

Dinâmica de Controle de um Sistema Utilizando o Simulink

Douglas Baldissera (UTFPR - Câmpus Medianeira) dboris_92@hotmail.com
Felipe Gozzi da Cruz (UTFPR - Câmpus Medianeira) felipe-gozzi@hotmail.com
Hugo Andrés Ruiz Flórez (UTFPR - Câmpus Medianeira) hugoflorez@utfpr.edu.br
Leandro Antônio Pasa (UTFPR - Câmpus Medianeira) pasa@utfpr.com.br

Resumo:

O modelo de controle PID (Proporcional, Integral, Derivativo) é um dos controladores mais utilizados no setor industrial e tem sido aplicado ao redor do globo, em diversos sistemas dentro do ambiente fabril. A sua crescente popularidade tanto em uso, quanto em pesquisas se deve principalmente ao seu desempenho em uma ampla quantidade de condições de funcionamento e também à sua fácil utilização junto com sua simplicidade funcional, que permite a engenheiros e técnicos operá-lo de forma direta e concisa. O objetivo deste trabalho é implementar utilizando o Simulink, extensão do MatLab, um controle PID em um sistema conhecido da literatura e estudar respostas perante a ocorrência de distúrbios e ruídos muito comuns nas indústrias, verificando a funcionalidade e aplicabilidade deste controle.

Palavras chave: PID; Pêndulo; Distúrbio; Ruído.

Control Dynamics of a System Using Simulink

Abstract

The PID control model (Proportional, Integral, Derivative) is one of the most used controllers in the industrial sector and has been applied around the globe in several systems within the manufacturing environment. Its increasing popularity in both use and research, is mainly due to its performance in a wide range of operating conditions and also to its easy use along with its functional simplicity, which allows engineers and technicians to operate it directly and concise. The objective of this work is to implement using Simulink, extension of MatLab, a PID control in a system known in the literature and to study responses to the occurrence of disturbances and noise, very common in industries, verifying the functionality and applicability of this control.

Key-words: PID; Pendulum; Disturb; Noise.

1. Introdução

O controlador PID tem como finalidade a leitura de um sensor e o cálculo para a resposta da saída do atuador, determinando assim cada termo do controlador desde sua parte proporcional até sua parte derivativa, sendo a junção de cada parte do controlador responsável por determinar a saída da planta (NI, 2018).

A ação proporcional é controlada através de um ganho K, quanto maior este ganho, menor será o erro em regime permanente, entretanto, o tempo de acomodação aumenta, sendo que em alguns casos este aumento pode desestabilizar o sistema. O fato de não acrescentar polos nem

zeros ao sistema, faz com que o controlador proporcional tenha apenas um ajuste no seu ganho inicial (UFRN, 2018).

A ação integral tem como objetivo eliminar o erro em regime permanente, para um sistema cuja a função transferência não possua um integrador desde que a entrada seja um degrau. Embora o erro estacionário consiga ser eliminado, a ação do controle integral pode levar a uma resposta oscilatória com uma amplitude que decresce lentamente ou até mesmo levar o sistema a instabilidade, ambas as situações indesejáveis ao sistema (Ogata, 2003).

Através da ação do controlador derivativo, quando acrescentada a um controlador proporcional, faz com que o controlador tenha uma sensibilidade maior. Uma vantagem de se utilizar o controle derivativo é fato dele responder a uma taxa de variação do erro atuante e poder produzir uma correção significativa antes que o valor do erro se torne elevado. Entretanto o fato do controle derivativo atuar sobre a taxa de variação do erro atuante e não sobre o próprio erro atuante, faz com que este controle não seja utilizado sozinho, sendo sempre utilizado de forma combinada, com uma ação de controle proporcional ou proporcional-integral (Ogata, 2003).

