

## APLICAÇÕES ESTADO DA ARTE DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA EVIDENCIAL E<sub>t</sub> NA INDÚSTRIA 4.0 E INTERNET DAS COISAS

**Arnaldo de Carvalho Junior**

Mestre em Engenharia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Cubatão (IFSP), SP, Brasil.

**Resumo:** O desenvolvimento de sistemas microeletromecânicos (MEMS), microeletrônica, internet de banda larga, computação em nuvem e grandes centros de dados a custos cada vez mais reduzidos, formam os alicerces da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas (IoT). Sinais de sensores utilizados na automação de sistemas podem apresentar valores incertos ou contaminados por ruído. O controle de um sistema de automação deve ser preciso, estável, robusto e livre das variações dos parâmetros e perturbações externas. A Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), lógica evidencial derivada da Lógica Paraconsistente (LP), que em alternativa à lógica não clássica (binária) permite o processamento de sinais de informações contraditórias, ambíguas ou incertas. Algoritmos baseados na LPA2v permitem a formação de diferentes Células Neurais Artificiais Paraconsistentes (CNAP) que podem ser combinadas para formar Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes (RNAP). A LPA2v, devido a sua simplicidade, pode ser utilizada mesmo em sistemas com limitados recursos computacionais, sendo objeto de pesquisa e aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento humano. Este trabalho apresenta os fundamentos aplicações estado da arte da LPA2v em sistemas de automação, indústria 4.0 e internet das coisas.

**Palavras - chave:** LPA2v. CNAP. RNAP. Filtro LPA2v. IoT. Indústria 4.0.

**Abstract:** The development of microelectromechanical systems (MEMS), microelectronic, broadband internet, enabling cloud computing and Big Data, at increasingly reduced costs, form the foundation of Industry 4.0 and the Internet of Things (IoT). Signals of sensors used in the systems automation may present uncertain values or are contaminated by noise. The automation system control must be precise, stable, robust and free from external parameter variations and disturbances. The Paraconsistent Annotated Logic with two-valued annotation (PAL2v), an evidential logic derived from the Paraconsistent Logic (PL), which instead of non-classical (binary) logic allows the processing of contradictory, ambiguous or uncertain information signals. Algorithms based on LPA2v allow the formation of different Paraconsistent Artificial Neural Cells (PANc) which can be combined to form Paraconsistent Artificial Neural Networks (PANnet). PAL2v, due to its simplicity, can be used even in systems with limited computational resources, being the object of research and application in the most diverse areas of human knowledge. This paper presents the fundamentals and state of art applications of LPA2v in automation systems, industry 4.0 and internet of things.

**Keywords:** PAL2v. PANc. PANnet. PAL2v Filter. IoT. Industry 4.0.

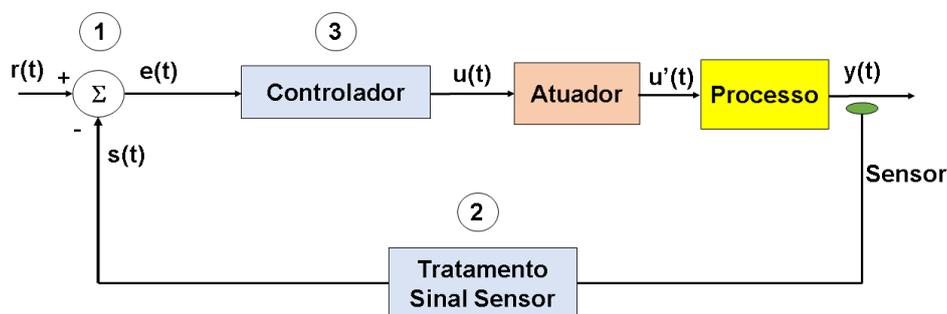
## INTRODUÇÃO

A lógica clássica, iniciada pelo filósofo grego da antiguidade Aristóteles, é a base para os sistemas eletrônicos digitais e computadores modernos. Uma lógica que aceita 2 estados possíveis para uma proposição  $P$ , podendo ser verdadeira (V) ou falsa (F), não havendo alternativa para ambiguidades. Entretanto, contradições, ambiguidades ou inconsistências fazem parte do mundo real, quando se tenta descrevê-lo (SILVA FILHO, 2006).

As Lógicas Paraconsistentes (LP) surgiram da necessidade de se desenvolver ferramentas e metodologias para tratar de situações contraditórias ou inconsistentes. O matemático brasileiro Newton da Costa foi um dos primeiros a desenvolver sistemas formais da lógica paraconsistente (COSTA, 1963). Essas lógicas apresentam resultados que permitem considerar as contradições em sua estrutura de modo não trivial, se mostrando adequadas no tratamento de problemas ocasionados por situações em que surgem contradições (SILVA FILHO, 2009).

A Automação de sistemas utilizados na Indústria 4.0 e na IoT utilizam sistemas de controle, geralmente de malha fechada. De forma simplificada, esse sistema consiste de um sinal de entrada –  $r(t)$ , um comparador cuja saída será o sinal de erro –  $e(t)$ , o sinal de um sensor –  $s(t)$  referente à saída do processo –  $y(t)$ , um controlador –  $u(t)$  e um atuador –  $u'(t)$ , conforme a figura 1 (ANG; CHONG; LI, 2005).

**Figura 1 – Sistema de Controle de Malha Fechada**



As Lógicas Paraconsistentes podem ser empregadas na comparação de diferentes fontes de informação (1), no tratamento de incertezas e ruídos de sinais (2) ou como parte do processo decisório (3) de uma malha de controle, conforme o

levantamento e exemplos de aplicações em sistemas de automação, indústria 4.0 e internet das coisas apresentadas neste trabalho.

## LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

A Lógica Paraconsistente Anotada – LPA (*ParaconsistentAnnotatedLogic - PAL*), trata-se de uma lógica evidencial pertencente à família de Lógicas Paraconsistentes (LP), que pode ser denotada através de um diagrama de Hasse de quatro vértices, representando os estados lógicos extremos de uma proposição ( $P$ ). Uma proposição  $P$  é assim acompanhada por anotações pertencentes a um reticulado finito onde um valor lógico pode ser atribuído à proposição em análise (COSTA et al, 1991) e (SUBRAHMANIAN, 1987). Cada anotação está relacionada a um estado lógico extremo da proposição  $P$  no vértice deste reticulado, tal como:  $T$ = Inconsistente,  $V$  = Verdadeiro,  $F$ = Falso e  $\perp$ = Paracompleto ou Indeterminado.

## LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA EVIDENCIAL $E_{\tau}$ ou LPA2v

Denomina-se Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial  $E_{\tau}$ , também conhecida como Lógica Paraconsistente Anotada com Anotação de Dois Valores (LPA2v) a denotação de evidências em um reticulado no plano real formado por pares ou anotações  $(\mu, \lambda)$ , permitindo assim atingir um maior poder de representação. Um operador “ $\sim$ ” é introduzido e definido como segue (COSTA et al., 1991):

$$\sim: |\tau| \rightarrow |\tau|, \text{ onde } \tau = \{(\mu, \lambda)\} \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}$$

A proposição  $P$  é suportada pelo grau de evidências favoráveis, ou  $(\mu)$ . O elemento  $(\lambda)$  representa o grau das evidências desfavoráveis que negam ou rejeitam a proposição  $P$ . Assim, a associação de um par  $(\mu, \lambda)$  para uma proposição  $P$  significa que o grau de evidência favorável em  $P$  é  $\mu$ , e o grau de evidência desfavorável é  $\lambda$ , conforme as anotações no reticulado apresentado na figura 2 (SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

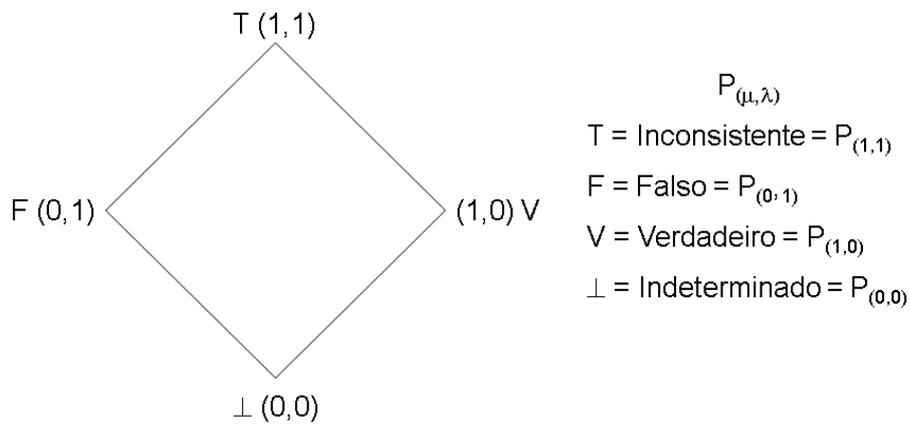
(1,0) → indica existência de evidência favorável total e evidência desfavorável igual a zero, assinalando uma conotação lógica verdadeira para a proposição  $P$ .

(0,1) → indica a existência de evidência favorável igual a zero e evidência desfavorável total, assinalando uma conotação de falsidade lógica à proposição  $P$ .

(1,1) → indica a existência de ambos, evidência favorável e desfavorável totais, atribuindo uma conotação lógica de inconsistência à proposição  $P$ .

(0,0) → indica a existência de ambos, evidência favorável e desfavorável zero, atribuindo uma conotação lógica de indeterminação para a proposição  $P$ .

**Figura 2 – Diagrama de Hasse de 4 Vértices da LPA2v**



**Fonte:** Silva Filho, Abe, Lambert-Torres (2008, p.13)

As equações matemáticas relacionadas à LPA2v são apresentadas a seguir:

$$G_C = \mu_1 - \lambda \quad (1)$$

$$G_{CT} = \mu_1 + \lambda - 1 \quad (2)$$

$$\mu_E = \frac{G_C + 1}{2} \Rightarrow \mu_E = \frac{\mu - \lambda + 1}{2} \quad (3)$$

$$\lambda = 1 - \mu_2 \quad (4)$$

Onde  $\mu_1$  é o grau de evidência favorável, proveniente da primeira evidência;  $\lambda$  é o grau de evidência desfavorável, como o complemento da segunda evidência;  $G_C$  é o grau de certeza;  $G_{CT}$  é o grau de contradição. A análise paraconsistente gera valores de  $G_C$  e  $G_{CT}$  entre 1 e -1. Para ser consistente com as entradas  $(\mu, \lambda)$ , em aplicações práticas eles precisam ser normalizados e seus valores limitados

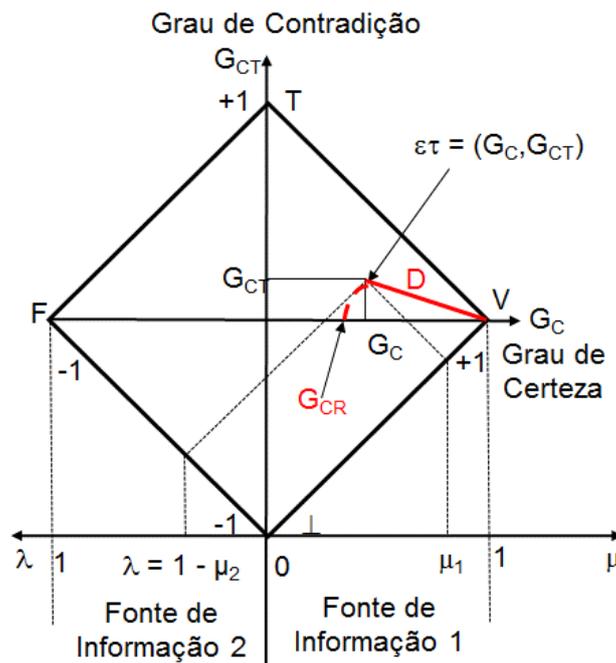
novamente entre 0 e 1. Portanto, o  $\mu_E$  é o grau de evidência resultante, sendo a saída normalizada de  $G_C$ .

Um resultado mais preciso pode ser conseguido, extraindo-se os efeitos da contradição em sucessivas análises de modo a obter o grau de certeza resultante real ( $G_{CR}$ ), como indicado na figura 3, e apresentado nas equações matemáticas a seguir (SILVA FILHO, 2006) e (SILVA FILHO, 2012):

$$D = \sqrt{(1 - |G_C|)^2 + G_{CT}^2} \quad (5)$$

O diagrama da LPA2v com a indicação dos principais valores pode ser observado na Figura 3. (SILVA FILHO; ABE; LAMBERT-TORRES, 2008).

