

IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE CONTROLE PID DUPLO E LIMITES CRUZADOS NUMA PLANTA DIDÁTICA INTEGRANDO CLP SIEMENS S71512 EM REDE PROFINET E MATLAB

IMPLEMENTATION OF THE DUAL PID CONTROL STRATEGY AND CROSS-LIMITS IN A DIDACTIC PLANT INTEGRATING SIEMENS S71512 PLCS IN PROFINET AND MATLAB NETWORK

Osmar Correia da Costa Neto¹
Karine Evelyn de Mello²
Kauan dos Reis Santos³
Sérgio Luiz da Conceição Matos⁴
Ricardo Martinez Vicentini⁵

RESUMO:

Neste artigo foi implementado no PLC Siemens S71512 (TIA PORTAL) e MATLAB SIMULINK a comparação do tempo de acomodação do PID(s) C1/LIC03 (demanda de produto controle feedback figura 2/4), C2 /FIC01 (variável vazão mestre figura 2/4) e C3 /FIC02 (variável vazão slave figura 2/4) desenvolvidas nas estratégias de controle em duplo e limites cruzados na planta didática De Lorenzo figura 04. A abordagem adotada se encontra na técnica avançada de controle limites cruzados abordado no Congresso Senai 2024, visando manter a razão de mistura entre 2 produtos em um sistema de 3 tanques específicos.

Palavras-chave: Controlador Lógico Programável (CLP); Funções de Transferência Malha Fechada (FTMF), Controle feedback, Duplo Limites Cruzados, Limites Cruzados e MATLAB SIMULINK.

ABSTRACT:

In this article, the comparison of the settling time of PID(s) C1/LIC03 (product demand feedback control figure 2/4), C2/FIC01 (master flow variable figure 2/4) and C3/FIC02 (slave flow variable figure 2/4) developed in the dual and cross-limit control strategies at the De Lorenzo didactic plant figure 04 was implemented in PLC Siemens S71512 (TIA PORTAL) and MATLAB SIMULINK. The approach adopted is based on the advanced cross-limit control technique discussed at the 2024 Senai Congress, aiming to maintain the mixing ratio between two products in a system of three specific tanks.

Keywords: Programmable Logic Controller (PLC); Closed Loop Transfer Functions (FTMF), Feedback Control, Double Cross Limits, Cross Limits and MATLAB SIMULINK.

1 INTRODUÇÃO

No trabalho Visioli (2005), foi proposta uma nova arquitetura de controle de razão baseada na Blend Station RS de Hägglund (2017) com o objetivo de alcançar melhores respostas transitórias, adotando uma variação no parâmetro "a" (figura 2) em relação ao tempo de acomodação das variáveis Y1(s) (demanda de produto LIT 03 figura 4) e Y2(s) (vazão FIT 01 master figura 4) Y3(s) (vazão FIT 02 slave figura 4), tal que este seja representado como em função do tempo. Visioli (2005) considera que para esta arquitetura os processos P1, P2 e P3 (figura 2) devem ser modelados como funções de transferência de primeira e segunda ordem em função do tempo morto (e^{-L_1s} , e^{-L_2s} , e^{-L_3s} , $e^{-L_{1,3s}}$, $e^{-L_{2,3s}}$) e constante de tempo $T_1(s)$, $T_2(s)$,

$T_3(s)$, desenvolvendo-se os processos $P_1(s), P_2(s), P_3(s)$ a serem integrados ao LIC03, FIC01 e FIC02, conforme ilustra a figura 4 na qual justificou o uso do método IMC conforme as Funções de transferências dos processos P1, P2 e P3, no domínio de Laplace descritas a seguir: Fabio Alves (2024), Artigo Limites Cruzados.

