NAP\_PARACON

Para a verificação da funcionalidade do bloco NAP\_PARACON foi necessário a realização da comparação com um bloco já consolidado, esse denominado PID que é apresentado na figura 21.

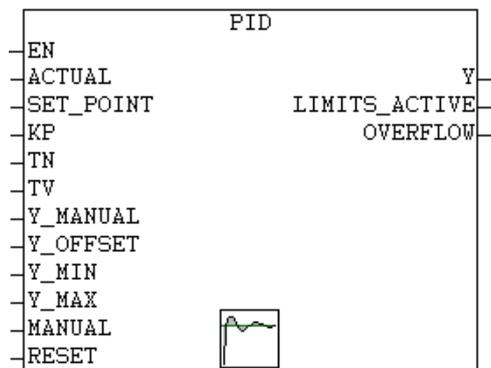


Figura 21. Bloco PID

Neste trabalho foi utilizado o mesmo método apresentado em Barbuy et al. (2001) e Barbuy et al. (2003). Para encontrar os parâmetros da malha de controle de vazão inicialmente foram efetuados testes na unidade experimental para se determinar o tempo de resposta do sistema, ou seja, sua constante de tempo ( $\tau_{atuador}$ ) cujo valor foi utilizado para cálculo da constante Integral do Bloco PID, com o zero do controlador PI cancelando o polo do atuador. A bomba foi ligada a uma velocidade constante, controlada pelo inversor de frequência, mantendo a vazão constante. Em seguida, no intuito de se determinar a constante de tempo da malha de vazão, foi gerado um degrau na saída do controlador. Com esta configuração, na figura 22 pode ser observado um valor de 60 % correspondente a 90 l/h, que foi utilizado como variável de processo, para um *Setpoint* de 80 % correspondente a 120 l/h, valor requerido pelo sistema. Os TAGs “SP” e “PV”, podem ser observados na tela do supervisório utilizado no controle do CP DU 351.

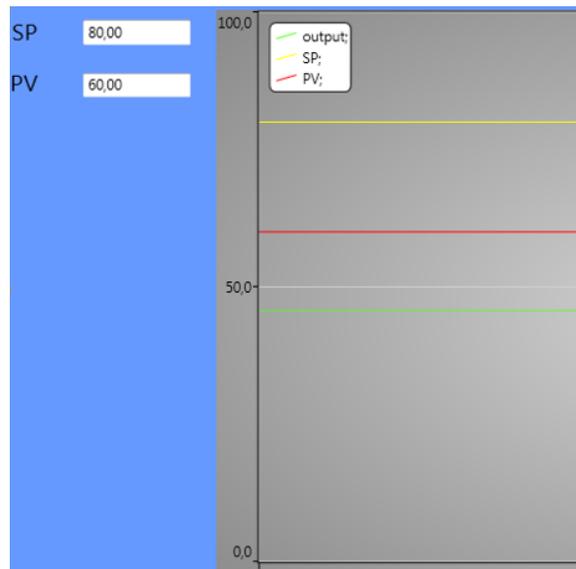


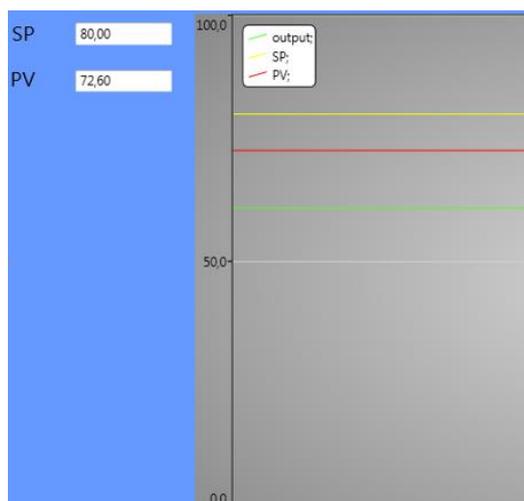
Figura 22. Estado inicial da malha de vazão

A partir da diferença das vazões, em que 60% é reconhecida como a variável de processo, e sendo o valor desejado de *Setpoint* de vazão igual a 80%, foi possível determinar o tempo de resposta ( $\tau_{atuador}$ ) da malha, conforme pode ser verificado na figura 23.

Através de um *Span* de 20 % equivalente a 30 l/h - diferença algébrica entre os valores superior e inferior da faixa de operação, o valor de 72,6% corresponde aproximadamente a 51,8 l/h, equivalente a 63,3% da variação deste *Span* foi alcançado em um tempo de 3 segundos, em quatro diferentes testes efetuados. Logo: aplicando a equação 6.

$$Ki_{isa} = \frac{1}{\tau_{atuador}} = \text{Polo do atuador} \quad (6)$$

$$Ki_{isa} = \frac{1}{\tau_{atuador}} = \frac{1}{3} = 0,33$$



**Figura 23. Determinação da constante de tempo no controle de vazão.**

No procedimento da determinação do ganho Proporcional ( $K_p$ ) foram efetuados quatro testes, aumentando-se gradativamente o valor da parcela da ação Proporcional até o valor máximo, sem a vazão ultrapassar o valor desejado. Isto originou um  $K_p$  correspondente ao amortecimento crítico, cujo valor encontrado foi  $K_p = 0,75$ . Com os valores de  $K_i$  e  $K_p$  definidos, estes foram inseridos no bloco PID do DU 351, sendo possível, então, ser verificada a resposta do sistema.