Existem diferentes métodos de ajuste iniciais que após vários testes é possível otimiza-los, um deles é o método de Ziegler Nichols. Há dois métodos de Ziegler Nichols, nesse trabalho será utilizado o segundo, onde é definido $Ti = \infty$ e $Td = 0$. Utilizando somente a ação de controle proporcional, aumentamos Kp de 1 ao valor crítico Kcr , no qual a saída exibe uma oscilação sustentada pela primeira vez, então o ganho crítico e o correspondente período Pcr são determinados experimentalmente. Ziegler e Nichols sugeriram escolher os valores dos parâmetros Kp , Ti e Td de acordo com a fórmula mostrada na tabela 1.

Tipo de Controlador	Kp	Ti	Td
P	0.5 Kcr	∞	0
PI	0.45 Kcr	0.833 Pcr	0
PID	0.6 Kcr	0.5 Pcr	0.125 Pcr

Fonte: Adaptado de Ogata (2010)

Tabela 1 – Ajuste por Ziegler-Nichols

O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de implementar no software Matlab, utilizando o Simulink, a dinâmica de controle de um sistema de pêndulo invertido como deduzido no livro Engenharia de Controle Moderno (Ogata, 5ª ed. Pg 60-62).

Para obter a função de transferência foram desconsiderados o atrito e as condições iniciais e pela configuração do sistema o momento de inércia (I) também pode ser considerado nulo, esta função de transferência pode ser visualizada na Equação 1.

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{ml}{[(l + ml^2)(M + m) - m^2l^2] - mgl(M + m)}$$

Equação 1 - Função de Transferência Pêndulo Invertido

Para análise de resultados foi considerado $l = 0.4m$, $m = 0.3kg$, $M = 1kg$ e $g = 9.8m/s^2$. Assim obtêm-se a Equação 2 substituindo os valores citados na função:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{0.12}{0.048s^2 - 4.8012}$$

Equação 2 - Função de Transferência Utilizada

Comparando o sistema sem/com distúrbio (função impulso), sem/com ruído (ruído), utilizando o controlador PID com base na sintonia de Ziegler-Nichols como ponto de partida e refinando o resultado com a variação de parâmetros.

2. Metodologia

O sistema do pêndulo é um sistema instável, pois apresenta duas raízes reais radialmente opostas, tornando assim necessário uma ação de controle para o sistema alcançar a estabilidade.

Para realizar o controle foi utilizado exclusivamente o controle PID com base na sintonia de Ziegler-Nichols, sendo o caso de estudo dividido em quatro situações. A primeira relacionada ao ajuste da função de transferência utilizando o sistema PID, sem nenhuma interferência externa, ou seja, a presença de distúrbio ou ruído. A segunda simulando a ocorrência de ruídos, que em um sistema real seriam representadas por interferências com outros equipamentos próximos ao sistema de controle. A terceira situação com a presença de distúrbios que também podem ser causados por equipamentos externos ou internos ao processo de controle. E a última situação contendo ambos os tipos de interferência.

Para a simulação de todos os casos foi utilizado a ambiente Simulink, extensão do MatLab, que permite obter gráficos da resposta de sistemas reais com precisão satisfatória, mediante construção de diagrama adequado.

Assim para o estudo da primeira situação foi utilizado o esquemático presente na Figura 1.

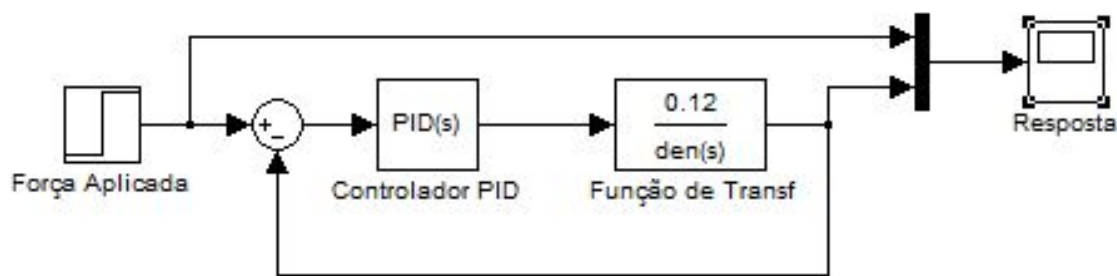


Figura 1 – Sistema de malha fechada com controle PID

Nesta figura está presente uma entrada relacionada a força aplicada para a movimentação da base do pendulo, a função de transferência referente ao processo, o controle PID e a ferramenta scope para a visualização da resposta obtida, permitindo a análise dos resultados.

