



## Control Plant Generic PID Controllers Using the Second Tuning Method Ziegler-Nichols

João Paulo Apoliano Oliveira<sup>1</sup>, Rivanildo Duarte Almeida<sup>1</sup>, Carlos Alberto Monteiro<sup>1</sup>, Herik Cabral Bezerra<sup>1</sup>, José Arcanjo Angelim da Silva<sup>1</sup>, Neicimar Rodrigues da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM). Av. Joaquim Nabuco Nº 1950. Centro. Manaus-AM-Brasil. CEP: 69005-080. Email: [joao\\_paulo.apoliano@hotmail.com](mailto:joao_paulo.apoliano@hotmail.com), [rivanildo\\_duarte@yahoo.com.br](mailto:rivanildo_duarte@yahoo.com.br), [monteiro.marca@gmail.com](mailto:monteiro.marca@gmail.com)

Received: October 16<sup>th</sup>, 2016

Accepted: December 12<sup>th</sup>, 2016

Published: December, 22<sup>th</sup>, 2016

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### ABSTRACT

This article presents a study in process control using the second tuning method Ziegler-Nichols. The second Ziegler-Nichols tuning method determines a gain and a period called critical gain and the critical period, respectively. And through empirical testing, to achieve system stability. The chosen driver for the development of this work was the PID (Proportional - Integral - Derivative). The purpose of this article is the study of the second Ziegler-Nichols tuning method in process control, making the stable control system. The development of this work was performed by MATLAB and Simulink software. The results showed that the research is relevant because the Ziegler and Nichols optimization method is applicable for process control projects using PID controllers.

**Keywords:** Control, Industrial Process, Manufacturing.

### Controle de Planta Genérica com Controladores PID Utilizando o Segundo Método de Sintonia Ziegler-Nichols

### RESUMO

O presente artigo apresenta um estudo em controle de processo utilizando o segundo método de sintonia *Ziegler-Nichols*. O segundo método de sintonia *Ziegler-Nichols* consiste em determinar um ganho e um período denominados ganho crítico e período crítico, respectivamente. E através de testes empíricos, conseguir a estabilidade do sistema. O controlador escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o tipo PID (Proporcional – Integral – Derivativo). O objetivo deste artigo é o estudo do segundo método de sintonia *Ziegler-Nichols* em controle de processo, tornando o sistema de controle estável. O desenvolvimento deste trabalho foi realizado por meio do software *MATLAB* e *Simulink*. Os resultados obtidos mostraram que a pesquisa tem relevância, pois o método de otimização Ziegler e Nichols é aplicável em projetos de controle de processo utilizando controladores PID.

**Palavras Chaves:** Controle, Processo Industrial, Manufatura

### I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de Controle de processos ocupam um espaço de fundamental importância em vários setores da indústria, tais como fabricação de produtos, linhas de montagem automáticas, controle de ferramentas, controle de temperatura, controle de vazão, controle completo de veículos espaciais e outros [1].

Nas últimas décadas é notável que o desenvolvimento de novas máquinas e robustas computacionalmente alteraram os processos produtivos nas industriais. Comprova-se este fato no

século passado, pois houve o crescimento muito grande de utilização destas máquinas em processos industriais [2].

O sistema de controle é um elemento ou conjunto de elementos de algoritmos de controle, que modifica o comportamento da resposta de saída do sistema controlado para que aproxime-se da resposta desejada (Sintonia ótima).

Neste artigo foi abordado a implementação de um projeto de sistema de controle utilizando um controlador tipo PID, com aplicação do segundo método de sintonia *Ziegler-Nichols*. Os

controladores PID são largamente aplicados na resolução de problemas em processos industriais.

O método de sintonia *Ziegler-Nichols* consiste em determinar um ganho e um período denominados ganho crítico e período crítico, respectivamente. E através de testes empíricos com resposta ao sinal de entrada degrau, conseguir a estabilidade do sistema, ou seja, uma resposta de saída próxima da resposta pré-determinada ou desejada.

Este artigo tem como relevância e contribuição apresentar a metodologia aplicável para implementação de projetos em sistemas de controle de processos, seja industrial ou não.

O objetivo deste artigo é o estudo aplicado do segundo método de otimização *Ziegler-Nichols* em controle de processo, tornando o sistema de controle estável.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### II.1 CONTROLADOR PID

Os controladores tipo PID em geral tem aplicabilidade na maioria dos sistemas de controle. Mais especificamente em sistemas de controle de processos que necessitam de continuidade, os controladores PID mostraram um desempenho satisfatório na implementação de projetos em sistemas de controle [3].

Segundo [4], o controlador PID resulta da combinação dos fatores proporcional, integral e derivativo em um único bloco de compensação.

Para [5], ter controladores bem sintonizados e com ferramentas que possam acompanhar seus desempenhos ao longo do tempo com a possibilidade de resintonizá-los, ou autossintonizá-los, passa a ser um item quase que obrigatório para manter processos com alta produtividade e baixo custo. Já que em um mundo globalizado, o nível mais acirrado de concorrência entre as empresas, atualmente, está no custeio e na produtividade.