**Figura 3 – Diagrama da LPA2v com Grau de certeza ( $G_C$ ), Grau de Contradição ( $G_{CT}$ ) e Grau de Certeza real ( $G_{CR}$ )**



Fonte: Silva Filho, Abe, Lambert-Torres (2008, p.56)

$$\text{Se } G_C > 0 \rightarrow G_{CR} = (1 - D) ; \text{ Se } G_C < 0 \rightarrow G_{CR} = (D - 1) \quad (6)$$

$$\varphi = 1 - |G_{CT}| \quad (7)$$

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2} \quad (8)$$

$$\mu_{CT} = \frac{\mu + \lambda}{2} \quad (9)$$

$$\varphi_E = 1 - |2 * \mu_{CTR} - 1| \quad (10)$$

Sendo que D é a distância entre o estado lógico paraconsistente-  $\varepsilon\tau(G_C, G_{CT})$  e  $V(1,0)$ ;  $G_{CR}$  é o grau de certeza real;  $\varphi$  é o intervalo de certeza;  $\mu_{ER}$  é o grau de evidência resultante real ( $G_{CR}$  normalizado com valores entre (0,1));  $\mu_{CT}$  é o grau de contradição normalizado e  $\varphi_E$  é o intervalo de evidência resultante (SILVA FILHO, 2012; MARIO; FERRARA; DA SILVA FILHO, 2007).

Na equação 6,  $G_{CR}$  é obtido após os efeitos da contradição serem removidos, resultando em um valor de certeza puro. O sinal de saída de um sistema paraconsistente de tratamento de incertezas fornecerá o resultado de Grau de Certeza Resultante Real ( $G_{CRr}$ ), representado pelos valores ( $G_{CR, \varphi(\pm)}$ ) (SILVA FILHO, 2012).

O grau de evidência resultante real ( $\mu_{ER}$ ) é mais consistente do que o grau de evidência resultante ( $\mu_E$ ), pois os efeitos da contradição são extraídos da análise.

Se o  $G_{CT}$  tende a inconsistente,  $\varphi$  é marcado como “+”; já se  $G_{CT}$  tende a indeterminado,  $\varphi$  é marcado como “-”.

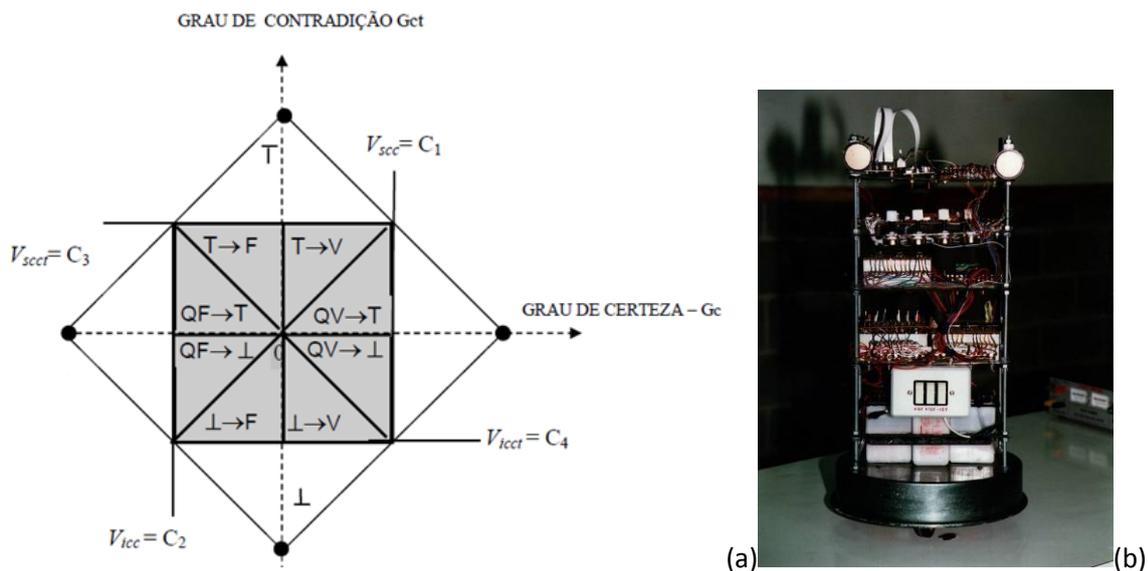
## PARA-ANALISADOR

O diagrama da LPA2v pode ser dividido em regiões, ou estados lógicos paraconsistentes. O algoritmo que trabalha com a LPA2v em estados lógicos é chamado de Para-analisador (SILVA FILHO, 2010). A primeira aplicação prática da LPA2v consistiu na elaboração de um Para-analisador de 12 estados lógicos, onde mediante a comparação de 2 sensores de ultrassom, ou valores de evidência e a consequente classificação do estado lógico paraconsistente  $\varepsilon\tau(G_C, G_{CT})$  correspondente dentro de uma dessas 12 regiões definia a ação de movimento e controle de um robô, chamado Emmy. Esse robô apresentava a capacidade de movimentação autônoma, sem colidir com nenhum obstáculo (SILVA FILHO, 1999). A figura 4 apresenta a divisão do reticulado LPA2v em 12 estados lógicos, enquanto que a figura 4b apresenta uma foto do robô Emmy.

No Para-analisador, além dos quatro estados lógicos extremos (T, F,  $\perp$  e V), há ainda 8 estados lógicos não extremos, denominados:

- $\perp \rightarrow F \Rightarrow$  Paracompleto tendendo ao Falso
- $\perp \rightarrow V \Rightarrow$  Paracompleto tendendo ao Verdadeiro
- $T \rightarrow F \Rightarrow$  Inconsistente tendendo ao Falso
- $T \rightarrow V \Rightarrow$  Inconsistente tendendo ao Verdadeiro
- $Q_V \rightarrow T \Rightarrow$  Quase-verdadeiro tendendo ao Inconsistente
- $Q_F \rightarrow T \Rightarrow$  Quase-falso tendendo ao Inconsistente
- $Q_F \rightarrow \perp \Rightarrow$  Quase-falso tendendo ao Paracompleto
- $Q_V \rightarrow \perp \Rightarrow$  Quase- verdadeiro tendendo ao Paracompleto

**Figura 4 – Reticulado da LPA2v repartido em 12 estados lógicos (a) e Robô Emmy (b).**



Fonte (a): Fernandes (2012, p. 27)