Para a simulação da segunda situação foi utilizado a configuração presente na Figura 2, onde o ruído é adicionado a realimentação do sistema por meio de uma função que gera pulsos de amplitude aleatória dentro de uma faixa previamente escolhida, sendo multiplicado por uma entrada degrau permitindo um controle quando este efeito será adicionado ao processo.

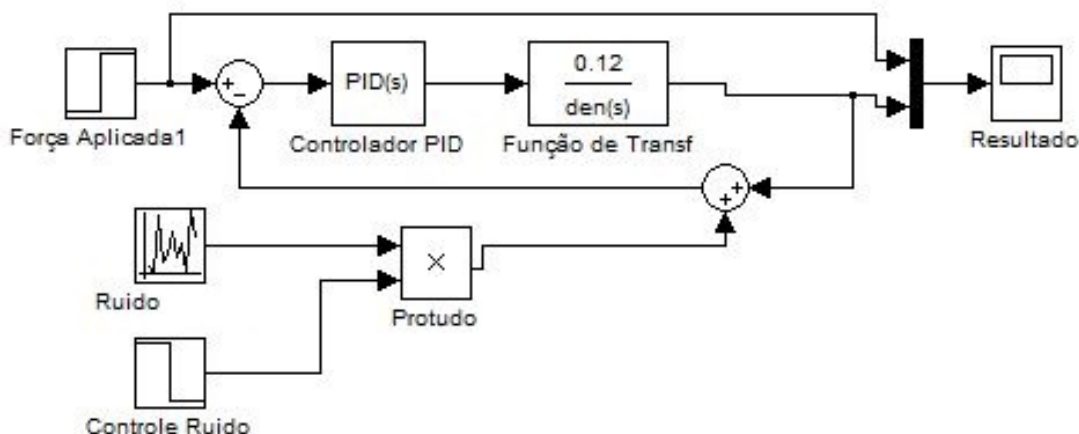


Figura 2 – Sistema de malha fechada com controle PID e presença de ruído

A terceira situação também foi adaptada para alcançar o efeito do distúrbio, sendo esta configuração presente na Figura 3, a única diferença em relação a situação anterior é a localização do distúrbio no ramo principal, sendo somado junto a resposta do sistema, onde o mesmo é representado por duas funções degrau para poder-se determinar seu tempo de início e termino.

