



Controle de Temperatura através de Técnica Fundamentada em Lógica Paraconsistente Anotada

Luiz Carlos Rodrigues da Silva^{1,2}, Maurício Conceição Mario², Hyghor Miranda Cortês², Dorotéia Vilanova Garcia² e João Inácio da Silva Filho²

¹ Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Simonsen
Rua Monsenhor de Andrade, 298 - Brás - São Paulo-SP, Brasil

²UNISANTA – Universidade Santa Cecília. Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Rua Oswaldo Cruz, 288 CEP 11045-000, Santos – SP – Brasil.

E-mail: inacio@unisanta.br
Received April, 2020

Resumo: Neste trabalho apresentamos uma aplicação da lógica Paraconsistente anotada com anotação de dois valores (LPA2v) atuando em controle de processos industrial. Foram aplicadas as teorias das lógicas não clássicas denominadas de paraconsistentes e de estudos de aplicações baseados na análise do quadrado unitário no plano cartesiano (QUPC) e algoritmo Para-Analisador em circuito com microcontrolador. As técnicas baseadas no QUPC e algoritmo Para-Analisador foram implementados no *software* de código aberto ARDUINO e uma placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador de oito bits da ATMEL. A partir do conjunto *hardware* e *software* foi desenvolvido um controlador de temperatura utilizando os conceitos LPA2v denominado de controlador Paraconsistente (ConTemp_{LPA2v}) e aplicado em um processo de controle em malha fechada. Os resultados da aplicação do ConTemp_{LPA2v} foram comparados com os obtidos em um controlador de temperatura industrial no mesmo processo atuando com controle *ON/OFF* e *PID*. Os valores resultantes comparativos demonstram um bom desempenho ConTemp_{LPA2v} considerando ser este o primeiro protótipo.

Palavras-chave: Lógica Paraconsistente Anotada, Lógica não Clássica, Microcontroladores, Simulador Eletrônico.

Temperature Control using a Technique based on Paraconsistent Annotated Logic

Abstract: In this paper we present an application of Paraconsistent annotated logic with annotations of two values (PAL2v) as industrial process controller. The non-classical logic theories denominated Paraconsistent logic and studies based on the analysis of the unit square in the Cartesian plane (USCP) and ParaAnalyzer algorithm were used on control circuits with microcontroller. The unit square in the Cartesian plane and ParaAnalyzer algorithm was implemented in open source software ARDUINO and development board based on the eight-bit microcontroller from ATMEL. From the whole hardware, software was developed using a temperature controller PAL2v the concepts called Paraconsistent controller (Contemp_{PAL2v}) and used in a process in closed loop. The application Contemp_{PAL2v} - was compared with a commercial temperature controller in the same process operating with *ON/OFF* and *PID* control. Whereas the first prototype the resulting comparative values show a good performance of the ConTemp_{LPA2v}.

Keywords: Paraconsistent annotated Logic, non-Classical Logic, Microcontrollers, Electronic Simulator.

1. Introdução

A Lógica Paraconsistente (LP) possui como propriedade principal a capacidade de aceitar a contradição em seus fundamentos sem que o peso dos conflitos inutilizem as conclusões [1]. A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) pertence às classes de lógicas paraconsistentes que possuem um reticulado associado, introduzido pela primeira vez em [2][3]. Com esta representação a Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) pode ser interpretada matematicamente e assim torna-se capaz de analisar si-

nais de informação representados por anotações que atribuem estados lógicos às proposições [2].

Na LPA as formulas proposicionais vem acompanhada de suas respectivas anotações, as quais pertencem a um reticulado finito τ onde o mesmo atribuem valores lógicos representados em seus vértices [3]. A anotação da Lógica Paraconsistente Anotada é definida através de uma análise intuitiva expressa pela formula atômica P_μ onde é lida como: “Creio na proposição P com grau de evidência de no máximo μ , ou até ($\leq \mu$)” [3].

Na LPA a representação às proposições é acompanhada de anotações que atribuem o Grau de evidência correspondente aos estados lógicos extremos do Reticulado de quatro vértices (Diagrama de HASSE) em intervalo real fechado [0,1].