Foi verificado que, após ser transcorrido o equivalente a cinco constantes de tempo a malha se estabilizou, mantendo a vazão da Variável de Processo dentro do valor estabelecido pelo *Setpoint*. Na utilização deste bloco, foi necessário configurar as variáveis sendo adotado a escala de 0 a 100, possibilitando assim, uma comparação efetiva com o bloco NAP\_PARACON. Foi declarado as variáveis do bloco PID apresentadas no quadro 4.

**Quadro 4. Variáveis do Bloco PID**

Variável	Descrição
Funcao_PID: PID	Função PID
Entrada_analogica: REAL	Entrada analógica
Setpoint: REAL	Valor desejado
Ganho_proporcional: REAL := 0.75	Ganho Proporcional
Ganho_integral: REAL := 3	Ganho Integral
Ganho_derivativo: REAL := 0;	Tempo de ação derivada

Fora aplicado na malha de vazão a programação em *ladder* do bloco PID representado pela figura 24.

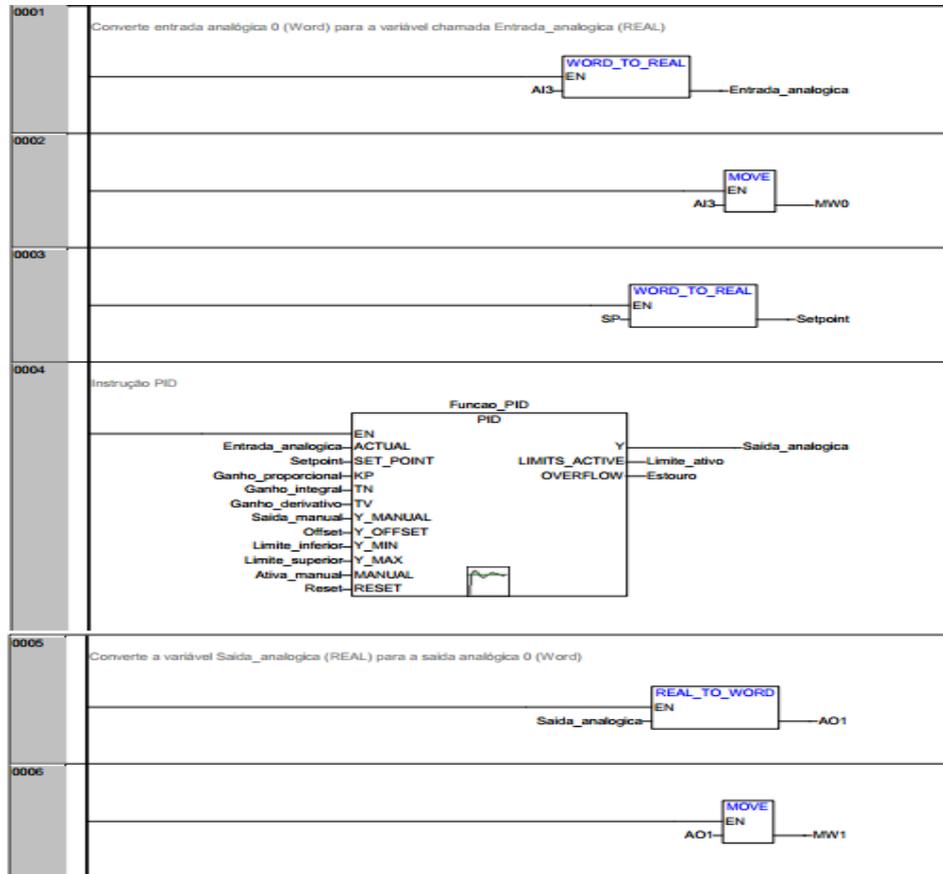


Figura 24. Programação em ladder do PID.

#### 4.1.1 Resultado do Bloco PID

O gráfico da curva de resposta do Bloco PID do CP DU 351, com os respectivos valores de  $K_i$  e  $K_p$  utilizados como parâmetros, são apresentados nas figuras 25 e 26. Verifica-se que com o controle PID o sistema se mostrou estável a partir da atribuição dos valores dos ganhos proporcional e integral.