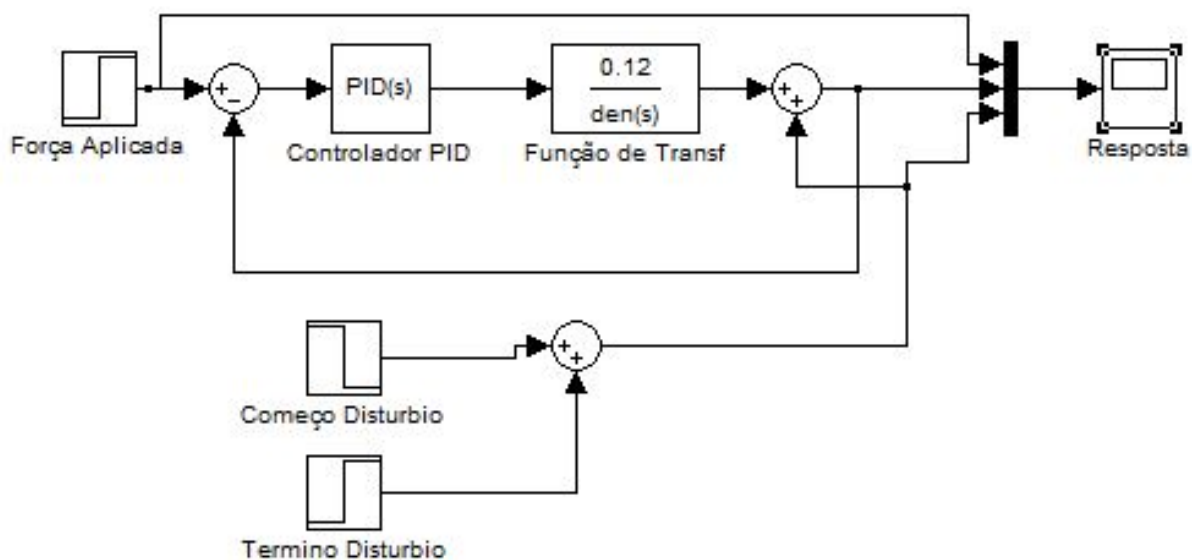


Figura 3 – Sistema de malha fechada com controle PID e presença de distúrbio

Para a última situação as configurações aplicadas anteriormente foram mescladas, sendo o a configuração final visualizada na Figura 4, assim esta configuração se obtém a resposta do sistema com a ação do controle PID na presença de ruído e distúrbio.

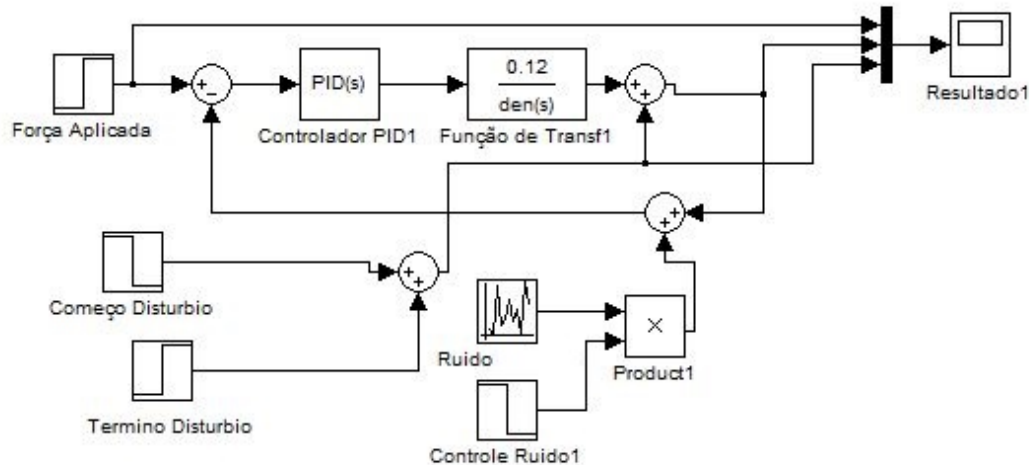


Figura 4 – Sistema de malha fechada com controle PID, ruído e distúrbio

3. Resultados e Discussões

Inicialmente foi considerado o sistema sem distúrbio e ruído, utilizando o controlador PID com base na sintonia de Ziegler-Nichols, considerando a resolução de seu segundo método foi obtido com a adição de um controlador proporcional o valor de $K_{cr} > 41.01$ para obtenção de uma resposta oscilatória. Para critério de testes simulou-se K_{cr} sendo 100 e 500. Sendo assim, para $K_{cr} = 100$, tem-se para os parâmetros do controlador $K_p = 60$, $T_i = 0.255$ e $T_d = 0.06375$. Como pode-se analisar na Figuras 5, os parâmetros utilizados não foram satisfatórios pois o erro e o máximo sobressinal variaram até 600%.