É possível fazer uma associação entre um Quadrado Unitário no plano cartesiano-QUPC (figura 1 (a) com um Reticulado finito (FOUR) de quatro vértices [4][5]. A anotação é composta dos 2 graus de evidências μ e λ , conforme visto nas figuras 1 (b) e (c) onde o reticulado formado por pares ordenados tal que: $\tau = \{(\mu, \lambda) | \mu, \lambda \in [0,1] \subset \mathfrak{R}\}$. As expressões representadas para o reticulado finito são: $P_{(V)} = (1,0) \rightarrow P$ é Verdadeiro; $P_{(F)} = (0,1) \rightarrow P$ é Falso; $P_{(T)} = (1,1) \rightarrow P$ é Inconsistente e $P_{(\perp)} = (0,0) \rightarrow P$ é indeterminado ou Paraconpleto [3].

Esta associação possibilita a representação nos vértices do Reticulado dos quatro estados lógicos extremos da Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). Dessa forma, o reticulado de quatro vértices é agora associado à Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores (LPA2V), onde o par ordenado que forma a anotação μ representa o Grau de evidência favorável à proposição P e o λ representa o Grau de evidência desfavorável.

Conforme visto em [3], na representação do QUPC e do reticulado da LPA2v, são feitas interpretações através de três fases que utilizam transformação linear. Estas três fases consistem em:

- 1) mudança de escala de 1/raiz de 2;
- 2) rotação de 45° em torno do eixo vertical e;
- 3) translação de -1 no eixo vertical.

Com deduções matemáticas podem-se considerar um outro reticulado da LPA2v com valores relacionados com um outro sistema de coordenadas (QUPC), tal que se pode efetuar equações capazes de serem interpretadas para tomadas de decisão.

A equação principal que é gerada pelas transformações entre os dois é:

$$T(X,Y) = (x-y, x+y-1) \tag{1}$$

Onde: X e Y são valores expostos nos eixos do Reticulado da LPA e x e y são valores dispostos nos eixos do Quadrado Unitário no Plano Cartesiano - QUPC.

Através da equação (1) pode-se associar pontos do QUPC, em que representam a anotação, no Reticulado da LPA2v [3].

Com isto pode-se considerar que, na equação (1), o eixo das ordenadas x , representa o grau de evidência favorável e o eixo das abscissas y representa o grau de evidência desfavorável. Com isto pode-se relacionar as expressões de X , que representa o Grau de Certeza G_c :

$$G_c = \mu - \lambda \tag{2}$$

Onde G_c terá seus valores expostos no eixo horizontal do Reticulado da LPA2v. Também a expressão de Y , que representa o Grau de Contradição, G_{ct} :

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \tag{3}$$

Onde G_{ct} terá seus valores expostos no eixo vertical do Reticulado da LPA2v [4].

Os valores de G_c e de G_{ct} pertencem ao conjunto dos \mathfrak{R} variando no intervalo fechado $[-1, 1]$ significando o estado lógico resultante da análise Paraconsistente e Inconsistente. A partir da transformação do reticulado, associação dos graus de evidências pode-se representar os 12 estados lógicos, onde os estados extremos são delimitados sobrepondo o QUPC e o reticulado.

Estas regiões são vistas na figura 2.

Sobre o eixo dos graus de certeza, a região entre V_{sc} e $G_c = 0,5$ recebe a conotação lógica de estado “Verdadeiro” e entre V_{ic} e $G_c = -0,5$ de estado “Falso”. Para o eixo do grau de contradição, entre V_{sc} e $G_{ct} = 0,5$ significa estado lógico “Inconsistente” e entre V_{ic} e $G_{ct} = -0,5$ significa estado lógico “Indeterminado”.