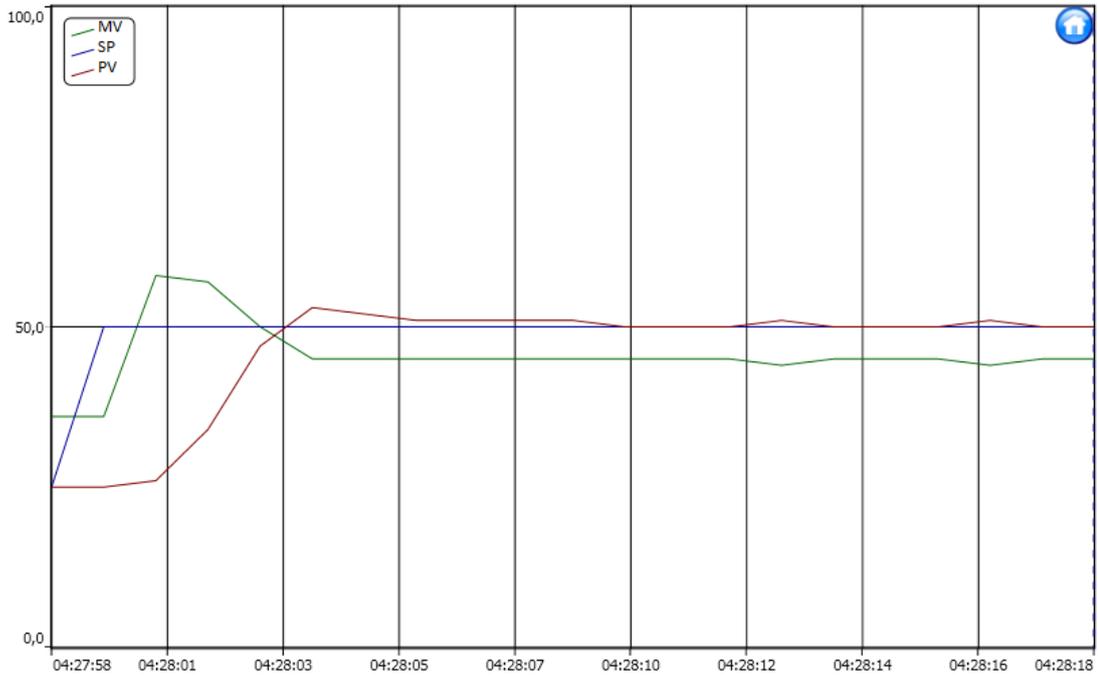


Figura 25. Resposta do Bloco PID na malha de vazão para um SP 50%.

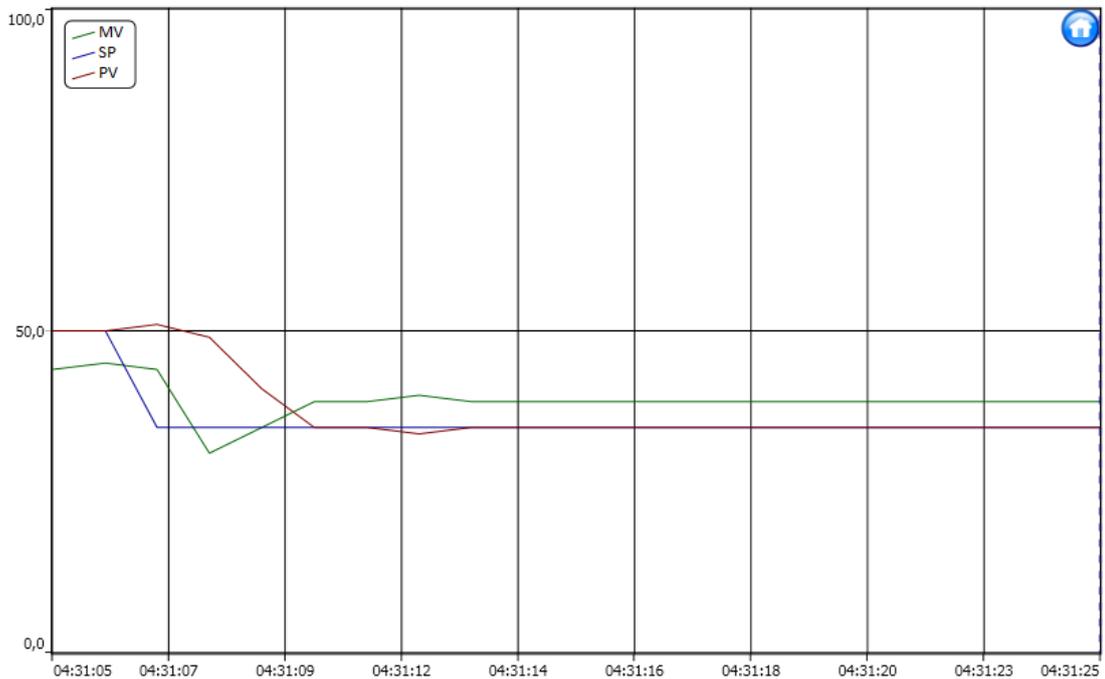


Figura 26. Resposta do Bloco PID na malha de vazão para um SP 35%.

## 5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa verificou-se o desenvolvimento de um método paraconsistente de controle com a implementação de um Bloco Funcional baseado na LPA2V utilizando um algoritmo do NAP em um Controlador Programável (CP) fundamentando a programação na Norma IEC 61131-3. Essa implementação atende a norma em seu item 7, cujo teor trata de incentivo as pesquisas com lógicas não-clássicas. Os resultados obtidos ampliam ainda mais campo de desenvolvimento para utilização de lógicas não-clássicas aplicadas a Sistemas de Controle e Automação com a utilização de CPs. A implementação do bloco funcional NAP\_PARACON, oferece um método coerente com a norma IEC 61131 em seus itens 3 e 7.

Seguindo a proposta desta pesquisa, o algoritmo proveniente da LPA2V foi implementado em linguagem de Texto Estruturado com a criação de uma função que deu origem a um bloco funcional denominado NAP\_PARACON na linguagem FBD. Desta forma, com a criação do bloco, foi possível sua inserção para os devidos testes em uma linguagem de programação *Ladder*, ou seja, foi criado um módulo (ou biblioteca) para ser utilizado em tempo de execução.

Como a unidade experimental onde foi aplicado o bloco NAP\_PARACON necessita tratar a contradição entre SP (u) e VP (u2), assim o grau de contradição normalizado atendeu a necessidade desta aplicação, o bloco oferece ainda como saída S1 (Grau de evidência resultante real) e S2 (Intervalo de Evidência Resultante), que pode ser usado de acordo com a necessidade de cada aplicação, devido a modularidade do bloco.

Os resultados obtidos dos estudos do comportamento da malha de vazão comprovam que o NAP pertencente a LPA2V se torna um método alternativo em controle de processos. Esse desenvolvimento prova a eficiência da LPA2V aplicada em processos contínuos utilizando CP.