$$P_1(s) = \frac{K1}{T_1(s) + 1} e^{-L1s} \quad (1)$$

$$P_2(s) = \frac{K2}{T_2(s) + 1} e^{-L2s} \quad (2)$$

$$P_3(s) = \frac{K3}{T_3(s) + 1} e^{-L3s} \quad (3)$$

Na figura 4 temos o sistema de segunda ordem no qual proporciona o ajuste do tempo derivativo a ser parametrizado no $C_1(s)$ (Controlador PID1 a ser configurado) $P_1(s)$ (Tanque 1), $P_3(s)$ (Tanque 3), $P_2(s)$ (Tanque 2) e $P_3(s)$ (Tanque 3)

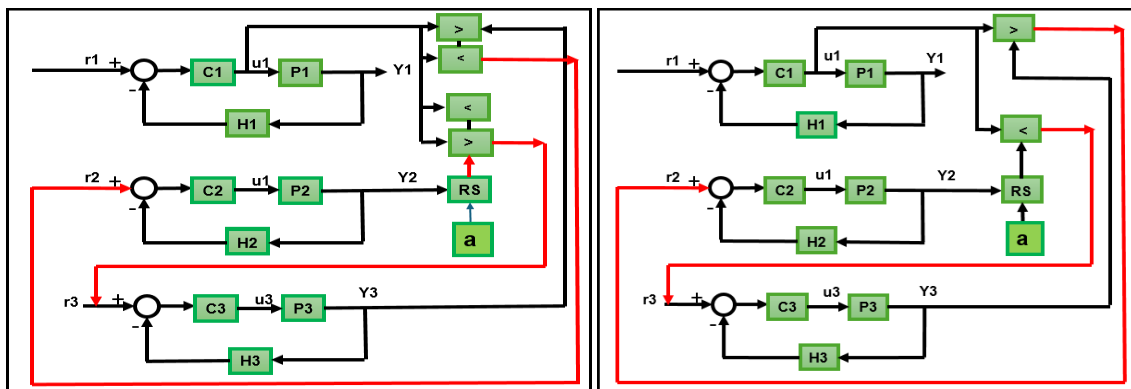
$$P_{1,3}(s) = \frac{K_{1,3}}{(T_3s + 1)(T_1s + 1)} e^{-L_{1,3}s} \quad (4)$$

$$P_{2,3}(s) = \frac{K_{2,3}}{(T_3s + 1)(T_2s + 1)} e^{-L_{2,3}s} \quad (5)$$

1.1 Problema de pesquisa

Segundo Campos & Teixeira (2011), o controle duplo e limites cruzados é uma técnica avançada utilizada em processos industriais complexos, definindo a vazão desejada de misturas entre dois produtos que está associada à demanda necessária para a produção. Conforme Murrill (2000), um tipo comumente encontrado de sistema de controle de *feedback* de malha múltipla é o controle de proporção (às vezes chamado de controle de fração) conforme figura 2 e 3. Conforme Matos et. al. (2016), os recursos do controlador proporcional, integral e derivativo na automação baseada em sistemas digitais de controle, foi desenvolvido 3 PID's blocados no CLP Siemens S71512 aplicados nas estratégias de controle Duplo limites cruzados e limites cruzados.

Figura 2 – Diagrama estratégia controle Duplo limites cruzados e limites cruzados



Fonte: Elaborado pelo autor

1.2 Objetivo(s)

Desenvolver o estudo em comparar o tempo de acomodação (resposta transitória) entre as estratégias de controle Duplo e limites cruzados utilizando a planta didática De Lorenzo, com a finalidade de manter a razão de uma mistura entre dois produtos(C2/FIC01,C3/FIC02 figura 2 e 4) dentro dos limites de segurança override (comparadores passa alto e baixo figura 2 e 4) conforme a demanda de controle feedback(C1/LIC03 figura 2 e 4).