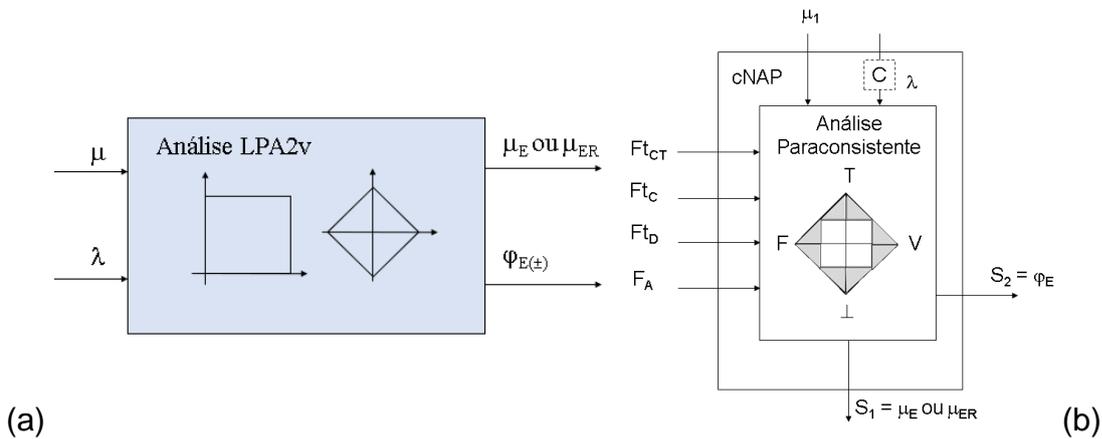
Fonte (b): Disponível em: <<http://www.novomilenio.inf.br/ano99/9905arob.htm>>. Acesso em jul.2018.

## CÉLULA NEURAL ARTIFICIAL PARACONSISTENTE

Um Nó de Análise Paraconsistente (NAP) cujo símbolo é apresentado na figura 5a consiste no conjunto de equações matemáticas da LPA2v e suas interpretações na forma de um algoritmo, conforme figura 6, (SILVA FILHO, 2007), sendo o bloco básico da Célula Neural Artificial Paraconsistente (cNAP), cujo símbolo de uma CNAP padrão é apresentado na figura 5b. As entradas ( $F_{tCT}$  – Fator de Tolerância à Contradição,  $F_{tC}$  – Fator de Tolerância à Certeza,  $F_{tD}$  – Fator de Tolerância à Decisão,  $F_A$  – Fator de Aprendizagem) são valores externos de ajuste

entre (0,1), bem detalhadas em Da Silva Filho, 2007. Valor “1” é máximo e “0” é mínimo quando aplicado a cada fator.

**Figura 5 – Representação do Nó de Análise Paraconsistente (NAP) (a) e CNAP padrão (b).**



**Fonte (a):** Silva Filho, Abe, Lambert-Torres (2008, p.64)

**Fonte (b):** Silva Filho, Abe, Lambert-Torres (2008, p.208)

**Figura 6 – Algoritmo base do Nó de Análise Paraconsistente (NAP).**

**Entre com os valores de Entrada.**

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

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

**Calcule o Grau de Contradição Normalizado.**

$$\mu_{CTR} = \frac{G_{CT} + 1}{2} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

**Calcule o Intervalo de Evidência Resultante**

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

**Calcule o Grau de Certeza.**

$$G_C = \mu - \lambda$$

**Calcule o Grau de Contradição**

$$G_{CR} = \mu + \lambda - 1$$

**Calcule a distância D**

$$D = \sqrt{(1 - |G_C|)^2 + G_{CR}^2}$$

**Calcule o Grau de Certeza Real**

Se  $G_C > 0$ ,  $G_{CR} = (1 - D)$

Se  $G_C < 0$ ,  $G_{CR} = (D - 1)$

**Determine o sinal da Saída**

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

S1 = 0,5 e S2 =  $\varphi_E$  (⊕): Indefinição e vá para o fim.

Senão vá para o próximo item

**Calcule o Grau de Evidência Resultante real**

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

**Determine a 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  $\mu_{CTR} = 0$ ; sinalize zero  $\varphi = \varphi_E (0)$

**Apresente os resultados na saída.**

Faça S1 =  $\mu_{ER}$  e S2 =  $\varphi_E$  (⊕)

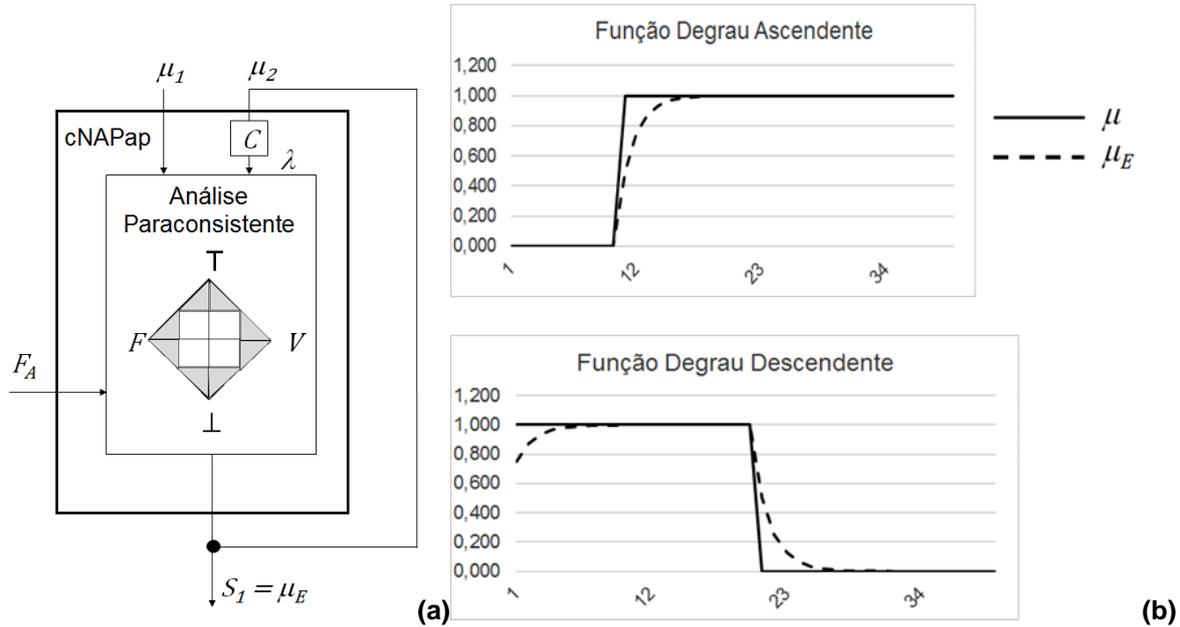
**Fim.**

Fonte: SILVA FILHO (2012, pag. 39-40)

## CÉLULA NEURAL ARTIFICIAL DE APRENDIZAGEM

Aplicando-se a saída da CNAP de volta à entrada complementada do grau de evidência desfavorável ( $\lambda$ ), obtém-se a Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem (CNAPap), com a capacidade de “aprender” ou “desaprender” o valor aplicado sucessivamente à entrada do grau de evidência favorável ( $\mu$ ). A figura 7a apresenta o símbolo da CNAPap. Já a figura 7b apresenta a resposta da célula à aplicação em sua entrada de uma função de grau ascendente e descendente.