Apesar desta implementação somente foi testada em uma malha de controle de vazão, pode-se afirmar que esta pesquisa vem contribuir para futuros desenvolvimentos utilizando a lógica paraconsistente aplicada em processos industriais.

## 6. VERSÃO COMPACTA

### Um sistema de controle adaptativo utilizando algoritmo da Lógica Paraconsistente aplicado à uma unidade experimental no controle de vazão

Leonardo do Espirito Santo<sup>1</sup>, João Inácio da Silva Filho<sup>1</sup>, Cláudio Luís Magalhaes Fernandes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNISANTA- Universidade Santa Cecília – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEMec - Rua Oswaldo Cruz, 288, Boqueirão, Santos-SP CEP- 11045-000.

Email: [leonardosantoe@gmail.com](mailto:leonardosantoe@gmail.com)

**Resumo:** A Lógica Paraconsistente - LP tem sido aplicada com êxito em hardware na robótica, em controle de processos contínuos de malha fechada, na automação industrial, em controles híbridos combinando a LP com o controle Proporcional, Integral e Derivativo – PID. Esta pesquisa teve como objetivo a aplicação e análise de comportamento de um Nó de Análise Paraconsistente (NAP) pertencente a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) em um sistema de automação industrial contendo um processo contínuo de malha fechada para controlar a vazão do sistema, utilizando um Controlador Programável (CP). O NAP apresentou comportamento equivalente em comparação ao sistema já consolidado PID, demonstrando ser uma alternativa para o controle de processos em malha fechada, atendendo a norma IEC 61131-3.

**Palavras Chave:** Automação Industrial. IEC 61131-3. Lógicas não-clássicas. Lógica Paraconsistente. algoritmo. Controle de vazão.

#### An Adaptive Control System Using Algorithm of Paraconsistent Logic Applied to an Experimental Unit in Flow Control

**Abstract:** The Paraconsistency Logic - LP has been successfully applied in hardware in robotics, closed loop continuous process control, industrial automation, hybrid controls combining LP with Proportional, Integral and Derivative - PID control. This research had the objective of applying and analyzing the behavior of a Paraconsistent Node (PAN) belonging to Paraconsistent Logic Annotated with two-valued annotation (LPA2v) in an industrial automation system containing a continuous process of closed loop to control the flow using a Programmable Controller (CP). The NAP presented an equivalent behavior in comparison to the already consolidated PID system, proving to be an alternative for closed loop process control, according to the IEC 61131-3 standard.

**Keywords:** Automation. IEC 61131-3. Paraconsistent Logic. Paraconsistent Logic Annotated with two-value annotation. Paraconsistent Parsing node.

### Introdução

Os diversos processos da indústria têm tornado seu gerenciamento cada vez mais complexo, que aumenta proporcionalmente ao crescimento da qualidade nos produtos e

serviços, assim como a velocidade na logística de produção e entrega ao cliente final. Esses processos geram uma grande quantidade de dados que devem ser geridos e interpretados na etapa de controle, através dos controladores, dispositivos de campo, *software* de monitoramento e sistemas de inteligência artificial [1] [2] [3].

A área da ciência da computação e suas aplicações em sistemas inteligentes é um grande campo para a aplicação da Lógica Paraconsistente (LP), assim como a automação, robótica, sistemas especialistas dentre outros. A Lógica Paraconsistente surge como uma Lógica alternativa a lógica clássica [4].

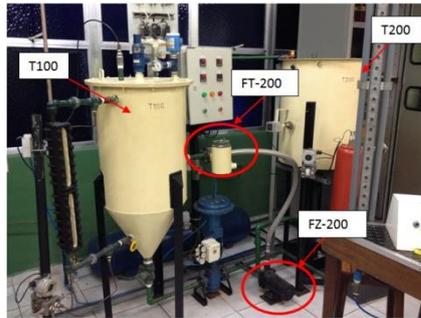
Uma Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) é uma classe de Lógica Paraconsistente que representa uma família de lógicas não-clássicas empregadas inicialmente em programação lógica por Subrahmanian [5]. Posteriormente Blair e Subrahmanian construíram a teoria geral da programação anotada que resultaram em aplicações em bases de dados que contem contradições [5].

A Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores - LPA2v apresenta-se adequada quando o conhecimento de evidências é utilizado para solucionar conflitos, quando ocorrem diversas inferências inconsistentes [6]. Através da LPA2v foram construídos algoritmos paraconsistentes classificados como NAP cuja função é produzir um tratamento e controle de sinais de informações contraditórias e incertas. Cada Nó de Análise Paraconsistente (NAP) recebe uma anotação composta por valores de graus representativos das evidências favoráveis  $\mu$  e desfavoráveis  $\lambda$  a determinada proposição P [5]. Portanto, em cada NAP se fará a análise de apenas uma única proposição na qual, com base nos conceitos da LPA2v, os sinais de evidências devem ser tratados. Este trabalho tem como objetivo aplicar um Nó de Análise Paraconsistente (NAP) pertencente a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) no controle de um processo contínuo, composta de uma malha de vazão, utilizando como controle um CP – Controlador Programável.