1.3 Justificativa

Segundo Franchi (2011), em controle de processos podem ocorrer situações em que duas ou mais variáveis não podem exceder limites por razões de economia, eficiência ou segurança. Conforme Nise (2012), nesse projeto o número de variáveis controladas é maior que o número de variáveis manipuladas, justificando a configuração do seletor *Override* passa alto e baixo (figura 2 e 4) a serem atribuídos para seleção dos pontos de controle C2/FIC01 e C3/ FIC02 figura 2 e 4.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os controladores $C_1(s)$ (FIC 01), $C_2(s)$ (FIC 02) e $C_3(s)$ (LIC 03) Figura 2 e 4 implementados nesse projeto utilizou a função do PID série existente no CLP Siemens conforme a saída manipulada $u_1(t)$, $u_2(t)$ e $u_3(t)$ figura 2 e 4, na qual os PID(s) foram configurados para estabelecer as equações abaixo com a finalidade de otimizar a comparação do tempo de acomodação em $C_1(s)$ (FIC 01) $C_3(s)$ (LIC 03) nas estratégias Duplo limites cruzados e Limites cruzados.

$$u_1(t) = K_{p1} \left(y_1(t) - r_1(t) + \frac{1}{T_{i1}} \int_0^t (y_1(t) - r_1(t))dt + td \frac{d(y_1(t) - r_1(t))}{dt} \right) \quad (6)$$

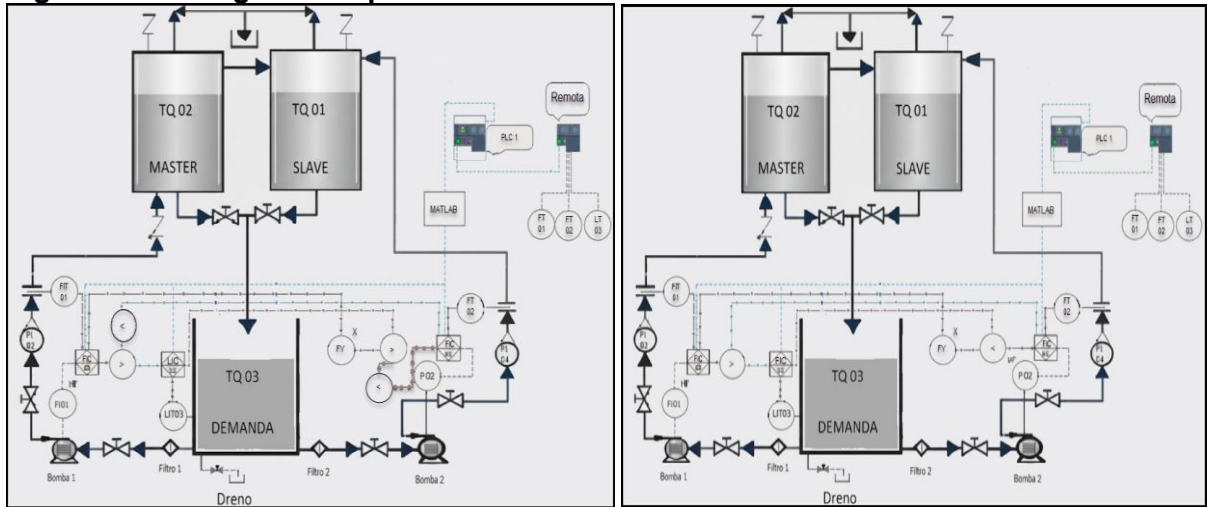
$$u_2(t) = K_{p2} \left(r_2(t) - y_2(t) + \frac{1}{T_{i2}} \int_0^t (r_2(t) - y_2(t))dt + td \frac{d(r_2(t) - y_2(t))}{dt} \right) \quad (7)$$

$$u_3(t) = K_{p3} \left(r_3(t) - y_3(t) + \frac{1}{T_{i3}} \int_0^t (r_3(t) - y_3(t))dt + td \frac{d(r_3(t) - y_3(t))}{dt} \right) \quad (8)$$

3 METODOLOGIA

O projeto consiste em realizar o controle de nível do tanque 3 (LIC 03/C1 (figuras 2 e 4) através das bombas de sucção que fazem a alimentação dos tanques superiores, 1 e 2, que representam os produtos (A = Y2/FIT01 e B= Y3/FIT02 figura 2 e 4) em uma relação de 50%.