**Figura 7 – Símbolo da CNAPap (a) e Resposta à função Degrau (b)**



Fonte: Silva Filho, Abe, Lambert-Torres (2008, p.238)

O Fator de Aprendizagem ( $F_A$ ), com valores entre 0 e 1, acelera ou atrasa a resposta da CNAPap. A equação da CNAPap é dada por:

$$\lambda_k = 1 - \mu_{E(k-1)} \quad (11)$$

$$G_{Ck} = \mu_k - \lambda_k \quad (12)$$

$$\mu_{Ek} = \frac{G_{Ck} * F_A + 1}{2} \quad (13)$$

De acordo com Silva Filho (2007), em uma cNAPap, o valor do grau de evidência resultante atual ( $\mu_{Ek}$ ) no instante de tempo  $k$  é dado por (13) e o valor do grau de evidência desfavorável atual ( $\lambda_k$ ), calculado em (11).

Como relatado por Minicz et al. (2014), ao se variar o fator de aprendizagem  $F_A$  junto com valor da entrada  $\mu$ , a equação (13) converge para um valor diferente do desejável, razão pela qual foi proposta uma alteração nas equações da cNAPap, conforme equação 14, e chamada de CNAP de Aprendizagem por Extração do Efeito da Contradição (CNAPapxct), e utilizadas na prática com sucesso como Filtro de Média, ou Filtro LPA2v (CARVALHO JUNIOR, 2017). Nesse caso, o  $F_A$  entre 0,5

e 0 atrasa a célula e entre 0,5 e 1 acelera a CNAPapxct em comparação com a CNAPap.

As células CNAPap e CNAPapxct podem apresentar efeitos de integração e derivação, podendo ser utilizadas no tratamento de sinais analógicos (CARVALHO JUNIOR, SILVA FILHO, MARIO, 2017). Arranjos de CNAPap e CNAPapxct também podem ser utilizados na extração de média móvel (SILVA FILHO et al. 2017).

## OUTRAS CÉLULAS NEURAS ARTIFICIAIS

Além da CNAPap e CNAPapxct, a partir da CNAP padrão várias células neurais paraconsistentes foram propostas (SILVA FILHO, 2007) e podem ser utilizadas em arranjos de interconexão para formar Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes – RNAP como elemento chave de sistemas especialistas.

A CNAPa (analítica) recebe os graus de evidência ( $\mu$ ,  $\lambda$ ) e fornece um único sinal de saída do grau de evidência resultante ( $\mu_E$ ), normalizado do  $G_C$ , e que pode sofrer influência de fatores externos de ajuste  $F_{t_{CE}}$  e  $F_{t_{CT}}$  e será o novo grau de evidência para células seguintes em um arranjo ou rede neural. A CNAPar é semelhante à CNAPa, porém a saída será o grau de evidência resultante real ( $\mu_{ER}$ ), normalizado do  $G_{CR}$ .

A CNAPcis (conectivo lógico simples), que pode ser de maximização – OU e minimização – E. A CNAPcis de maximização fornece em sua saída o valor igual ao da entrada de maior valor ( $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ). Já a CNAPcis de minimização faz o contrário, apresentando uma saída igual ao valor da menor entrada. A CNAPcise (conexão lógica seletiva) é uma variação da CNAPcis, possui duas entradas e duas saídas e faz as funções lógicas de maximização ou deminimização selecionando um dos sinais de entrada a ser conectado à saída e neutralizando o outro, impondo-lhe uma saída indefinida (0,5).

A CNAPpa (passagem) canaliza sinais para determinadas regiões de uma rede neural, sofrendo apenas a ação do  $F_{tc}$  (ganho), já que o mesmo sinal de entrada é aplicado às duas entradas ( $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ).

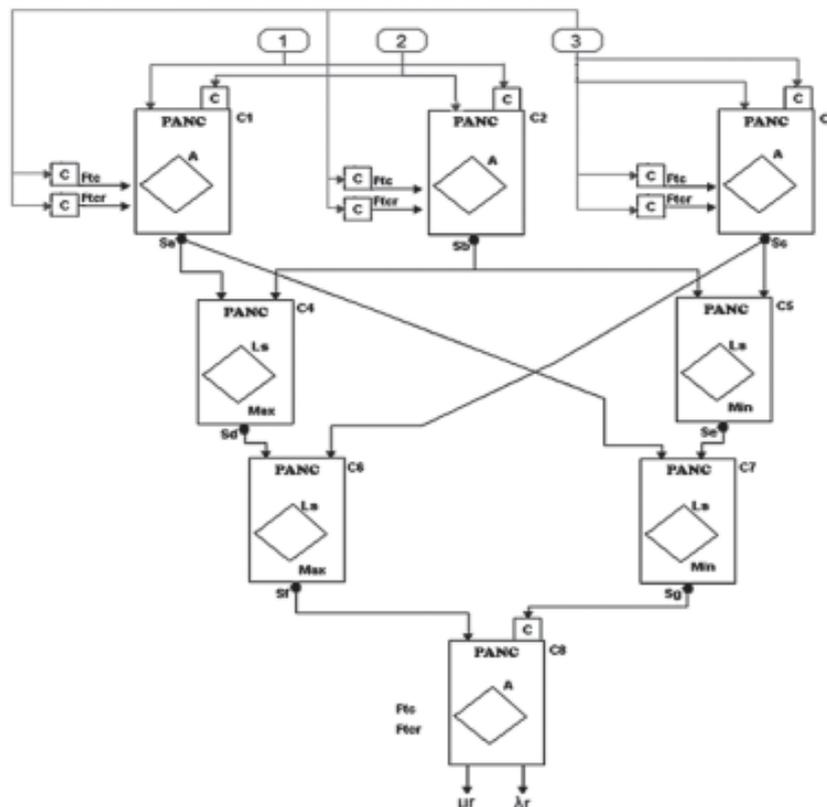
A CNAPco (complementação), semelhante à CNAPpa, com o diferencial de que na saída será o complemento do mesmo sinal aplicado às duas entradas ( $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ).