No domínio da frequência, a equação que relaciona o sinal de erro (E) com o sinal de saída (U) de um controlador PID básico, é expressa na figura (1) [3].

$$U = E \left[ K_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \right] \quad (1)$$

### II.2 MÉTODO DE SINTONIA ZIEGLER-NICHOLS

Em 1942, o engenheiro químico John G. Ziegler e o matemático Nathaniel B. Nichols desenvolveram dois métodos de sintonia para controladores PID para aplicação em sistemas de controle. Esses métodos foram fundamentados na determinação de características de determinados processos, seja em sistemas de malha aberta ou em sistemas de malha fechada. E em função destas características foram escritos os parâmetros  $K_p$ ,  $T_i$  e  $T_d$ , por meio de expressões matemáticas simples. Estes parâmetros são utilizados na sintonia do controlador PID [6].

Segundo [7], a proposta dos pesquisadores Ziegler e Nichols para ajustes de sintonia de controladores PID baseia-se em dados empíricos de sistemas dinâmicos. Portanto não é preciso conhecimento detalhado do modelo matemático do sistema a ser controlado, para executar a sintonia do controlador PID basta que o engenheiro especialista em sistemas controle faça alguns testes na planta e aplique as regras de ajustes.

No primeiro método de Ziegler Nichols desenvolvido obtém-se experimentalmente a resposta do sistema aplicando-se um sinal de degrau unitário na entrada. Se na planta não existir integradores, nem pólos complexos conjugados dominantes, então esse sinal de resposta ao degrau unitário tem a forma de "S". Esse método é aplicado em sistemas de malha aberta. Ver figura 1 [8][11].

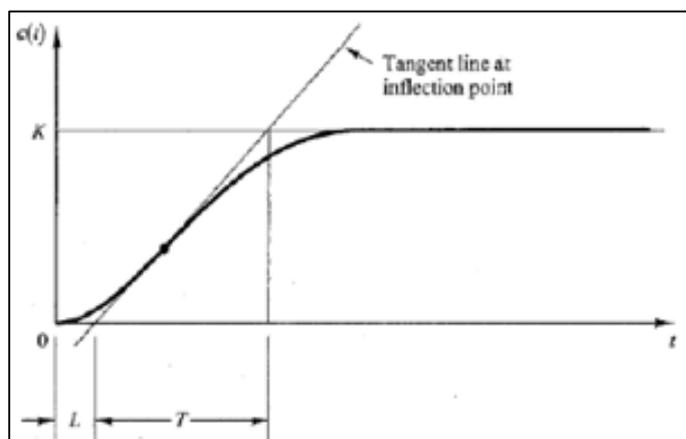


Figura 1. Resposta ao degrau de entrada em forma de "S".

Fonte: [8][11].

Esse método somente é aplicado se a curva de resposta ao degrau de entrada tiver uma forma de um "S".

O segundo método de Ziegler Nichols é aplicado a sistemas instáveis ou oscilantes em malha fechada. Com o processo ou planta em malha fechada e com um controlador PID em série, varia-se o ganho P do controlador de modo que o sistema entre em oscilação permanente. Ver figura 2. Quando o sistema assumir esta condição, o valor de P é chamado de ganho crítico  $K_u = K_{cr}$ . O período de oscilação é chamado de período crítico  $T_u = P_{cr}$  [6].

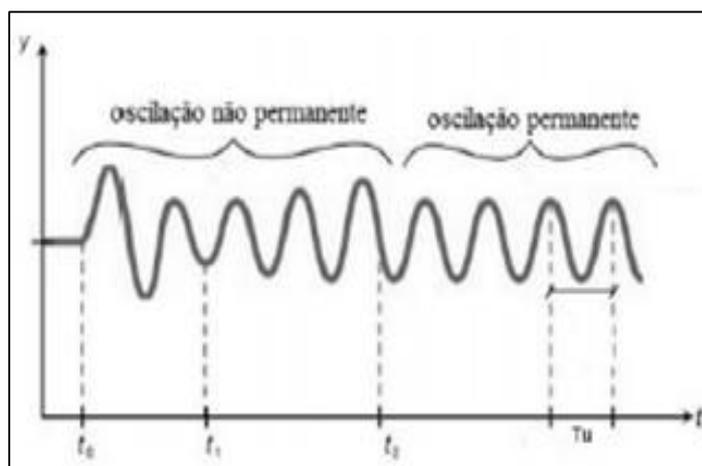


Figura 2. Oscilação Crítica.

Fonte: [6].

A tabela 1 abaixo apresenta os ajustes dos parâmetros proposto pelo segundo método Ziegler Nichols para um controlador PID em função  $K_u = K_{cr}$  e  $T_u = P_{cr}$ .

Tabela 1. Sintonia de controladores, Segundo método Ziegler Nichols.

Controlador	Kp	Ti	Td
P	0,5Ku	-	-
PI	0,5Ku	0,8Tu	-
PID	0,6Ku	0,5tu	0,125Tu

Fonte: Autores, (2016).

Neste segundo método de Ziegler Nichols, os resultados da resposta ao sinal de degrau na entrada dos sistemas são melhores do que os resultados que se obtém no primeiro método, a sintonia no segundo método é razoável a perturbação, sobressinal e o tempo de acomodação é menor [6].