Figura 4 – Fluxograma Duplo limites cruzados e limites Cruzados

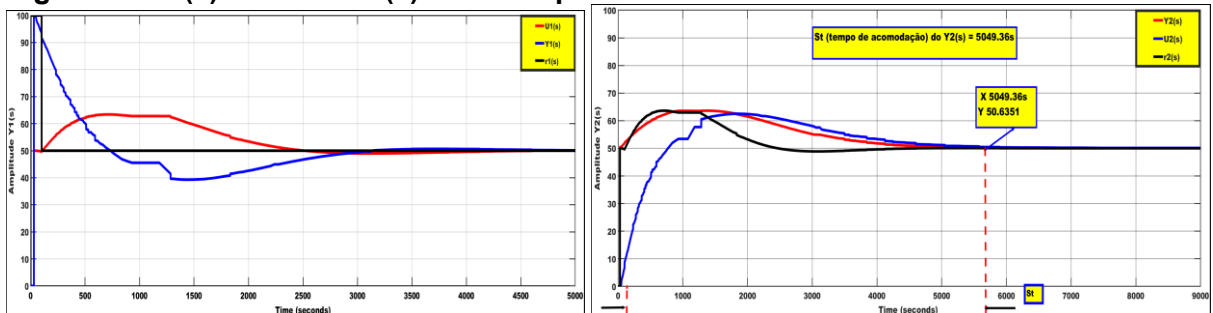


Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

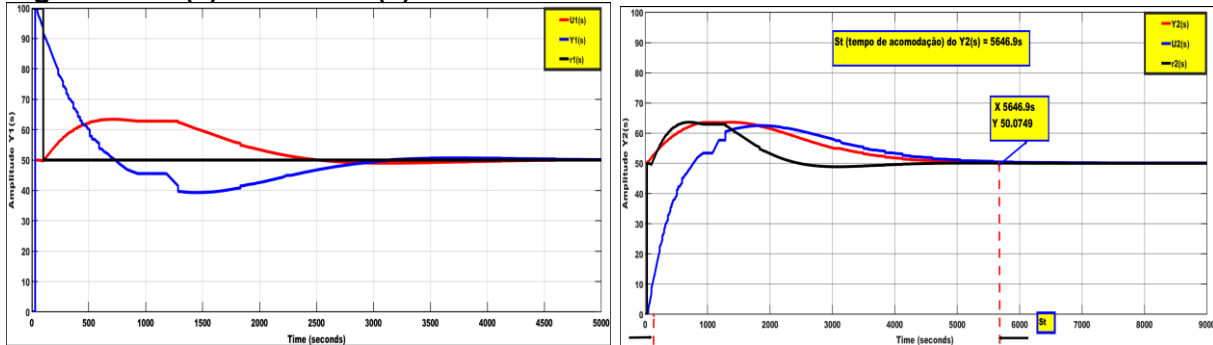
Em função da figura 2 obtemos os valores de sintonia pelo método IMC, C1(s) ($K_p=0.002$, $T_i=130.3s$ e $T_d=32.44s$) C2(s) ($K_p=0.77$, $T_i=64.5s$) C2(s) ($K_p=0.88$, $T_i=65.85s$) para duplo e limites cruzados para comparação de respostas transitórias.

Figura 5 - Y1(s)/LIC03 e Y2(s)/FIC01 Duplo limites Cruzados



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 - Y1(s)/LIC03 e Y2(s)/FIC01 limites Cruzados



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi verificado a resposta transitória (tempo de acomodação) do Y1(s)/LIC03 e Y2(s)/FIC01 da estratégia Duplo limites cruzados no valor 5049.36s < 5646.9s na estratégia

Limites Cruzados, demonstrando que a estratégia Duplo limites cruzados apresentou uma resposta transitória (tempo de acomodação) menor que a estratégia limites cruzados.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o estudo em comparar o controle duplo limites cruzados e limites cruzados aplicado à planta didática De Lorenzo, visando manteve a razão entre dois produtos distintos e provou-se eficaz após o tempo de acomodação otimizando os limites ± 2 a 3% entre *undershooting* e *overshooting* após a estabilidade do ponto de controle para demanda, vazão *master* se mantendo estável em momentos diferentes do processo. Durante a partida da planta é visível a atuação dos “relés” passa alto e baixo para manter a relação proposta pelo projeto de 50%.