## **Materiais e Métodos**

A unidade experimental utilizada neste projeto de pesquisa representada pela figura 1 foi adequada às características de um sistema de controle em malha fechada. Neste tipo de sistema, toda tomada de decisão e, conseqüentemente a ação de controle, vão depender diretamente de um sinal monitorado por um elemento sensor do processo. A variável selecionada foi a vazão e para esse controle foram escolhidos componentes para a realização

da automação do processo industrial como um Controlador Programável (CP), o *drive* selecionado foi um inversor de frequência responsável pelo controle de vazão da bomba, o TAG FZ-200 que representa a bomba que é identificada como elemento de atuação, o TAG FT-200 identifica o transmissor de vazão que representa o elemento sensor. Para a realização no monitoramento das ações foi utilizando um *software* supervisor que possui recursos gráficos necessários para a aplicação desenvolvida.

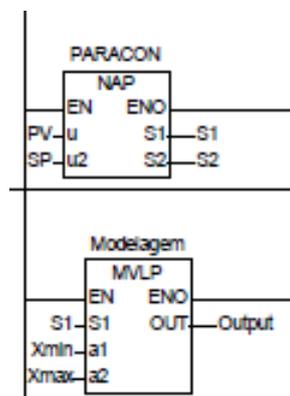


**Figura 1. Unidade experimental**

O bloco (NAP\_PARACON) que compõem Algoritmo do NAP da LPA2v utilizando as técnicas de programação estruturadas na norma IEC 61131-3.

Seguindo a proposta desta pesquisa, o algoritmo proveniente da LPA2V foi implementado em linguagem de Texto Estruturado com a criação de uma função que deu origem a um bloco funcional denominado NAP\_Paracon na linguagem FBD.

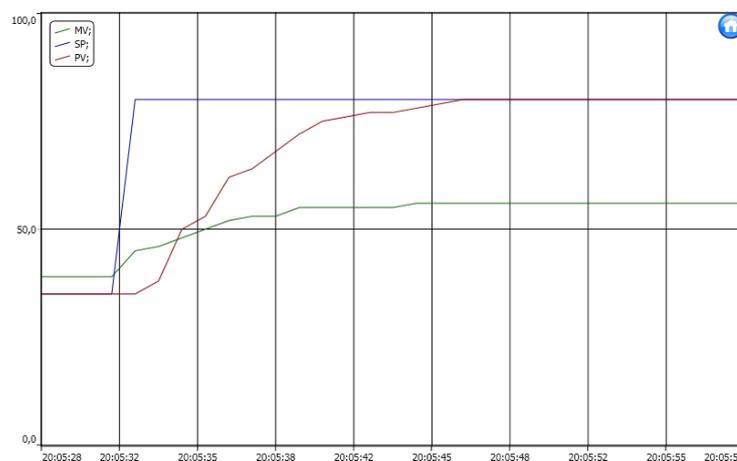
O bloco funcional (NAP\_Paracon) representado na figura 2 engloba características de uma lógica não clássica. Pode ser demonstrado que a sua modularidade facilita a implementação de sistemas de controle de automação baseados em fundamentos da Lógica Paraconsistente. Além disso, a modularidade deste Bloco Funcional permite a união de blocos que atuam em conjunto com lógicas clássicas e em sistemas baseados em outras linguagens pertencentes a Norma (*Ladder*).



**Figura 2. Conjunto de blocos NAP\_PARACON e MVL**

## Resultados

Foram realizados 20 testes com valores entre 0 e 100, todos apresentaram respostas que atendem a necessidade do processo, apresenta-se na figura 3 o comportamento do conjunto de blocos NAP\_PARACON e MVLP para um SP de 80%, nesta situação a variável do processo estava em 25% representando uma vazão de 52,5 l/h e o valor desejado de SP igual a 80% representando uma vazão de 120 l/h essa diferença entre os valores foi tratada pelo bloco, resultando na correção do valor da PV.



**Figura 3. Resposta do Bloco NAP\_PARACON para um SP 80%.**

## Conclusões

Os resultados obtidos dos estudos comparativos em uma malha de vazão, entre um controle utilizando o método convencional (PID) e o NAP, provam a eficiência da LPA2v em processos contínuos utilizando CP, devido ao fato de apresentar resultados equivalentes. Apesar de ser uma nova aplicação com poucas referências esta técnica utilizando Lógica Paraconsistente atende a norma IEC 61131-3 e apresenta vantagens, tais como baixo tempo de computação, facilidade nos ajustes dos parâmetros e extensão dos limites de controlabilidade possibilitando assim uma modularização no sistema e a reutilização do algoritmo.

## Referências bibliográficas

1. TAVARES COELHO, M.; COELHO JUNIOR, E.M.; QUINTINO, L.F.; PIAZZA, C.,A.,D.; DE ANDRADE, A.,A. **A evolução das tecnologias OPC como subsídio para as fábricas inteligentes.** 2016.

2. FERNANDES, C. L. M. **Lógica Paraconsistente Aplicada em Sistemas de Automação e Controle**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Cecília. Santos-SP, 2012.
3. COELHO, M. S. **Controle PI Híbrido com Lógica Paraconsistente Aplicado em malha de controle de nível em vaso pressurizado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Cecília. Santos-SP, 2015.
4. ABE, J. M. **Lógica Paraconsistente**, Seleção Documental - GLPA N.1 Ano 1 Ed. Paralogike - Santos - SP Brasil, pp. 5-10, 2006, ISSN: 1809-0648.
5. DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; TORRES, G. L. **Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes**. ISBN 978-85-216-1631-3, 2008.
6. DA SILVA FILHO, J. I.; Métodos de Aplicações da **Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v**, Seleção Documental - GLPA N.1 Ano 1 Ed. Paralogike - Santos - SP Brasil, 2006, ISSN: 1809-0648.