A CNAPdi (detecção de igualdade) fornece uma saída binária (1, 0) caso os sinais das duas entradas sejam iguais ou diferentes. Para isso, o algoritmo calcula o grau de contradição normalizado ( $\mu_{ECT}$ ) e compara com o fator de tolerância à contradição ( $F_{tCT}$ ).

A CNAPd (decisão), atua como nó de decisão de uma RNAP, apresentando em sua saída o valor binário 1 para uma conclusão “verdadeira”, 0,5 para a “indefinição” ou 0 caso a conclusão seja “falsa”. Pode-se ainda combinar a CNAPpa e CNAPd em uma CNAP de passagem e decisão, chamada de CNAPpd.

A figura 8 apresenta um exemplo de RNAP, formada por diferentes CNAP.

**Figura 8 – Exemplo de Rede Neural Artificial Paraconsistente (RNAP)**

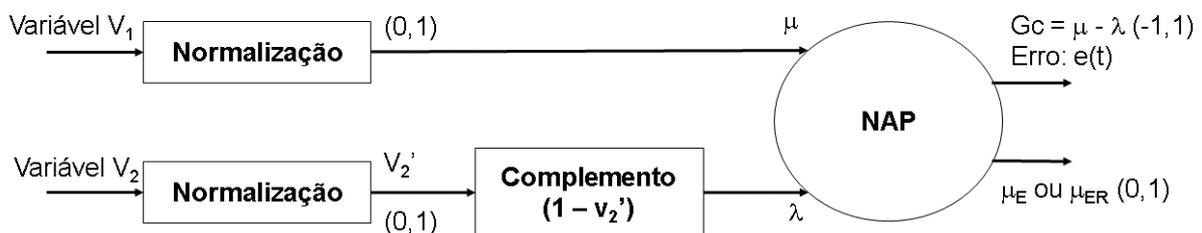


Fonte: Santos et al. (2016)

## APLICAÇÕES DA LPA2v NA COMPARAÇÃO DE SINAIS

O valor do Grau de Certeza ( $G_c$ ) é a diferença entre dois graus de evidência, assim sendo, um simples NAP pode ser utilizado como elemento 1 da figura 1, fornecendo o sinal de erro  $e(t)$ , ou comparar 2 sensores diferentes. Um Nó de Análise Paraconsistente – NAP tem sido aplicado para tratamento de conflitos e comparação de variáveis, como o controle de nível em vaso pressurizado proposta por Coelho, 2015, utilizando NAP como tratamento de sinais das variáveis de entrada de um controle PI, sendo incorporado ao algoritmo do CLP. A figura 9 demonstra o conceito, sendo que as variáveis de entrada devem sofrer uma normalização para que os sinais sejam convertidos para valores entre (0,1) de modo a atender a lógica. A saída  $G_c$  apresentará valores entre (-1,1) e  $\mu_E$  entre (0,1) novamente.

**Figura 9 – Exemplo de Rede Neural Artificial Paraconsistente (RNAP)**



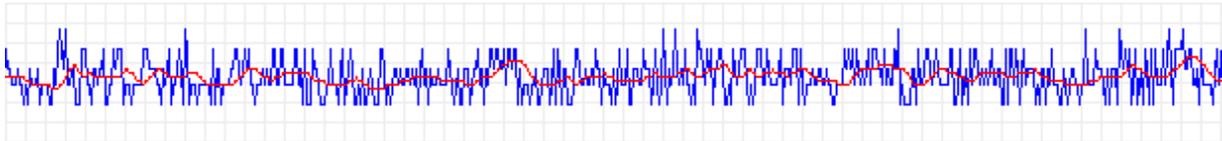
Uma RNAP pode ser utilizada na análise e classificação de sinal, conforme proposto com sucesso por Paulo, 2016, por exemplo, na identificação de diferentes padrões de sinais acústicos.

## APLICAÇÕES DA LPA2V NO TRATAMENTO DE SINAIS

Arranjos de CNAPap e CNAPapxct podem ser utilizados na filtragem de ruído (Filtro LPA2v) de sinais analógicos (CARVALHO JUNIOR; SILVA FILHO; MARIO et al. 2018) de sensores (pressão, vazão, umidade, temperatura, vibração, aceleração, etc.), como uma alternativa ao Filtro de Kalman (CARVALHO JUNIOR; SILVA FILHO; MARIO, 2017), utilizados na automação industrial e IoT (item 2 da figura 1),

como parte do algoritmo de microcontroladores (CARVALHO JUNIOR; SILVA FILHO; MARIO, 2017). A figura 10 apresenta um exemplo de filtragem de variável com o Filtro LPA2v.

**Figura 10 – Filtragem de Variável Temperatura com Filtro LPA2v.**



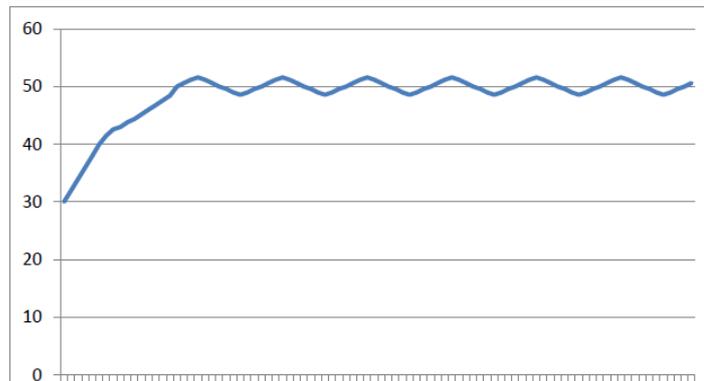
**Fonte:** Carvalho Junior; Silva Filho; Mario (2017, p. 3)

Em Redes Industriais de Sensores sem Fio, baseados no padrão IEEE 802.15.4, tais como Zigbee, 6LowPAN, Wireless HART e ISA100 Wireless, métricas da qualidade da conexão sem fio podem ser tratadas com o Filtro LPA2v para serem utilizadas no gerenciamento da rede, controle de energia dos dispositivos, sistema decisório de roteamento, entre outras aplicações conforme proposto por Carvalho Junior (2017). Entre as métricas utilizadas, destacam-se o *Received signal strength indication – RSSI* (indicação de potência recebida do sinal), o *Link Quality Indication – LQI* (indicação da qualidade do enlace), o *Packet Success Rate – PSR* (taxa de pacotes recebidos com sucesso) e *Packet Error Rate – PER* (taxa de pacotes recebidos com erro).