Para trabalhos futuros, poderá ser aplicado a lógica paraconsistente como outro método de sintonia a ser comparada com o método de sintonia IMC na estratégia Duplo limites cruzados e Limites cruzados e integração de PLC's de diferentes fabricantes em rede na estratégia de controle com receita de produto desenvolvida no Matlab.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G.. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2011. 396 p.

FRANCHI, Clayton Moro. **Controle de Processos Industriais: princípios e aplicações**. São Paulo: Erica, 2011. 256 p.

HÄGGLUND, T.. The Tracking Ratio Station. **Control Engineering Practice**, [S.L.], v. 69, p. 122-130, dez. 2017.

Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2017.09.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967066117302198>. Acesso em: 13 aug. 2025.

MATOS, Sergio Luiz da Conceição *et al*. Recursos do Controlador Proporcional, Integral e Derivativo na Automação Baseada em Sistemas Digitais de Controle. **Seleção Documental**, Santos, v. 43, p. 9-14, Setembro de 2016.

MURRIL, Paul W. **Fundamentals of Process Control Theory**. 3. ed. : Isa, 2000. 333 p.

NISE, N. S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 6º. ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2012, 1285 p.

Paula, Fabio Alves. Implementação Da Estratégia De Controle PID Limites Cruzados Numa Planta Didática Integrando CLP SIEMENS S71512 MATLAB E NODE RED <https://www.even3.com.br/anais/congressosenai-sp/937834-implementacao-da-estrategia-de-controle-pid-limites-cruzados- numa-planta-didatica-integrando-clp-siemens-s71512/>. Acesso em 13 ago. 2025

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de primeiramente agradecer a Deus e também a todos os membros do grupo de pesquisa de Engenharia Elétrica, Eletrônica, Automação e Reindustrialização da Faculdade SENAI SP, que de forma direta ou

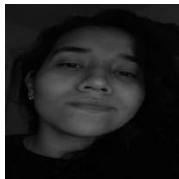
indireta contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa.
SOBRE O(S)AUTOR(ES)

i OSMAR CORREIA DA COSTA NETO



Técnico de Instrumentação, Superior de Tecnologia em Automação Industrial em 2023 (SENAI Santos), e graduando Engenharia de Controle e Automação, com Pós Graduação em Automação Industrial (SENAI São Caetano do Sul - Mecatrônica).

ii KARINE EVELYN DE MELLO



Técnica em Eletroeletrônica em 2022 (SENAI Cubatão), e cursando Superior de Tecnologia em Automação Industrial (SENAI Santos).

iii KAUAN DOS REIS SANTOS



Técnico em Elétrica (ETEC Aristóteles Ferreira), e cursando Superior de Tecnologia em Automação Industrial (SENAI Santos).

iv SERGIO LUIZ DA CONCEIÇÃO MATOS



Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2018). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale do Paraíba (2002), Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Metropolitana de Santos (2007) e Técnico de Instrumentação (SENAI Santos, 1989), Professor da Faculdade SENAI Santos no curso de Tecnologia em Automação Industrial. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5595-3947>

v RICARDO MARTINEZ VICENTINI



Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do ABC - UFABC (2018), Pós-graduado lato sensu em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2016) e Tecnólogo em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia de São Vicente - FATEF (2013). Atualmente é professor na Faculdade Tecnologia de São Vicente. É membro da Sociedade Brasileira de Automática (SBA). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6974-0873>