**Paper Submission #6547 for RevistaIEEE-AL**

1 mensagem

EIC-R9-LAT@iee.org <EIC-R9-LAT@iee.org>  
 Responder a: EIC-R9-LAT@iee.org  
 Para: EIC-R9-LAT@iee.org, leonardosantoe@gmail.com

18 de Junho de 2018 20:56

THIS IS AN AUTOMATIC MESSAGE. PLEASE, DON'T REPLY.  
 If you notice any problems, please contact the program chair at [EIC-R9-LAT@iee.org](mailto:EIC-R9-LAT@iee.org)

Thank you for your submission to RevistaIEEE-AL. Below is a copy of the information you submitted for your records.

Paper ID: 6547

Title: Adaptive control with algorithm based on Paraconsistent Annotated Logic  
 Title: Controle adaptativo com algoritmo baseado na Lógica Paraconsistente Anotada

Author1  
 Name: Leonardo Espirito Santo  
 Org: Universidade Santa Cecilia  
 Country: Brazil  
 Email: leonardosantoe@gmail.com

Author2  
 Name: João Inácio Da Silva Filho  
 Org: Universidade Santa Cecilia  
 Country: Brazil  
 Email: jnacio@unisant.br

Author3  
 Name: Maurício Conceição Mario  
 Org: Universidade Santa Cecilia  
 Country: Brazil  
 Email: cmario@unisant.br

Author4  
 Name: Cláudio Luis Magalhães Fernandes  
 Org: Universidade Santa Cecilia  
 Country: Brazil  
 Email: claudio\_lmf@unisant.br

Author5  
 Name: Rodrigo Silverio da Silveira  
 Org: Universidade Santa Cecilia  
 Country: Brazil  
 Email: rodrigosilverio@gmail.com

Other Authors:  
 Contact Author # 1  
 Contact All Email: leonardosantoe@gmail.com  
 Contact Phone: +55 13 974044283

Keywords: Industrial automation, IEC 61131-3, Non-classical logics, Logic, Paraconsistent, algorithm, Flow control.

Abstract: This article presents the implementation in Programmed Analysis Node (PAN) belonging to Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values (PAL2v). The PAN was installed in an experimental unit composed by two reservoirs, flow transmitter, pump and drive (variable speed inverter) where it was possible to perform the automation controlling the Flow in the mesh, and the monitoring of the process in a supervisory software for the displaying obtained values and for generation of the graphs. The results of this research presented the control behavior made by a PAN equivalent to that of a consolidated proportional-integral-derivative controller (PID), demonstrating that it is a new alternative for the Flow control of closed-loop processes through the action of an adaptive paraconsistent control. Despite being a new application still with few references, this technique, using Paraconsistent Logic, complies with the IEC 61131-3 standard for non-classical logic controllers and offers advantages such as: low computation time, ease of parameter setting and extension of controllability limits, thus enabling modularity in the system and the reuse of the algorithmic Controller (CP) of an algorithm called Paraconsistente.

Comments:  
 Paper: Included

**Revista IEEE América Latina**

Based on OpenConf Conference Management System. See Copyright notice at the bottom of the page.

[Site's Home](#) [Email Chair](#)

**Estado do artigo**

**Paper ID:** 6547

**Title:** Adaptive control with algorithm based on Paraconsistent Annotated Logic

**Submission data:** 2018-06-18

**Last update:**

**Authors:** Leonardo Espirito Santo  
 João Inácio Da Silva Filho  
 Maurício Conceição Mario  
 Cláudio Luis Magalhães Fernandes  
 Rodrigo Silverio da Silveira

**Paper awaiting Review.**

## REFERÊNCIAS

ABE, J. M. **Fundamentos da Lógica Anotada**, (Foundations of Annotated Logic) (in Portuguese), Ph. D. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

ABE, J. M. **Lógica Paraconsistente**, Seleção Documental - GLPA N.1 Ano 1 Ed. Paralogike - Santos - SP Brasil, pp. 5-10, 2006, ISSN: 1809-0648.

ABE, J. M. **Introdução a Lógica Paraconsistente Anotada**, Seleção Documental - GLPA N.1 Ano 1 Ed. Paralogike - Santos - SP Brasil, pp. 5-10, 2006, ISSN: 1809-0648.

ALTUS. **Catálogo CP DU351**

BARBUY, H. S.; GOLDEMBERG, C. **Regulador De Tensão De Gerador**. Boletim Técnico Da Escola Politécnica Da Usp. Bt/Pea, São Paulo, V. 621, N.Bt/Pea, P. 3121-3133, ISSN 1413-2214, 2001.

BARBUY, H. S.; ROCCO, A. ; FERNANDES, L. A. P.; GOLDEMBERG, C.. **Rectifier Choices For Synchronous Generator Excitation**. Anais do 7º Congresso Brasileiro De Eletrônica De Potência, Fortaleza/ Ceará/ Brasil, P. 160-166, 2003

COELHO, M. S. **Controle PI Híbrido com Lógica Paraconsistente Aplicado em malha de controle de nível em vaso pressurizado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Cecília. Santos-SP, 2015.

DA SILVA FILHO, J. I. **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v com construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. São Paulo, 1999.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M. **Introdução à Lógica Paraconsistente Anotada**. Santos-SP, 2000.