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

A metodologia utilizada para realização deste trabalho foi através de simulações no software MATLAB. O software MATLAB é uma ferramenta poderosa e utilizada no mundo inteiro no desenvolvimento de projetos em todas as áreas da engenharia. As simulações foram realizadas em uma ferramenta do MATLAB, chamada SIMULINK [9].

Como falado anteriormente o método de otimização em estudo é o segundo método *Ziegler-Nichols*, que consiste em determinar um ganho e um período, denominados ganho crítico e período crítico, respectivamente. E através de testes empíricos conseguir a estabilidade do sistema. O método *Ziegler-Nichols* é aplicado quando os modelos das plantas são desconhecidos, mas também podem ser aplicados em plantas com modelos conhecidos.

Segundo [10], após a aplicação método *Ziegler-Nichols* é necessário realizar um ajuste fino e o ponto de partida para realização desse ajuste é fornecido pelo método de *Ziegler-Nichols*.

O controlador utilizado no desenvolvimento deste trabalho é do tipo PID.

Para este artigo a metodologia adotada foi dividida nas seguintes etapas:

- Utilizando a ferramenta Simulink do MATLAB, crie o projeto, sem o controlador PID;
- Aplicar o sinal degrau na entrada do sistema e verificar o comportamento do sinal de saída sem o PID;
- Novamente utilizando a ferramenta Simulink do MATLAB crie um projeto, com o controlador PID;
- Aplicar o método de otimização *Ziegler-Nichols*;
- Variar o ganho proporcional P, até atingir sinal oscilatório, manter I = 0, D = 0. Nesta caso é P=30;
- Determinar Kcr (Ganho critico);
- Calcular Pcr (Período crítico) – usar gráfico com oscilação critica;
- Cálculo Kp (ganho proporcional) – usar tabela;
- Cálculo Td (Tempo derivativo) – usar tabela;
- Cálculo Ti (Tempo integrativo) usar tabela;
- Cálculo Ki (Ganho integral) usar tabela;
- Cálculo Kd (Ganho derivativo) usar tabela;

- Ajustar controlador PID;
- Analisar resposta da planta no gráfico, se é a resposta desejada.

### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo do método de otimização *Ziegler-Nichols* foi realizado no MATLAB/Simulink. Foram cumpridas todas as etapas descritas na metodologia.

#### IV.1. CRIAÇÃO DO PROJETO NO MATLAB/SIMULINK, SEM CONTROLADOR PID. VER FIGURA 3.

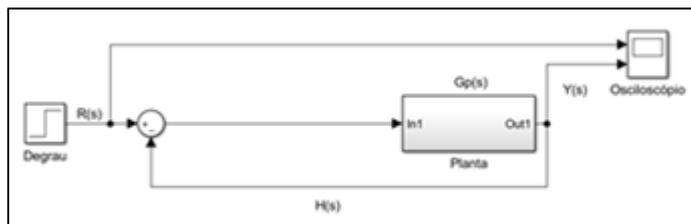


Figura 3. Sistema sem controlador PID.

Fonte: Autores, (2016).

A figura 4 mostra a resposta ao sinal degrau de entrada sem influência do controlador PID e verifica-se que o tempo de resposta para o sistema estabilizar foi de 20s.

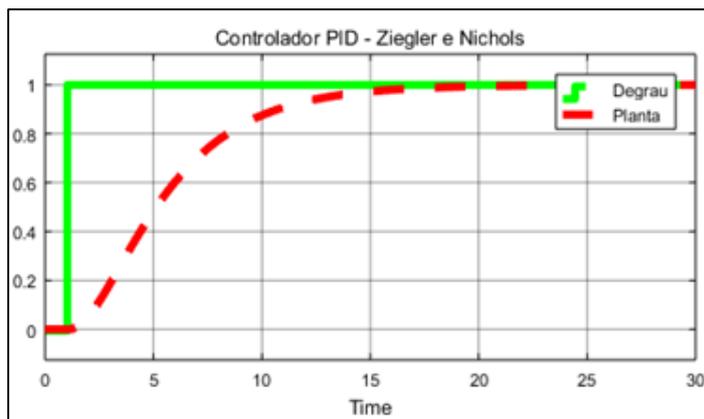


Figura 4. Resposta ao sinal degrau de entrada.

Fonte: Autores, (2016).

#### IV.2 CRIAÇÃO DO PROJETO NO MATLAB/SIMULINK, COM O CONTROLADOR PID, VER FIGURA 6.

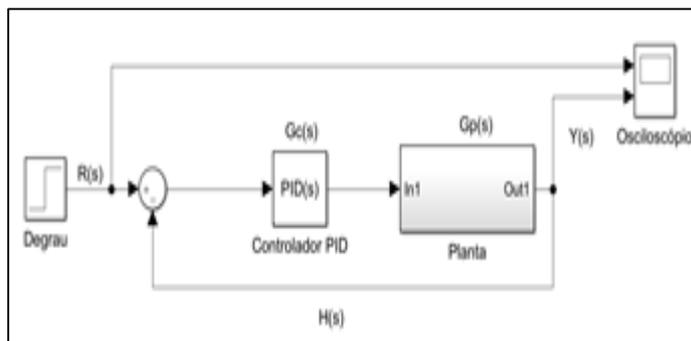


Figura 5. Sistema com controlador PID.