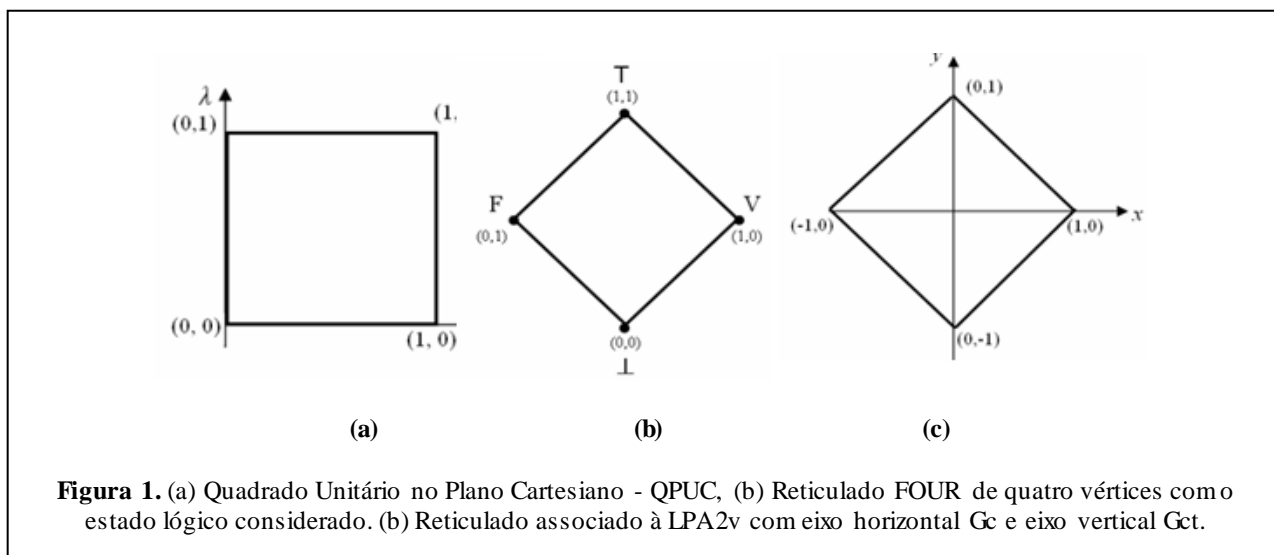


Figura 1. (a) Quadrado Unitário no Plano Cartesiano - QUPC, (b) Reticulado FOUR de quatro vértices como estado lógico considerado. (c) Reticulado associado à LPA2v com eixo horizontal G_c e eixo vertical G_{ct} .

As outras regiões internas recebem o nome de acordo com a proximidade das regiões relacionadas aos quatro estados lógicos extremos representados nos vértices. Dessa forma são definidos o algoritmo Para-Analisador os 12 estados lógicos e seus símbolos, conforme mostrados a seguir.

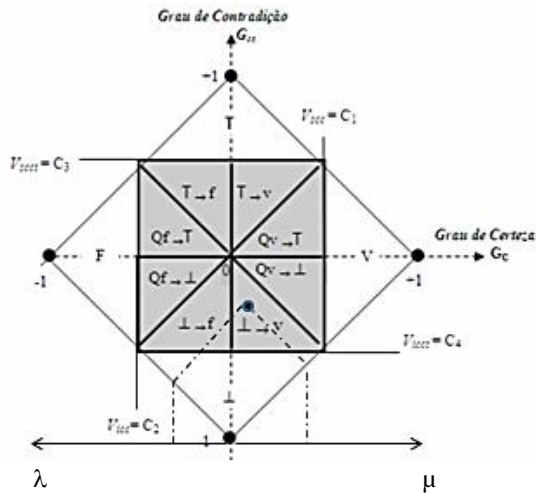


Figura 2. Representação no QUPC das regiões dos estados lógicos extremos e não extremos, seus limites inferiores e superiores e fontes de entrada (μ e λ).

Estados extremos: T= Inconsistente. F= Falso.
⊥= Indeterminado. V= Verdadeiro.

Estados lógicos não extremos:
⊥→f= Indeterminado tendendo ao Falso.
⊥→v= Indeterminado tendendo ao Verdadeiro.
T→f= Inconsistente tendendo ao Falso.
⊥→v= Inconsistente tendendo ao Verdadeiro.
Qv→⊥= Quase Verdadeiro tendendo ao Indeterminado.
Qf→⊥= Quase Falso tendendo ao Indeterminado.
Qv→T= Quase Verdadeiro tendendo ao Inconsistente.
Qf→T= Quase Falso tendendo ao Inconsistente.

A partir destes estudos foi apresentado em [2] a implementação do algoritmo Para-Analisador da lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois Valores (LPA2v).

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos mostrar a aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de duas Variáveis em um controlador de temperatura com microcontrolador e comparar os resultados com um controlador comercial operando em modo *ON/OFF* e *PID*.

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho utilizando uma placa de desenvolvimento Arduino [4] [5] baseado no microcontrolador ATM8 da *Atmel* [6] foi desenvolvido um protótipo de controlador Paraconsistente, conforme é mostrado na figura 3, com uma visão geral do circuito que compõem o protótipo completo.