## **APLICAÇÕES DA LPA2V EM PROCESSOS DECISÓRIOS E CONTROLE**

O Para-analisador, além de ser utilizado no cálculo e definição da direção de robôs, pode ser aplicado, por exemplo, com 12 níveis discretos de controle de processo, chamado de PARACON, conforme figura 11 (FERNANDES, 2012).

**Figura 11 – Controle de Temperatura com PARACON**



**Fonte:** Fernandes (2012, p. 93)

O NAP pode ser incorporado a CLPe fazer parte de estratégia de controle de plantas industriais (COELHO, 2015), como a Rede de Análise Paraconsistente para controle de Razão proposta por MATOS, 2018. Uma Rede de Análise Paraconsistente (RAP) pode ser utilizada também no controle adaptativo de excitação de gerador síncrono, com vantagem de amenizar ações contraditórias impostas pelos sistemas tradicionais de controle da excitação do gerador síncrono (OLIVEIRA, 2016).

Uma rede de análise paraconsistente, formada por diferentes CNAPar, pode ser utilizada no controle de nível de um processo multivariável de quatro tanques, considerando os valores do Intervalo de Evidência ( $\varphi_E$ ) e o grau de contradição normalizado ( $\mu_{ECT}$ ) para determinar a normalização do sistema (Baptista, 2014).

A RNAP pode ser utilizada para o cálculo da menor distância, ou melhor caminho, para sistemas robóticos em ambientes com obstáculos (TORRES, 2010).

Um arranjo de CNAPap em cascata pode ser utilizado para a extração da média móvel em Controle Estatístico de Processos, conforme demonstrado por Cruz, 2015.

A combinação de análise paraconsistente (NAP, Para-analisador) e lógica nebulosa (*fuzzy*) podem ser utilizadas para classificação de amostras, conforme proposto por Masotti, 2006, para o monitoramento e diagnóstico automatizado de rolamentos. Um controlador híbrido utilizando o Para-analisador LPA2v de 12 estados e a lógica nebulosa pode ser utilizado no controle de motores de um sistema robotizado (CÔRTEZ; BLOS; SILVA FILHO, 2018). Além disso, a

combinação do Para-analisador com 260 estados e lógica Fuzzy podem ser utilizados para melhorar sensivelmente um controlador PID digital (CÔRTEZ; BLOS; SILVA FILHO, 2017).

As informações de centenas ou milhares de sensores empregados na IoT e Indústria 4.0, geram uma infinidade de dados (*Big Data*) que precisam ser filtrados ou minerados (*data mining*) para serem analisados de forma inteligente pelo ser humano. A LPA2v pode complementar o processo de mineração de dados, permitindo a vinculação, aos respectivos dados coletados, de fatores evidenciais de crença ou descrença, conforme estudo para subestação (MATHIAS, 2015) e redes de transmissão de energia elétrica (OLIVEIRA, 2016), sendo integrados a sistemas supervisórios, SCADA e outros. Além disso, células e redes neurais paraconsistentes podem ser utilizadas para o reconhecimento de padrões e identificação de situações atípicas, como por exemplo, em bancos de dados de sistemas elétricos de potência (COLLETO, 2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A LPA2v na forma de estados lógicos paraconsistentes pode ser utilizada em sistemas decisórios com 12 níveis de decisão, através do algoritmo do Para-analisador. O algoritmo do NAP pode ser implementado na comparação de sinais analógicos ou mesmo na criação de um indicador único a partir de duas ou mais variáveis de um sistema de automação. As células CNAPap e CNAPapxct podem ser utilizadas em uma vasta gama de aplicações, na filtragem de sinais (Filtro LPA2v), em substituição a outros métodos como Filtro de Kalman. Além disso, apresentam a vantagem de proporcionar condições de ajustes externos através de variação dos fatores como o de aprendizagem  $F_A$ . Arranjos de células podem ser projetados como sistemas especialistas, para análise e decisão.

Arranjos de CNAP, combinando as características de integração e derivação das CNAPap e CNAPapxct, de passagem da CNAPpa, aliadas aos ajustes externos de  $F_{tC}$ ,  $F_{tCT}$ ,  $F_A$ , sugerem a criação de sistemas de controle alternativos aos clássicos PID (proporcional-integral-derivativo).

A LPA2v pode ser implementada em combinação com outros algoritmos, formando sistemas mistos, como controlador Para-Fuzzy.

Uma das linhas de pesquisa no “estado da arte” em sistemas de controle de automação utilizam Redes Neurais, abrindo um novo campo de aplicação para a RNAP fundamentada na LPA2v.

Os sistemas físico-cibernéticos (*Cyber-Physical Systems* – CPS) utilizados no contexto da Indústria 4.0 demandam um controle confiável e preciso através de informações contraditórias ou inconsistentes. A LPA2v e suas derivações são representadas por algoritmos muito simples, podendo ser implementadas mesmo em sistemas de controle com limitada capacidade de processamento e computação e ideais para aplicações de Indústria 4.0 e Internet das Coisas.

## REFERÊNCIAS

ANG, K.H.;CHONG, G.C.Y.; LI, Y. PID control system analysis, design, and technology. **IEEE Transactionson Control Systems and Technology**, 2005.

BAPTISTA, R. **Proposta de Modelo Para Controle de Níveis De Um Processo Multivariável De Quatro Tanques De Petróleo Com Rede de Análise Paraconsistente**.2014.157f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2014.

CARVALHO JUNIOR, A.; SILVA FILHO, J. I. da ; MARIO, M. C. Suavização de ruído de sinal analógico com filtro lpa2v em microcontrolador. IN: Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP. 8. **Anais ...** 06 a 09 de novembro de 2017 - Cubatão.

CARVALHO JUNIOR, A. de; CORTES, H. M.; CRUZ, C. M. da. Sinais de Funções de Automação obtidos por configurações de Redes Neurais Artificiais Paraconsistentes. **Revista Seleção Documental**, n. 48, v.12, p. 17 – 25, 2017.