Fonte – Autores, (2016).

IV.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO ZIEGLER-NICHOLS

a) Variando o ganho proporcional até atingir a oscilação crítica, com amplitudes iguais. Para este caso  $P = 30$ . Mantem-se o ganho Integral (I) e Derivativo (D) igual a zero. Ver figura 6.

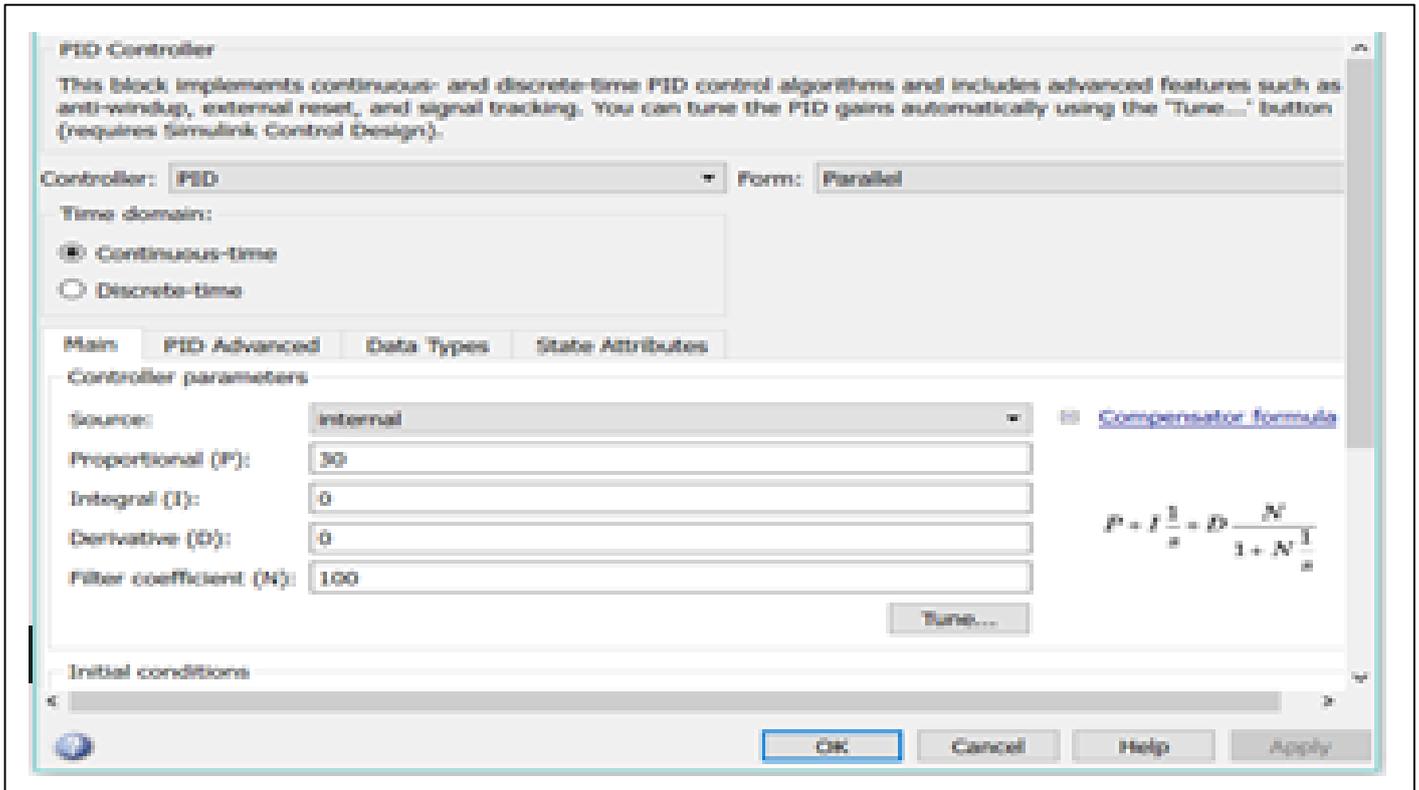


Figura 6. Janela para ajuste do controlador PID no MatLab.  
Fonte: Autores, (2016).

b) Determinando  $K_{cr}$  (Ganho crítico)

Com  $P=30$ , obteve-se uma oscilação crítica, logo  $P = 30 = K_{cr}$ . Ver figura 8 baixo.

c) Calculando  $P_{cr}$  (Período crítico) – Identificar na figura 8 abaixo.

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 5,409 - 2,591$$

$$\Delta T = P_{cr} = 2,817 \text{ segundos}$$

Utilizando a tabela 2 abaixo considerando controlador PID, calcular  $K_p$ ,  $T_d$  e  $T_i$ .

Tabela 2. Parâmetros do segundo método de Ziegler Nichols

Tipo de Controlador	$K_p$	$T_d$	$T_i=1/K_i$
P	0,5 $K_{cr}$	0	8
PI	0,4 $K_{cr}$	0	$P_{cr}/1,2$
PID	0,6 $K_{cr}$	0,12 $P_{cr}$	0,5 $P_{cr}$

Fonte: Autores, (2016).