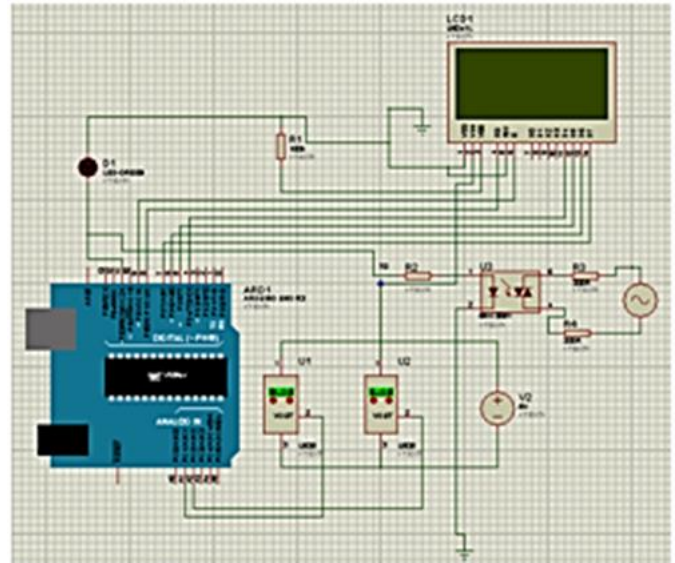


Figura 3. Visão geral do protótipo do Controlador Paraconsistente.

Para os testes do Controlador foi utilizada uma malha de controle de temperatura, portanto denomina-se o Controlador paraconsistente de $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$.

2.1 Funcionamento do $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$

No controle da temperatura, o $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$ utiliza uma técnica de análise e respostas baseadas na Lógica Paraconsistente com anotação de dois valores - LPA2v. Dessa forma o *Setpoint* (SP) do controle da temperatura é representado por λ - Grau de Evidência desfavorável, e a Variável de Processo (VP) tem o seu valor de medição da temperatura representado por μ - Grau de Evidência desfavorável.

Os Estados lógicos paraconsistentes do diagrama são identificados com cada uma das ações de controle.

A intersecção dos valores de μ e λ no QUPC resulta em um estado lógico Paraconsistente correspondente. Cada estado lógico Paraconsistente corresponde a uma ação no controle de saída por meio de uma porcentagem

de potência onde este valor é aplicado em forma de sinal *PWM* (modulação por largura de pulso) a um módulo *RSS* (relê de estado sólido), que entrega ao banco de resistência a potencia necessária ao processo.

Na tabela 1 são mostradas as relações de valores aplicados na entrada. a primeira coluna representa os valores gerado pelo sensor.

A segunda coluna representa os valores gerados pelo sensor de temperatura em bits.

A terceira coluna a normalização dos valores do sensor de 0 a 1 e a quarta coluna a conversão dos valores gerados nas colunas anteriores para o equivalente a temperatura em °C.

Tabela 1. Relação de valores para o controle *LPA2v*.

Input (V)	Input (bit)	μ	Temp (°C)
0	0	0	0
0,2	40,92	0,04	4
0,4	81,84	0,08	8
0,6	122,76	0,12	12
0,8	163,68	0,16	16
1	204,6	0,2	20
1,2	245,52	0,24	24
1,4	286,44	0,28	28
1,6	327,36	0,32	32
1,8	368,28	0,36	36
2	409,2	0,4	40
2,2	450,12	0,44	44
2,4	491,04	0,48	48
2,6	531,96	0,52	52
2,8	572,88	0,56	56
3	613,8	0,6	60
3,2	654,72	0,64	64
3,4	695,64	0,68	68
3,6	736,56	0,72	72
3,8	777,48	0,76	76
4	818,4	0,8	80
4,2	859,32	0,84	84
4,4	900,24	0,88	88
4,6	941,16	0,92	92
4,8	982,08	0,96	96
5	1023	1	100

Na figura 4 mostra-se a relação da Potencia com os 12 estados lógicos paraconsistentes representados no Reticulado da *LPA2v*.

No *ConTemp_{LPA2v}* cada uma dessa ação pode ser observada através de um *Display* que mostra os valores que estão sendo medidos e os valores monitorados.

Estado Log	Potência	
F	99%	FALSO
V	0	VERDADEIRO
\perp	50%	Indeterminado
T	5%	Inconsistente
QVT	5%	Quase verdadeiro tendendo a inconsistente
TV	5%	Inconsistente tendendo a verdadeiro
QVI	10%	Quase verdadeiro tendendo a indeterminado
IV	10%	Indeterminado tendendo a verdadeiro
QFT	50%	Quase falso tendendo a inconsistente
TF	50%	Indeterminado tendendo a falso
QFI	50%	Quase falso tendendo a inconsistente
IF	50%	Indeterminado tendendo a falso

Figura 4. Relação da potencia do banco de resistores com os estados lógicos paraconsistentes.