DA SILVA FILHO, J. I. & ABE, J. M., **Fundamentos das Redes Neurais Paraconsistentes – Destacando Aplicações em Neurocomputação**, (in Portuguese) Editora Arte & Ciência, ISBN 85-7473-045-9, 247 pp., 2001

DA SILVA FILHO, J. I.; Métodos de Aplicações da **Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v**, Seleção Documental - GLPA N.1 Ano 1 Ed. Paralogike - Santos - SP Brasil, 2006, ISSN: 1809-0648.

DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; TORRES, G. L. **Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes**. ISBN 978-85-216-1631-3, 2008.

DESBOROUGH, L.; MILLER, R., **Increasing Customer Value of Industrial Control Performance Monitoring - Honeywell Experience**, 6th International Conference on Chemical Process Control, AIChE Symp., Series 326, AIChE, New York, 2002, pp. 169-189.

FERNANDES, C. L. M. **Lógica Paraconsistente Aplicada em Sistemas de Automação e Controle**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Santa Cecília. Santos-SP, 2012.

GUIMARÃES H. C. F., **Norma IEC 61131-3 para Programação de Controladores Programáveis: Estudo e Aplicação**. Monografia de conclusão de curso Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC. **IEC61131-3 Programmable Controllers - Part 3. Programming Languages**, IEC, 1993.

Instrument Society of America (ISA): **ISA 5.1 – Instrumentation Symbols and Identification** (1984, revisão em 1992).

MÁRIO, M. C. **Proposta de aplicação das redes neurais artificiais paraconsistentes como classificador de sinais utilizando aproximação funciona**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia. 129 p.

Uberlândia- MG, 2003.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Explicando a Teoria PID**, 2011.

MANO, C. **O Fim do mundo como o conhecemos**. Revista Exame Ed. 1145, Ano 5, Nº17.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**, 2ª ed. – Prentice Hall, 1990

PETER, **Structured Text Tutorial to Expand Your PLC Programming Skills**, 2015

RAMOS, **Eclipse IDE for the programming languages of the standard IEC 61131**, Dissertação Realizada no Âmbito do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Telecomunicações, 2014.

TAVARES COELHO, M.;COELHO JUNIOR, E.M.; QUINTINO, L.,F.;PIAZZA, C.,A.,D.;DE ANDRADE, A.,A. **A evolução das tecnologias OPC como subsídio para as fábricas inteligentes**. 2016.

TEIXEIRA, S. **Um robô quer seu emprego**. Revista Exame Ed. 1145, Ano 5, Nº17.

YOKOGAWA. **User´s Manual. ADMAG AE. Models AE100, AE200 and AE 300. Integral Type Magnetic Flowmeter**. IM 1E7B0-02E. 16th Edition.

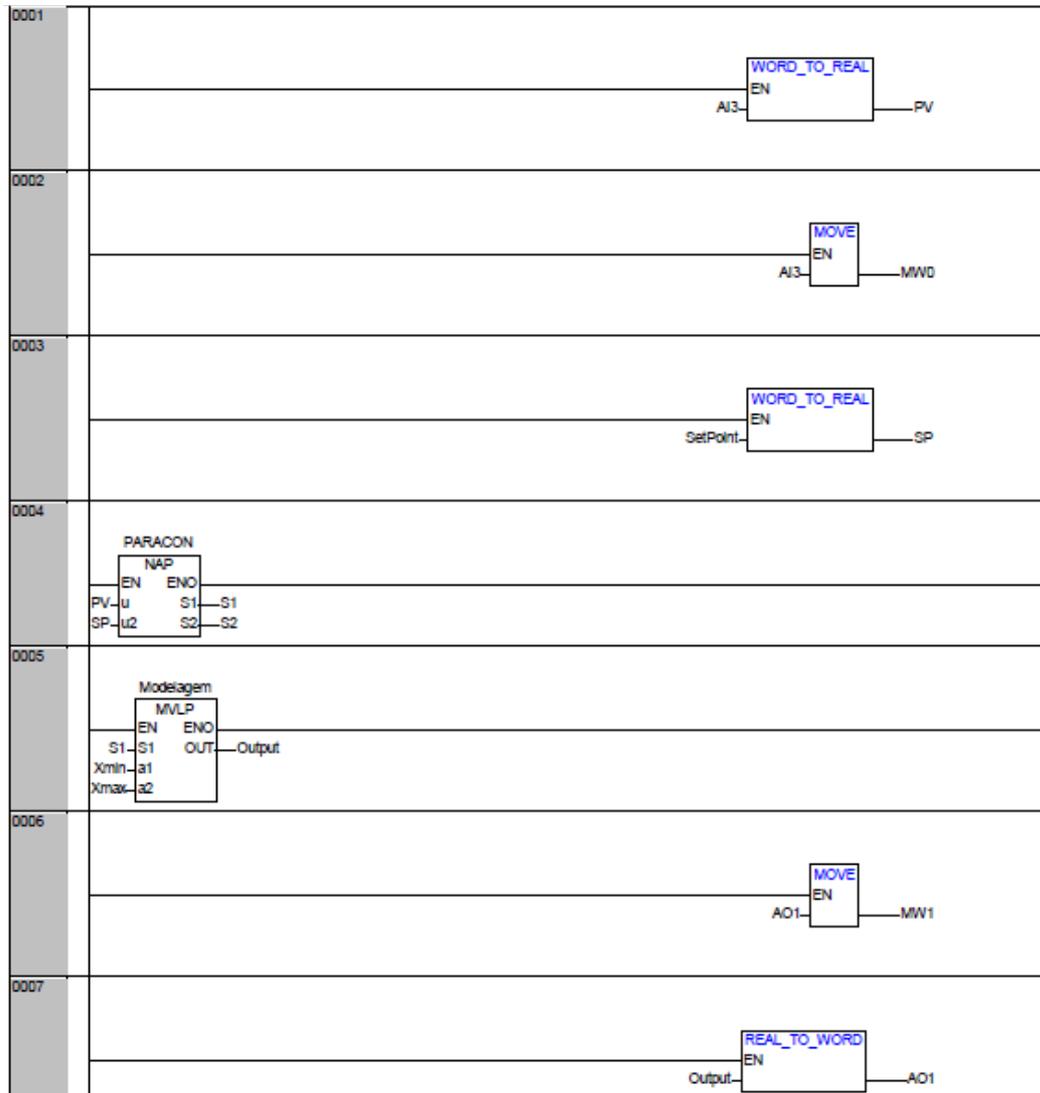
## APÊNDICE A – Programação completa do bloco NAP\_PARACON

```

EN;                                (* HabilitaBloco *)
ENO;
desf:= 100 - u2;                    (*Evidência Desfavorável*)
uctr:= ( u + desf)/2;              (*Grau de Contradição Normalizado *)
intervalo_E:= 100 - ABS(2 * uctr - 100); (*Intervalo de Evidência Resultante*)
Gc:= (u - desf);                   (*Grau de Certeza *)
Gct:= (u + desf) - 100;            (*Grau de Contradição*)
D:= SQRT (( 100 - ABS(Gc)) * (100 - ABS(Gc)) + (Gct * Gct)); (*Distância D*)
IF (Gc> 0) THEN
    Gcr:= 100 - D;
END_IF
IF (Gc< 0) THEN
    Gcr:= D - 100;                  (*Grau de Certeza Real*)
END_IF
IF (intervalo_E<= 25 OR D >100 ) THEN
    S1:= 50;
    S2:= Intervalo_S;              (* intervalo sinalizado*)
ELSE
    uER:= (Gcr + 100)/2;           (* Grau de Evidência Resultante real*)
IF uctr< 50 THEN
    intervalo_S:= - intervalo_E;
END_IF
IF uctr> 50 THEN
    intervalo_S:= intervalo_E;
END_IF
IF uctr = 50 THEN
    intervalo_S:= 100;
END_IF
S1:= REAL_TO_INT(uER);
S2:= intervalo_S;
END IF