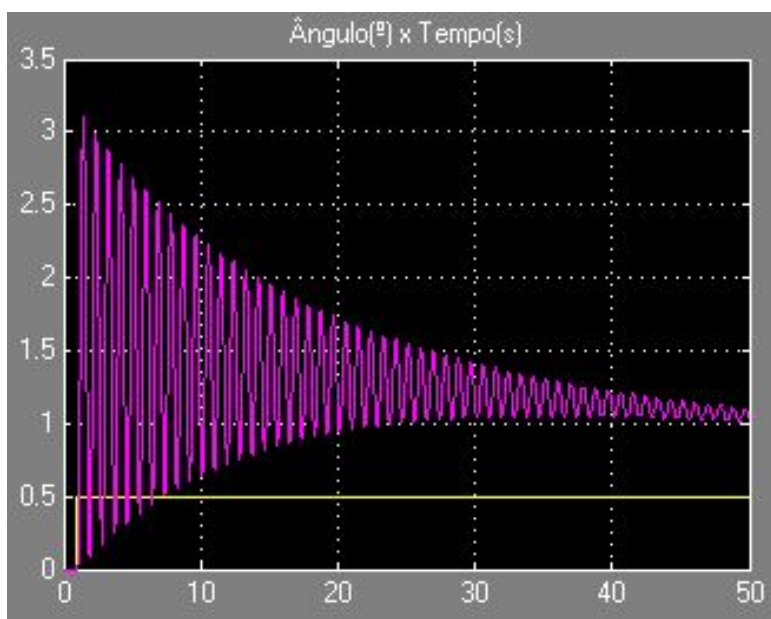


Figura 5 – Curva de resposta para $K_{cr} = 100$

Já para $K_{cr} = 500$ tem-se, $K_p = 300$, $T_i = 0.0925$ e $T_d = 0.02312$. Mesmo com estes parâmetros o erro continua variando fora dos limites aceitáveis, atingindo valores de até 100% (ver Figura 6).

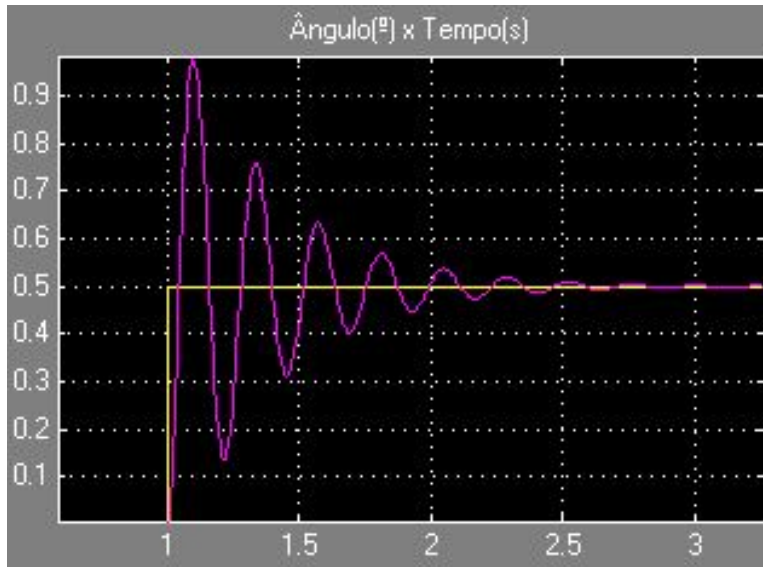


Figura 6 – Curva de resposta para $K_{cr} = 500$

Buscando melhorar a curva resposta, de forma iterativa, chega-se aos valores de $K_p = 3000$, $K_i = 6000$ e $K_d = 200$. Na figura 7 é possível observar que o erro e o máximo sobressinal assumiram valores satisfatórios, sendo este ajuste suficiente para garantir um funcionamento do sistema de controle, sem que este vá a instabilidade.

