



## PLATAFORMA DIDÁTICA PARA DESENVOLVIMENTO E ESTUDOS DE CONTROLE

**Igor de Azevedo Montalvão** – igormontalvao92@gmail.com

**Mateus Antunes da Silva** – mateussossego09@gmail.com

**André L. Silva Barbosa** – andreluissb@gmail.com

Faculdade Maurício de Nassau

Antônio de Carvalho Souza – 295, Estação Velha.

58100-970 – Campina Grande – PB

**Resumo:** É descrito nesse trabalho a modelagem de um sistema de controle através de uma plataforma. O sistema equilibra uma bola sobre uma viga, de maneira que um software é capaz de determinar a posição específica onde a bola deve se posicionar, o denominado Setpoint. O objetivo é que o projeto forneça subsídios suficientes para a implementação de técnicas de controle baseadas no processo. O processo de balanceamento e aceleração da bola é obtido por meio de um controle PID, onde o controlador estabelece uma relação entre a posição da bola medida por um sensor ultrassônico HC-SR04 e a angulação de um servo motor 9G SG90 operante em CC. Pontos OPC são enviados a um servidor e um Arduino Uno é o responsável pelo tratamento desses pontos, garantindo a melhor resposta ao sistema através da manipulação de variáveis do processo que por meio de um software, responsável pelo supervisionamento, garante a resposta desejada, mesmo em períodos críticos, ou seja, estabelecendo a resposta mesmo quando exposto a distúrbios externos.

**Palavras-chave:** Controladores, Controle PID, Sistemas de controle, Ball and Beam.

### 1 INTRODUÇÃO

No mundo atual, o investimento em inovação tecnológica por parte das grandes empresas é constante. As tecnologias têm crescido de maneira exponencial em todos os setores, dentre eles destacam-se as áreas de robótica, sistemas embarcados, automação e controle industrial. As funções dos diversos dispositivos que compõem uma rede industrial são dependentes do protocolo de comunicação utilizado e dos mecanismos de controle a eles implementados, onde esses mecanismos são os responsáveis pela garantia do funcionamento desejado das máquinas industriais. Nesse contexto, destaca-se a importância dos estudos de controle, permitindo a adaptação dos sistemas a funções específicas.

No meio industrial, a utilização de uma metodologia adequada para sintonia dos controladores dos processos resulta na resolução de problemas como, variações na dinâmica dos processos, dificuldades de controle (não-linearidades, interações, perturbações e ruídos), dimensionamentos inadequados dos elementos da malha de controle, dentre outros citados em (FACCIN, 2004).

A comunicação com os diversos tipos de dispositivos industriais se tornou uma necessidade para indústria. Há alguns anos, a maioria dos drives e protocolos de comunicação eram desenvolvidos pelos fabricantes sem existir uma unificação de comunicação, fazendo-se



necessário o desenvolvimento de um padrão. O OPC (*Object Linking and Embedding for Process Control*) (OPC Foundation, 2017), foi criado a fim de solucionar tal paradigma. Utilizando a tecnologia de comunicação entre processos COM/DCOM criados pela Microsoft, o OPC é um padrão industrial para intercomunicação entre sistemas baseado na arquitetura de cliente/servidor (LEITÃO, 2006).

A partir da necessidade da otimização de processos, os microcontroladores vêm se tornando cada vez mais presentes em diversas áreas, como: automação industrial, residencial e na computação (OLIVEIRA, 2012). As indústrias buscam pela inovação e adequação à vida moderna, tornando-se necessário novas soluções. Com o desenvolvimento de microcontroladores, torna-se possível a implementação de protótipos e testes com hardware, com um baixo custo, uma alta flexibilidade devido seus hardwares de dimensões reduzidas e com uma manipulação de tarefas complexas de forma relativamente simples, como acionamento de circuitos de forma remota.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 os objetivos do trabalho e as tecnologias utilizadas são listadas; na seção 3, é apresentado um resumo do protocolo de comunicação OPC; na seção 4, é tratado o controlador PID; a seção 5 é voltada aos aspectos estruturais, desenvolvimento de software e comunicação; a seção 6 destina-se à análise dos resultados na implementação do controle utilizando a plataforma desenvolvida; as considerações finais e propostas de trabalhos futuros são apresentadas na seção 7.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho é o desenvolvimento de uma planta didática que possibilite os estudos de controle de acordo com o âmbito industrial atual, utilizando-se de uma estrutura montada voltada a implementação de diferentes mecanismos em uma mesma plataforma. A plataforma possibilita a modelagem do processo de controle da posição de uma bola sobre uma canaleta e através do tratamento das variáveis de estado é estabelecido à implementação desse sistema de forma que a bola se posicione em uma posição previamente descrita, o *Setpoint*, determinado a partir de um software.

A plataforma Arduino é a responsável pela recepção e tratamento dos valores das variáveis monitoradas, que são enviados pelo sensor. Através da manipulação das grandezas monitoradas o microcontrolador estabelece relações entre valores que possibilitam o controle do sistema e esses valores por sua vez são enviados a um servidor e são coletados em forma de pontos OPC pelo software possibilitando à leitura e modelação dos pontos OPC, garantindo a coleta de dados em diferentes máquinas que atuem com esse mesmo software.