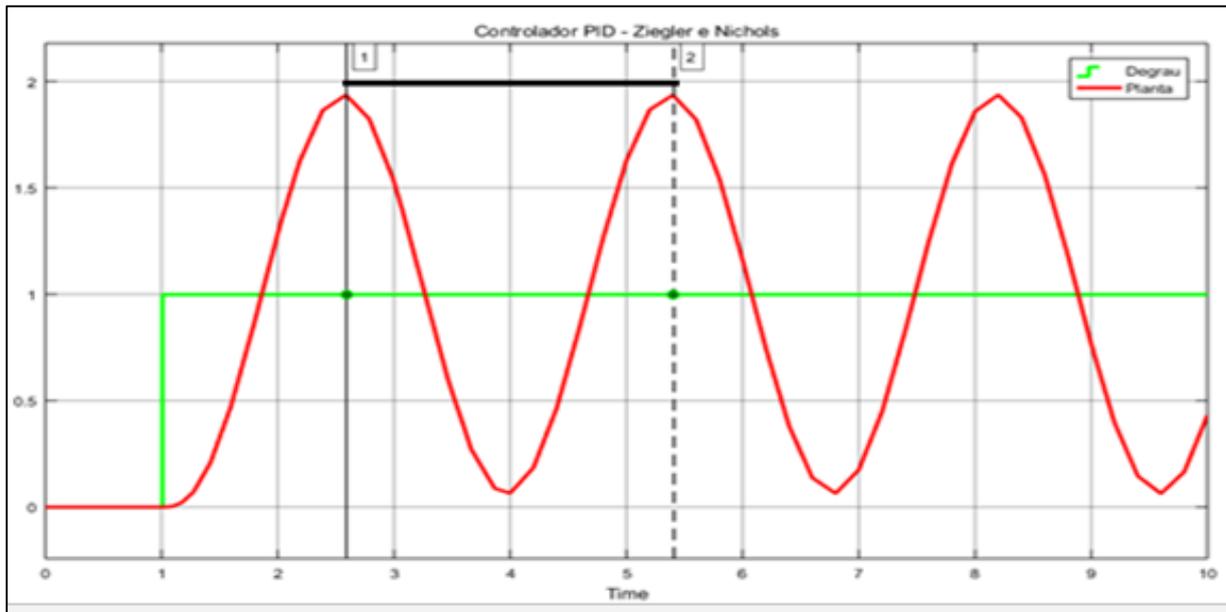


Figura 7. Sinal de saída (oscilação crítica):  
Fonte: Autores, (2016).

d) Calculando  $K_p$  ( Ganho ??)

$$K_p = 0,6 * K_{cr}$$

$$K_p = 0,6 * 30$$

$$\mathbf{K_p = 18}$$

e) Calculando tempo derivativo ( $T_d$ )

$$T_d = P_{cr} * 0,125$$

$$T_d = 2,817 * 0,125$$

$$\mathbf{T_d = 0,352 \text{ segundos.}}$$

f) Calculando o tempo integral ( $T_i$ )

$$T_i = P_{cr} * 0,5$$

$$T_i = 2,817 * 0,5$$

$$\mathbf{T_i = 1,4085 \text{ segundos.}}$$

g) Cálculo do ganho integral ( $K_i$ )

$$K_i = K_p / T_i$$

$$K_i = 18 / 1,4085$$

$$\mathbf{K_i = 12,8.}$$

h) Cálculo do ganho derivativo ( $K_d$ )

$$K_d = K_p * T_d$$

$$K_d = 18 * 0,352$$

$$\mathbf{K_d = 6,33}$$

### IV.3.1 AJUSTE DOS GANHOS $K_p$ , $K_i$ E $K_d$ NO CONTROLADOR PID

De posse dos ganhos do controlador PID, realizar ajustes e analisar a resposta na saída, até alcançar a resposta desejada. Ver figura 8.