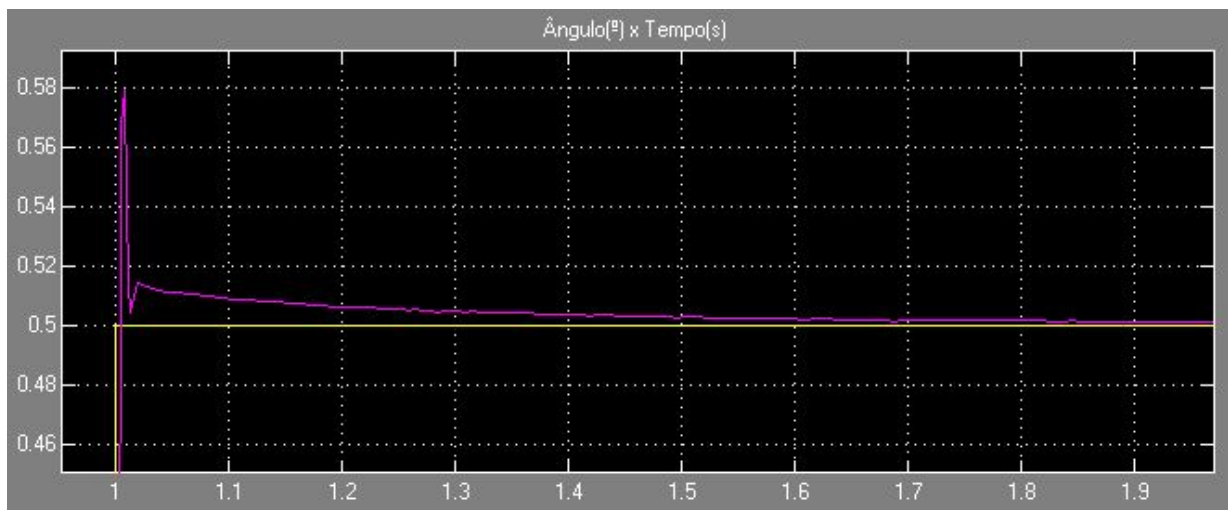


Figura 7 – Curva de resposta para de $K_p = 3000$, $K_i = 6000$ e $K_d = 200$

Para a análise da segunda situação, com a presença do ruído, foi adicionado um sinal aleatório com amplitude de aproximadamente 10% da entrada no período de 1 a 2.5 segundos. A curva da resposta é verificada na Figura 8.

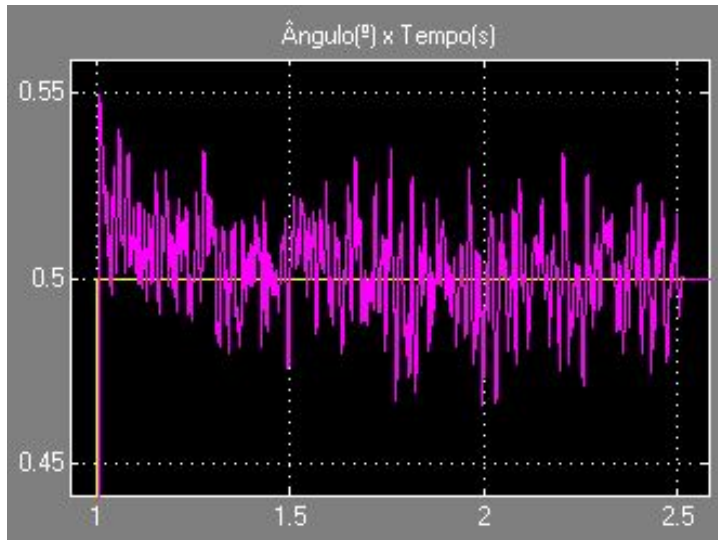


Figura 8 – Curva de resposta com ruído

Ocorreram muitas oscilações desde o começo até o término do ruído, mostrando que o controle projetado anteriormente não foi o suficiente para estabilizar o sistema sobre efeito de ruído. É fácil ver que após o término do mesmo, a curva se ajusta rapidamente ao valor de regime permanente.

Se o ruído for aumentado, as oscilações aumentam, na teoria o sistema consegue voltar a se estabilizar após o término de qualquer ruído, porém se o ângulo for muito grande o sistema perde suas características e chega à instabilidade. O efeito de aumentar o ruído pode ser observado na Figura 9, nota-se que o sistema se estabilizou ao final do evento, mas devido à grande amplitude numa situação real ele não atingiria este estado.