Na figura 5 é mostrado o *Display* do *ConTemp_{LPA2v}* onde a Temperatura medida está em 70 °C e o controle está com *Set Point* de 70°C. O estado Lógico paraconsistente resultante é o *IV-Inconsistente tendendo a verdadeiro* indicando uma resposta correspondente a 98% de Potencia para o banco de resistores.



Figura 5. *Display* do circuito do controlador de Paraconsistente utilizado no controle de Temperatura.

3. Resultados e Discussões

O controlador de temperatura Paraconsistente *ConTemp_{LPA2v}* foi utilizado para controlar uma estufa, estabelecendo um *Setpoint* de temperatura de 70° C e anotados os valores de medição para um mesmo tempo de teste.

O mesmo processo se repetiu para o controlador comercial de determinada marca - modelo 1000 programado para operar em modo *ON/OFF* e *PID*.

Os resultados obtidos para cada controlador estão representados nos gráficos da figura 6.

Observa-se que o controle para os três casos, controlador industrial tipo 1000 no modo *ON/OFF*, *PID* e do controlador Paraconsistente atendem ao proposto de controle de temperatura em torno do *Setpoint*.

Os testes elaborados neste trabalho foram apenas com o objetivo de se fazer uma primeira verificação do desempenho do controlador Paraconsistente $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$, não levando em consideração ainda os conceitos matemáticos que envolvem uma malha de controle de processos industriais.

Os resultados visuais dos gráficos mostram como o $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$, se comporta em relação a um controlador

industrial sem levar em consideração outros aspectos da malha de controle, que sem dúvidas serão importantes em trabalhos futuros.

Conforme pode ser visto na figura 6, estes testes, de certa maneira superficiais, já indicam que o controle do controlador Paraconsistente $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$ se assemelha muito com o controle em modo *PID* do controlador comercial. Isto é demonstrado através de sua curva de controle mais suave, além de apresentar a vantagem proporcionada pela possibilidade de se ajustar os níveis de controle para cada estado lógico gerado no controlador Paraconsistente.