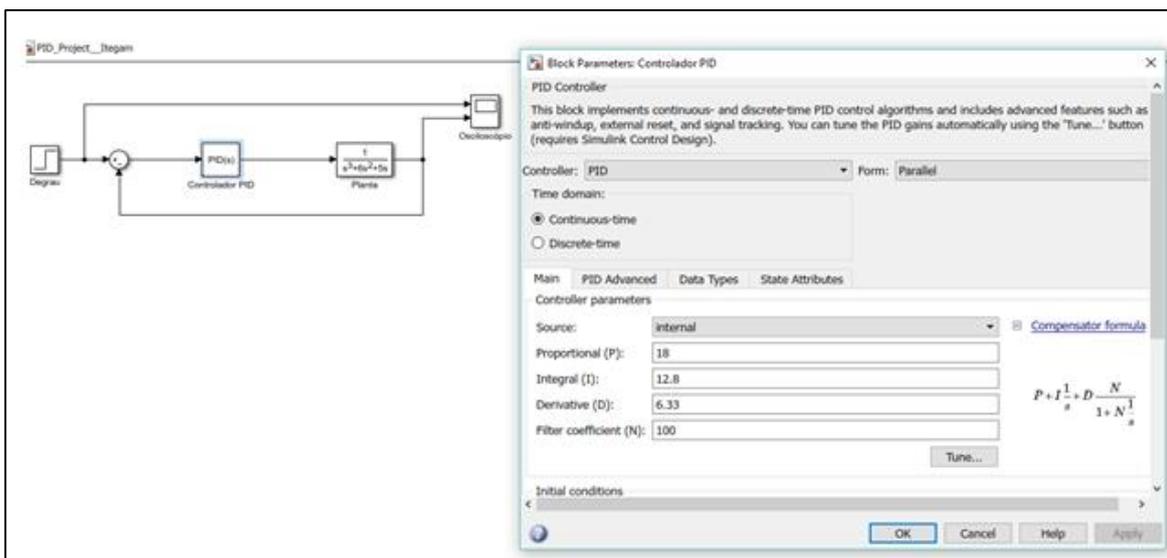


Figura 8. Sintonia do Controlador PID.

Fonte: Autores, (2016).

Analisando a figura 9, após os ajustes dos ganhos do controlador PID,  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , verifica-se que a resposta da planta ao sinal de entrada degrau unitário, usando o segundo método Ziegler e Nichols, alcançou um overshoot de aproximadamente de 62%, com um tempo de resposta de aproximadamente de 10

segundos. Um overshoot de 62%, é considerado um overshoot prejudicial ao sistema, portanto é necessário realizar um ajuste fino para diminuir o valor do overshoot, para então melhorar a resposta do sistema.

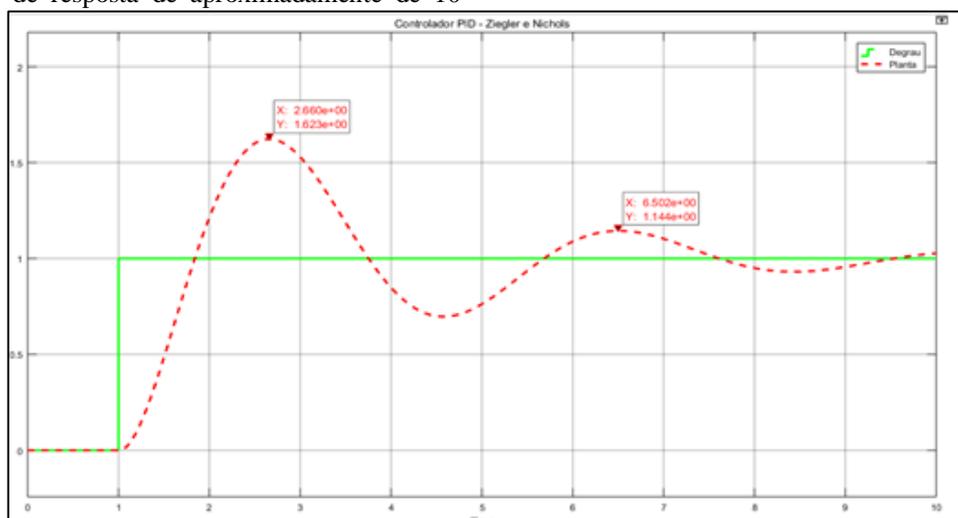


Figura 9. Resposta ao degrau unitário, após ajustes do controlador PID.  
Fonte: Autores, (2016).

#### IV.3.2 AJUSTE DE SINTONIA FINA DO OVERSHOOT

O ajuste fino consiste em ajustar os ganhos P e D do controlador PID, para então obter uma melhor resposta do sistema (planta). Foram realizados 4 (quatro) ajustes e separadamente analisados suas respostas.

1<sup>o</sup> - Ajuste: P = 18; **D = 8,33**; I = 12,8 (2 unidades incrementadas em **D**).

Analisando a figura 10, verificou-se que após o ajuste, o overshoot da resposta do sistema diminuiu para aproximadamente 49%, e o tempo de resposta diminuiu para 8 segundos.

2<sup>o</sup> - Ajuste: P = 18; **D = 10,33**; I = 12,8 (2 unidades incrementadas em **D**).

Analisando a figura 11, verificou-se que após o ajuste, o overshoot da resposta do sistema diminuiu para aproximadamente 39%, e o tempo de resposta diminuiu para 7,72 segundos.

3<sup>o</sup> - Ajuste: P = 18; **D = 12,33**; I = 12,8 (2 unidades incrementadas em **D**).

Analisando a figura 12, verificou-se que após o ajuste, o overshoot da resposta do sistema diminuiu para aproximadamente 31%, e uma variação no tempo de resposta para 8,9 segundos.

4<sup>o</sup> - Ajuste: **P = 16**; **D = 12,33**; I = 12,8 (2 unidades decrementadas em **P**).

Analisando a figura 13, verificou-se que após o ajuste, o overshoot da resposta do sistema diminuiu para aproximadamente 29%, e uma variação no tempo de resposta para 9,17 segundos.

Analisando o 4<sup>o</sup> ajuste fino mostrado na figura 14, verifica-se um sinal de resposta do sistema, estável, com tempo de resposta de 9,17 segundos e com overshoot de 29%, portanto aceitável.