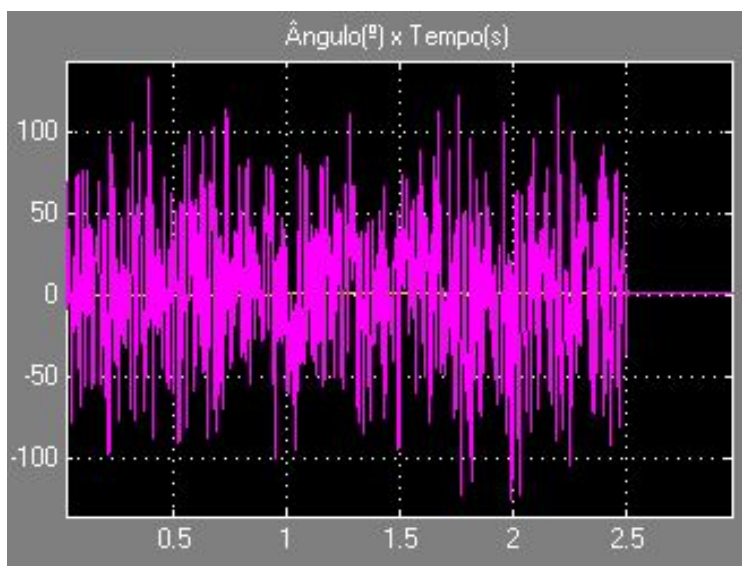


Figura 9 – Resposta a um Ruído elevado

Para a terceira análise, com a presença de distúrbio foi acrescentando um degrau com amplitude de 10% da entrada no período de 2 a 2,5 segundos. A curva resposta é exposta na Figura 10.

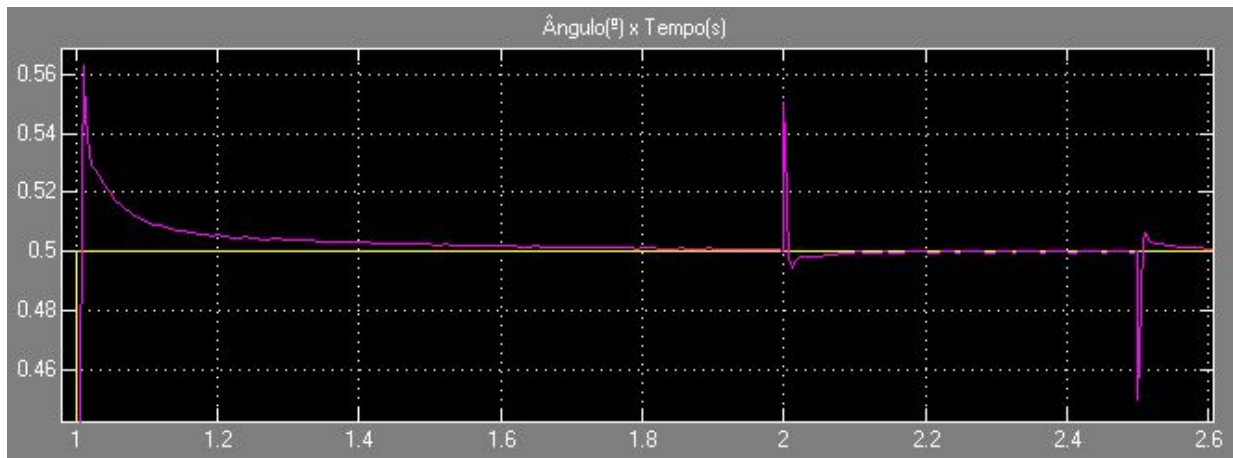


Figura 10 – Curva de resposta com distúrbio

A curva de resposta conseguiu se adaptar rapidamente ao distúrbio, porém ocorreram grandes oscilações no começo e no término do mesmo, podendo assim causar erros no sistema.