```

## APÊNDICE B – Programação completa em *ladder*



## **ANEXO A – Normas do NAP**

1- Nos Sistemas ou Nós de Análise Paraconsistente-NAPs não devem ser somados, e nem subtraídos, ou consideradas as médias dos:

Graus de Evidências de entrada  $\mu$  e  $\lambda$ , Graus de Certeza GC, Graus de Certeza real GCr ou Graus Contradição Gct.

2- Não devem ser somados, nem subtraídos ou consideradas as médias dos valores de Intervalos de Certeza.

3- Os valores de Grau de Certeza resultante somente deverão ser reforçados ou enfraquecidos através de injeção de novas Evidências (novos valores) nas entradas do Sistema.

4- O reforço ou enfraquecimento do Grau de Certeza resultante, por meio de Evidências complementares somente deve ser efetuado até o limite estabelecido pelo intervalo de Certeza. Após este valor deverá ser ajustada as Evidências com novos valores para que se diminuam as contradições.

5- Os valores dos Graus de Evidências poderão ser ajustados simultaneamente, para um aumento, ou para diminuição do Grau de Certeza resultante.

## ANEXO B– Algoritmo da LPA2v.

### 1. Apresentação dos valores de Entrada.

$\mu$  \*/ Grau de Evidência favorável  $0 \leq \mu \leq 1$

$\lambda$  \*/ Grau de Evidência desfavorável  $0 \leq \lambda \leq 1$

### 2. Cálculo do Grau de Contradição Normalizado.

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

### 3. Cálculo do Intervalo de Evidência Resultante

$$\varphi_E = 1 - |2\mu_{ctr} - 1|$$

### 4. Cálculo do Grau de Certeza.

$$GC = \mu - \lambda$$

### 5. Cálculo o Grau de Contradição

$$Gct = (\mu + \lambda) - 1$$

### 6. Cálculo da distância D

$$D = \sqrt{(1 - |Gc|)^2 + Gct^2}$$

### 7. Cálculo do Grau de Certeza Real

Se  $Gc > 0$ ,  $GCR = (1 - D)$

Se  $Gc < 0$ ,  $GCR = (D - 1)$

### 8. Determinação do sinal da Saída

Se  $\varphi_E \leq 0,25$  ou  $D > 1$ , então faça:

$S1 = 0, 5$  e  $S2 = \varphi_{E(\pm)}$  : Indefinição e vá para o fim.

Senão vá para o próximo item

### 9. Cálculo do Grau de Evidência Resultante real

$$\mu_{Er} = \frac{GCR + 1}{2}$$

### 10. Determinação da sinalização do Intervalo de Evidência resultante

Se  $\mu_{ctr} < 0,5$ , sinalize negativo  $\varphi = \varphi_{E(-)}$

Se  $\mu_{ctr} > 0,5$ , sinalize positivo  $\varphi = \varphi_{E(+)}$

Se  $\mu_{ctr} = 0,5$ , sinalize zero  $\varphi = \varphi_{E(0)}$

### 11. Apresentação dos resultados na saída.

Faça  $S1 = \mu_{ER}$  e  $S2 = \varphi_{E(\pm)}$

**Fim.**