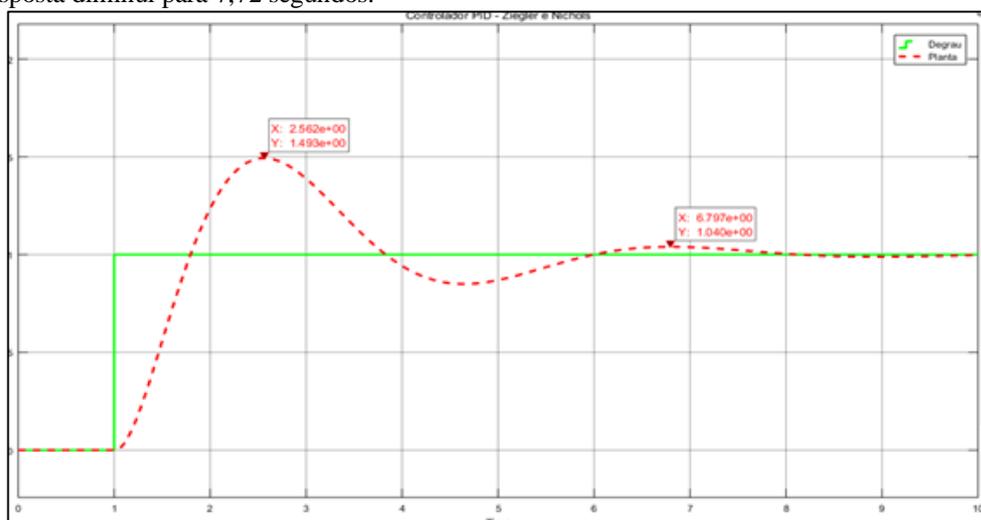


Figura 10. Resposta da planta com o 1<sup>o</sup> ajuste.  
Fonte: Autores, (2016).

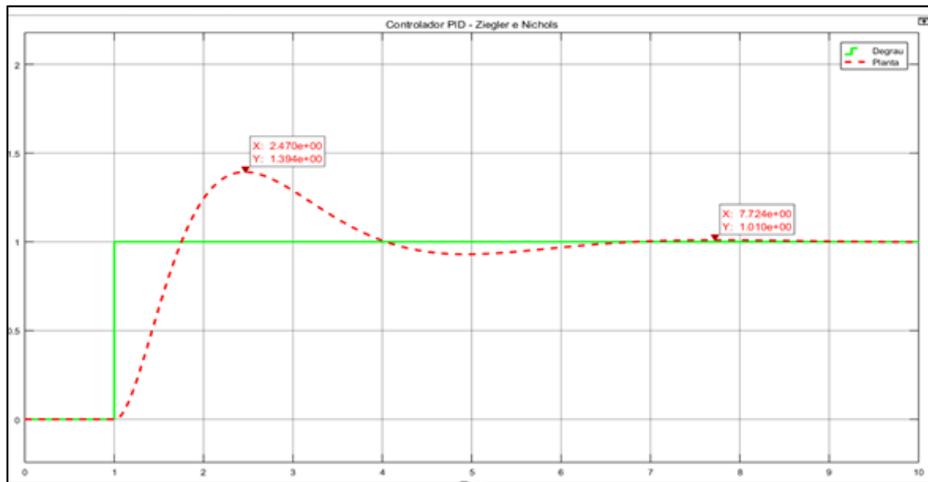


Figura 11. Resposta da planta com o 2<sup>o</sup> ajuste.  
Fonte: Autores, (2016).

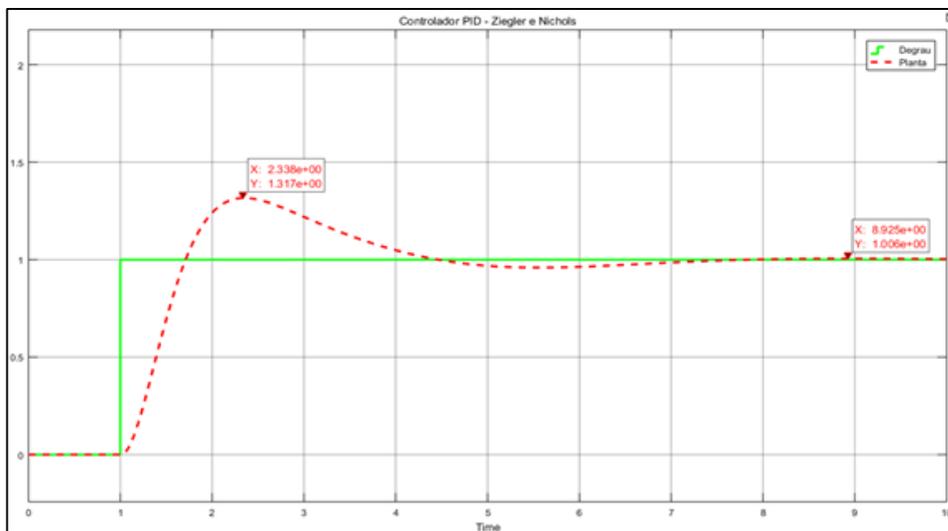


Figura 12. Resposta da planta com o 3<sup>o</sup> ajuste.  
Fonte: Autores, (2016).