CARVALHO JUNIOR, A. **Proposta de Estimador de Qualidade de Enlace em Redes de Sensores Industriais Sem Fio Utilizando Rede Neural Artificial Paraconsistente**. 2017.113f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2017.

CARVALHO JUNIOR, A.; SILVA FILHO, J. I. da; MARIO, M. C. Estimador de Estado Adaptativo Paraconsistente. IN: Workshop de Micro-ondas – Eletromagnetismo Aplicado, 4. **Anais...** Suzano, 23 e 24 de outubro de 2017.

CARVALHO JUNIOR, A.; SILVA FILHO, J. I.; MARIO, M. C. A Study of Paraconsistent Artificial Neural Cell of Learning Applied as PAL2v Filter. **Latin America Transactions**, v. 16, n. 1, p. 202-209, jan. 2018.

COLLETO, C. J. Classificador Paraconsistente de Demandas Atípicas através da Investigação em Banco de Dados de Sistema Elétrico de Potência. 2015. 63f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2015, 63 p.

CÔRTEZ, H. M.; BLOS, M. F.; SILVA FILHO, J. I.da. **Desenvolvimento e Simulação de Controlador Lógico Paraconsistente-Fuzzy com Base no Reticulado de 12 Estados**. Seleção Documental - GLPA N.49 Ano 13, pp 3-14.Paralogike: Santos, 2018.

CÔRTEZ, H. M.; BLOS, M. F.; DA SILVA FILHO, J. I. Implementation of a Paraconsistent-Fuzzy Digital PID Controller in a Level Control Process. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering**, v.11, n.11, 2017.

COSTA, N. C. A. da; ABE, J. M.; SUBRAHMANIAN, V. S. Remarks on annotated logic. Zeitschrift f. math. **Logik und Grundlagen d. Math**, v.37, p 561-570, 1991.

COSTA, N.C.A. **Sistemas Formais Inconsistentes**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1963.

CRUZ, C. M. Application of Paraconsistent Artificial Neural network in Statistical Process Control acting on voltage level monitoring in Electrical Power Systems. **Intelligent System Application to Power Systems**, p. 1-6, September, 2015.

CRUZ, C. M. **Aplicação da Rede Neural Artificial Paraconsistente em Controle Estatístico de Processo**. 76f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2015.

FERNANDES, C. L. M. **Lógica Paraconsistente aplicada em Sistemas de Automação e Controle**. 2012.109f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2012.

FERNANDES, C. L. M. **Lógica paraconsistente aplicada em sistemas de automação e controle**. 2012. 109f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Santos, 2012.

MARIO, M. C.; FERRARA, L. F. P.; SILVA FILHO, J. I. da. Treinamento de uma Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem. **Seleção Documental Magazine**, n. 6, pp 11 – 16, 2007.

MASOTTI, P. H. F. Metodologia de Monitoração e Diagnóstico Automatizado de Rolamentos Utilizando Lógica Paraconsistente, Transformada de Wavelet e Processamento de Sinais Digitais. 2006. 142f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006.

MATHIAS, L. A. F. Mineração de Dados em Sistemas de Energia Elétrica utilizando algoritmos fundamentados em Lógica Paraconsistente Anotada – LPA. 2015. 70f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, 2015.

MATOS, S. I. C. Rede de Análise Paraconsistente Aplicada em malha de Controle de Razão para um processo industrial. 2018. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, 2018.

MINICZ, M. F., MATUCK, G. R., TASINAFFO, P. M. Célula Neural Artificial Paraconsistente de Aprendizagem por Extração do Efeito da Contradição. **Revista Seleção Documental**, n. 33, São Paulo, Brasil. 2014.

OLIBEIRA, J. B. Sistema **Paraconsistente Detector de Alarmes em Banco de Dados Originados de Rede de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. 2016. 80f. Dissertação (Mestrado - Universidade Santa Cecília, 2016.

OLIVEIRA, R. A. B. **Modelo de Controle Adaptativo de Excitação de Gerador Síncrono Baseado em Lógica Paraconsistente**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Santos, xx.

PAULO, K. C. S. Identificação de Padrões de Sinais Acústicos com Base em Classificação Paraconsistente. 2016. 76f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

SANTOS, P. C.C.; et al. Paraconsistents artificial neural networks applied to the study of mutational patterns of the F subtype of the viral strains of HIV-1 to antiretroviral therapy. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, v. 88, n. 1, p. 323-334, 2016.

SILVA FILHO, J. I. da. Introdução às Células Neurais Artificiais Paraconsistentes. **Revista Seleção Documental**, n. 8, Dezembro, 2007.

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) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA FILHO, J. I. da. Treatment of Uncertainties with Algorithms of the Paraconsistent Annotated Logic. **Journal of Intelligent Learning Systems and Applications**, 2012, 4, 144-153 <http://dx.doi.org/10.4236/jilsa.2012.42014> Published Online May 2012.

SILVA FILHO, J. I. da. Análises de Sinais de Informações em Lógica Paraconsistente Anotada. **Revista Seleção Documental**, n.14, v.4, p. 22 – 26, jun., 2009.

SILVA FILHO, J. I. da. Introdução ao conceito de estado Lógico Paraconsistente $\epsilon$ . **Revista Seleção Documental**, n.17, v.5, p. 20 – 24, mar. 2010.

SILVA FILHO, J. I. da. Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v. **Revista Seleção Documental**, n.1, v.1, p. 18 – 25, mar.2006.

SILVA FILHO, J. I. da; ABE, J. M.; LAMBERT-TORRES, G. Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes. Rio de Janeiro: LTC, 2008, 328 p.

SILVA FILHO, J. I. da; DA CRUZ, C. M.; ROCCO, A. G. Paraconsistent Artificial Neural Network for structuring Statistical Process Control in Electrical Engineering. **Towards Paraconsistent Engineering Book**, p 77-102, 2016.

SILVA FILHO, J. I. da ; CARVALHO JUNIOR, A de; CRUZ, C. M. da; MARIO, C. M. Rede Neural Artificial Paraconsistente – RNAP aplicada em Bancos de dados Dinâmicos na extração de Média Móvel. **Revista Seleção Documental**, n. 45, v.12, p. 16 – 23, 2017

SUBRAHMANIAN, V. S. On the semantics of quantitative logic programs. IN: IEEE SYMPOSIUM ON LOGIC PROGRAMMING,4., **Proccedings....** Computer Society Press, Wash1987.

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. 2010. 193f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá, 2010.