Para a última análise é considerado o sistema com distúrbio e ruído utilizado anteriormente, no mesmo controlador PID. O diagrama de blocos foi apresentado na Figura 4 e a curva da resposta na Figura 11.

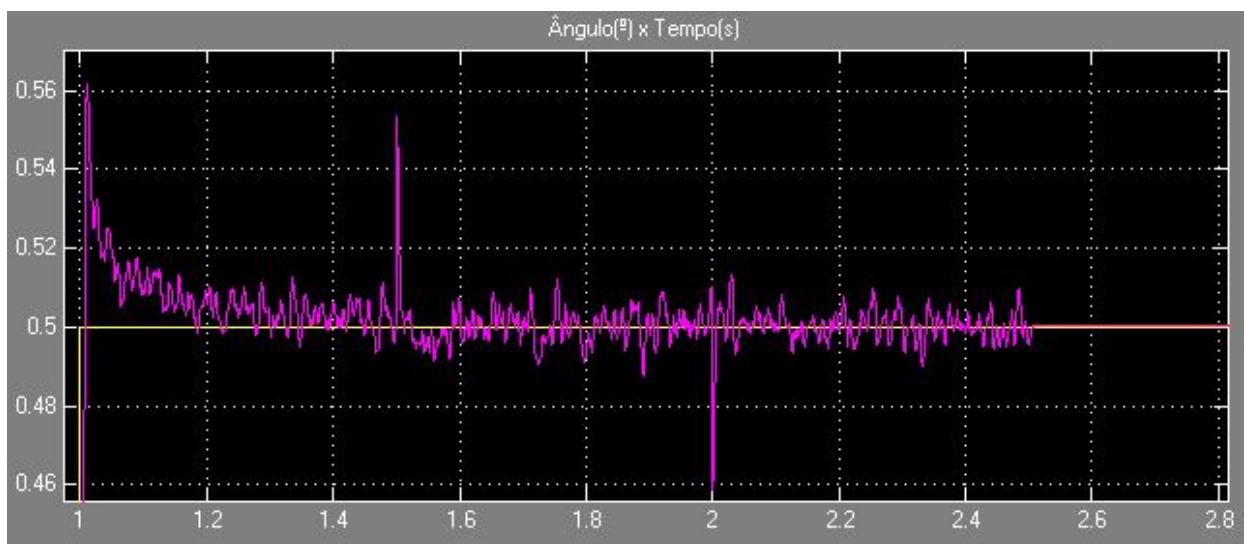


Figura 11 – Curva de resposta com ruído e distúrbio

As oscilações referentes a cada função continuam as mesmas, mas estando no mesmo gráfico pode-se observar que apesar do distúrbio provocar um menor número de interferências, sua amplitude é mais significativa, devido ao seu ponto de atuação e natureza física.

4. Conclusões

O objetivo do trabalho foi alcançado pois foi possível comparar o sistema com e sem distúrbio

e ruído utilizando o controlador PID, com valores dos parâmetros escolhidos com base na sintonia de Ziegler-Nichols e posteriores ajustes. Nos gráficos consegue-se identificar e analisar cada entrada, bem como seu efeito na função de transferência. A importância da escolha dos parâmetros adequados é clara ao observar-se a melhora no sinal de resposta.

Referências

OGATA, K. *Engenharia de Controle Modero*. 5ª ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2010.

OGATA, K. *Engenharia de Controle Modero*. 4ª ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2003.

NATIONAL INSTRUMENTS. *Explicando a teoria PID*. Disponível em: < <http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/>>. Acesso em: 25 dezembro 2016.

RIBEIRO, R. *Implementação de um Sistema de Controle de um Pêndulo Invertido*. Itajubá, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá.

VENDRAMINI, G. *Controle de um pêndulo invertido sobre uma plataforma móvel utilizando pid e mfac (model-free adaptive control)*. DINCON. 9th Brazilian Conference on Dynamics, Control and their Applications. Junho 2010.