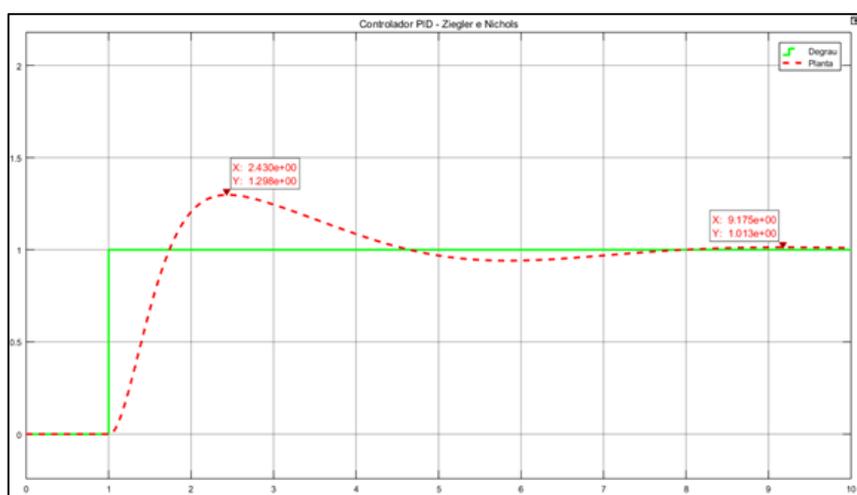


Figura 13. Resposta da planta com o 4<sup>o</sup> ajuste.  
Fonte: Autores, (2016).

## V. CONCLUSÃO

O estudo realizado sobre controle de processo agregou um conhecimento importante sobre os fundamentos de sistemas de controle, controlador PID, métodos de otimização Ziegler e Nichols, bem como na aplicação experimental do segundo método de Ziegler e Nichols através de simulações no software MATLAB. De acordo com os resultados obtidos das análises das simulações realizadas no software *Simulink*/MATLAB.

Os resultados obtidos mostraram que a pesquisa tem relevância, pois o método de otimização Ziegler e Nichols é aplicável em projetos de controle de processo utilizando controladores PID. E que além do cálculo dos ganhos  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  para ajuste de sintonia do controlador PID, é necessário por último um ajuste fino com experimentos variando o ganho  $K_d$ , com o objetivo de tornar o nível de sobressinal (*overshoot*) e tempo de resposta ou acomodação aceitáveis. Neste trabalho conseguiu-se diminuir o overshoot de 62% para 29% e o tempo de resposta diminuiu de 20 segundos (sem controlador PID) para 9,17 segundos (com controlador PID). O método Ziegler e Nichols é muito utilizado nas indústrias por ser bastante prático, baseando-se em testes empíricos, necessitando apenas de um engenheiro especialista em controle de processo para desenvolver o projeto.

## VI. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e a Universidade Federal do Pará (UFPA).

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] Bayer, Fernando Mariano; ARAÚJO, Olinto César Bassi de. Controle Automático de Processos. **Escola técnica aberta do Brasil – e tec Brasil**, Rio grande do Sul, p21, 2011.
- [2] Shirahige, Alessandro Barbosa. **Metodologia para Aferição da Ação de Controle Proporcional Integral Derivativa Implementada em Controladores Industriais**. São Paulo: USP, 2007. Dissertação (Mestrado em engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- [3] J. Franco M. Amaral, M. A. C. Pacheco, R. Tanscheit, Sintonia de Controladores PID utilizando Algoritmos Genéticos. **Rica**, Rio de Janeiro, n.08, p. 107-119, Jun/Jul, 2010.
- [4] Pinheiro, José Antônio. **Desenvolvimento de um Controlador PID para Aplicação em uma Mesa Angular Rotativa**. São Paulo: USP, 2009. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.
- [5] Pinto, Jan Erik Mont Gomery. **Aplicação Prática do Método de Sintonia de Controladores PID Utilizando o Método do Relé com Histerese**. Rio Grande do Norte: UFRN, 2014. Dissertação (Mestrado em ciências). Centro de Tecnologia – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, 2014.

[6] Fermino, Fernando. **Estudo Comparativo de Métodos de Sintonia de Controladores PID**. São Paulo: USP, 2014. Trabalho

de conclusão de curso em Engenharia Elétrica. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

[7] Magri, Renan. **Desenvolvimento de um Protótipo para Realização de Ensaio de Inflamabilidade em Óculos de Sol**. São Paulo: USP, 2015. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

[8] Montgomery, Eduard. **Sintonia de Controlador PID**. Juazeiro-Bahia: UNIVASF, 2010. Laboratório de Controle I. Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2010.

[9] Mathworks Inc. Student Edition of MATLAB Version 2015 for Windows 8.

[10] Ogata, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**; 4ª Ed.. São Paulo: Editora Rita de Cássia Sam, 2007.

[11] Godoy, Rodrigo Juliani Correa de. **Sintonia Ótima de Controladores**. São Paulo: USP, 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.