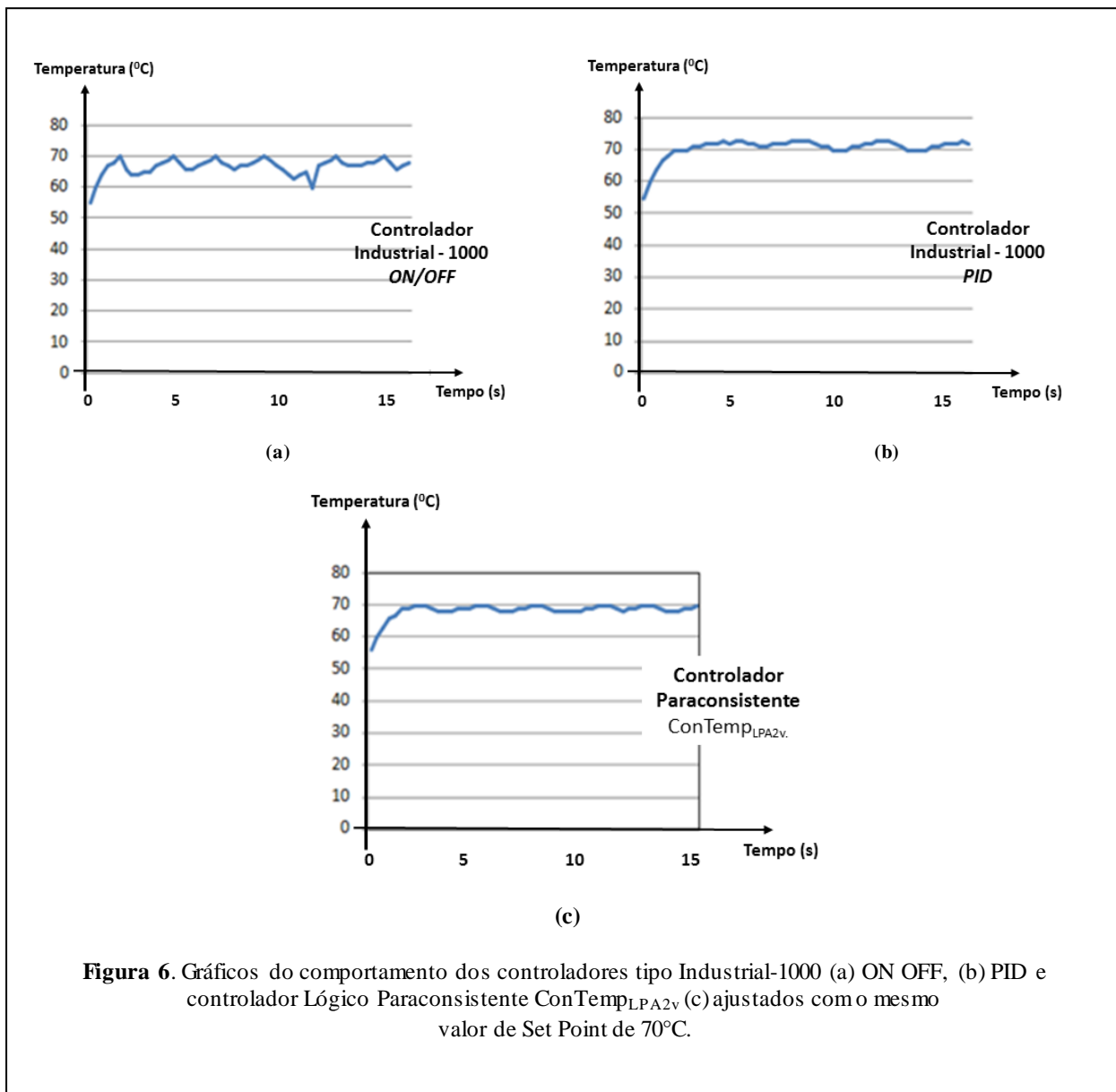


Figura 6. Gráficos do comportamento dos controladores tipo Industrial-1000 (a) ON OFF, (b) PID e controlador Lógico Paraconsistente $\text{ConTemp}_{\text{LPA2v}}$ (c) ajustados com o mesmo valor de Set Point de 70°C.

4. Conclusões

O trabalho apresentado mostra que o controlador de temperatura Paraconsistente ConTemp_{LPA2v}, utilizando microcontrolador *ATMEL* tem um bom desempenho no controle de temperatura. Analisando as curvas pode-se afirmar que o ConTemp_{LPA2v}, teve um resultado superior ao controlador comercial operando no modo *ON/OFF* e similar ao controle *PID* para o mesmo processo, sendo deste modo aplicável em controle de processos industriais. Apesar dos bons resultados obtidos nesta primeira versão, outras verificações e estudos em ambientes diferentes deverão ser feitos para que valores mais significativos possam levar a conclusões mais balizadoras quanto ao desempenho do Controlador Paraconsistente apresentado neste trabalho.

Referências

- [1] Da Silva Filho, J. I.. **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v**. Revista Seleção Documental, ISSN 1809-0648, Santos, SP, BR Número 1, Ano 1, p. 18 – 25, Março 2006.
- [2] Da Silva Filho, J. I.. **Análises de Sinais de Informações em Lógica Paraconsistente Anotada**. Revista Seleção Documental, ISSN 1809-0648, Santos, São Paulo – Brasil, Número 14, Ano 4, p. 22 – 26, Junho 2009.
- [3] Fernandes, C.L.; Mario, M.C., Da Silva Filho, J.I.. **Estudo para inclusão da Lógica Paraconsistente Anotada em normas específicas para utilização em Controladores Programáveis**. Revista *Science and Technology*, vol. 1, N°2, Universidade Santa Cecília, Santos, 2012.
- [4] Da Silva Filho, J. I.; Abe, J. M.; Lambert Torres, G. **Inteligência artificial com as redes de análises paraconsistentes: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- [5] Silva, L.C. R., Mario, M.C., Da Silva Filho, J. I., **Simulação da Lógica Paraconsistente Anotada com Microcontroladores através da Plataforma ARDUINO**, Revista Seleção Documental n 39 Vo110, ISSN 1809-0648, pp 14-17 - Junho, 2015 Santos SP-Brasil.
- [6] Mcroberts, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011
- [7] ATMEL. Data Sheet AT89S8252 Primer.
- [8] Margolis, M. **Arduino Cookbook**. Sebastopol, CA, USA: O' RileyMedia, 2011.