## 3 O PROTOCOLO OPC

O OPC é um padrão universalmente aceito para troca de informação numa rede de automação industrial. A vantagem desta abordagem é a redução do trabalho de especificação para diferentes necessidades, sem o requisito de definir protocolos de rede ou mecanismos de comunicação entre os processos.

Com a necessidade da interação entre os diversos sistemas operacionais, o OPC UA (*OPC Unified Architecture*) tem ocupado um espaço relevante no meio industrial. Este padrão traz como principal aspecto a ideia de orientação a objeto, por meio de um espaço de endereçamentos onde todos os dispositivos e variáveis do sistema que compõe a rede industrial são tratados como objetos. Porém, apesar do OPC UA ser o que há de mais novo nos aspectos relacionados a este protocolo de comunicação, no presente trabalho, o OPC

Organização



Promoção





clássico foi utilizado como alternativa para comunicação entre os dispositivos que compõem o sistema, devido à sua simplicidade de implementação e documentação disponível. Os mais diversos computadores com um software cliente OPC podem se comunicar ao servidor, permitindo o monitoramento da plataforma desenvolvida independentemente software instalado.

O OPC possui diferentes tecnologias difundidas, dentre elas, o OPC-DA (*Data Access*) que pode ser classificado basicamente em duas hierarquias, “clientes” OPC e “servidores” OPC. Os clientes OPC são aplicações (softwares) que se conectam com diferentes servidores, efetuando a leitura das informações de entrada e escrita nos itens de saída, quando necessário. (BARROSO & QUINTINO, 2013). Os servidores são softwares disponibilizados pelos fabricantes da planta em uso, que por sua vez fornecem o servidor OPC, que converte os dados dos equipamentos da planta para o padrão OPC, através de sua rede de comunicação.

Os componentes OPC se classificam em duas categorias: Clientes OPC e Servidores OPC. Um Cliente OPC é tipicamente um usuário dos dados tais como uma Interface de Operação ou um Sistema supervisorio (SCADA). Um Servidor OPC é uma fonte de dados que coleta ou gera dados a partir de um processo, disponibilizando-os aos Clientes OPC. O Cliente OPC interage com o Servidor OPC usando uma interface bem definida. Qualquer Cliente OPC pode se comunicar com qualquer Servidor OPC, independentemente do tipo de dispositivo e do fabricante. Essa comunicação é válida somente para OPC-DA (*Data Access*), uma vez que existem diferentes tecnologias OPC (CARVALHO *et al.*, 2008).

Através da arquitetura OPC é possível a leitura e modelagem dos pontos OPC, que por sua vez correspondem a informações do sistema, sejam elas de distância, angulação, variáveis, etc. Para esse acesso se faz necessário o uso de um cliente OPC, responsável pela seleção das variáveis de interesse (*OPC Items*) e criação de uma conexão com o servidor (*OPC Server*).

#### 4 O CONTROLADOR PID

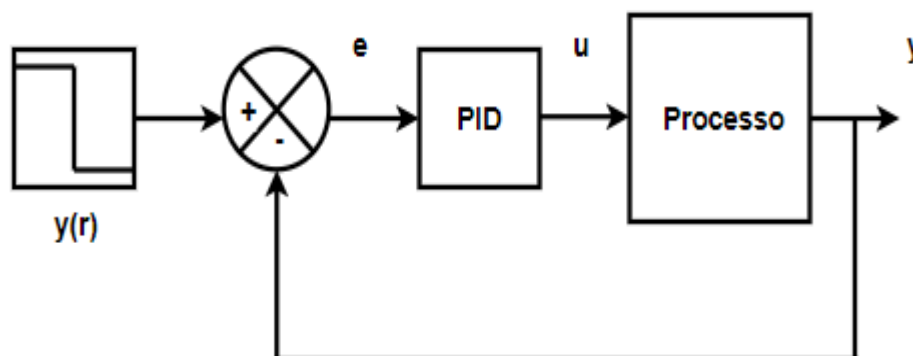
Nos últimos anos a disputa por novos mercados criou a necessidade de modernização das plantas industriais. Para aumentar a sua competitividade, as indústrias têm buscado melhorar a qualidade e diminuir os custos dos produtos fabricados. Dessa maneira, técnicas mais modernas de controle, que utilizam sistemas computacionais, têm sido aplicadas em diversas plantas industriais (ABREU, 1992).

A maioria dos sistemas industriais usa o controlador PID. O seu princípio de operação é simples de entender e também é fácil de implementar em softwares de plataformas industriais em tempo real, pois sua implementação requer pouca potência e complexidade computacional (BARBOSA *et al.*, 2014). O controle completo envolve um compromisso entre os três parâmetros a serem sincronizados ( $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ ) que são variados de forma a obter a resposta ideal ao sistema.

A ideia básica de aplicação do controle PID é gerar um sinal que seja capaz de calcular a diferença entre um sinal de referência, o *Setpoint* ( $y(r)$ ) e um sinal de saída do processo ( $y$ ) que representa a posição atual da bola, ou seja, a partir da leitura de um sensor, calcular sua resposta de saída no atuador e através do cálculo proporcional, integrativo e derivativo, determinar o valor de saída do sistema de forma contínua até que o valor de erro ( $e$ ) entre o valor medido e o valor desejado seja zero, conforme pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1 – Circuito de malha fechada com realimentação.



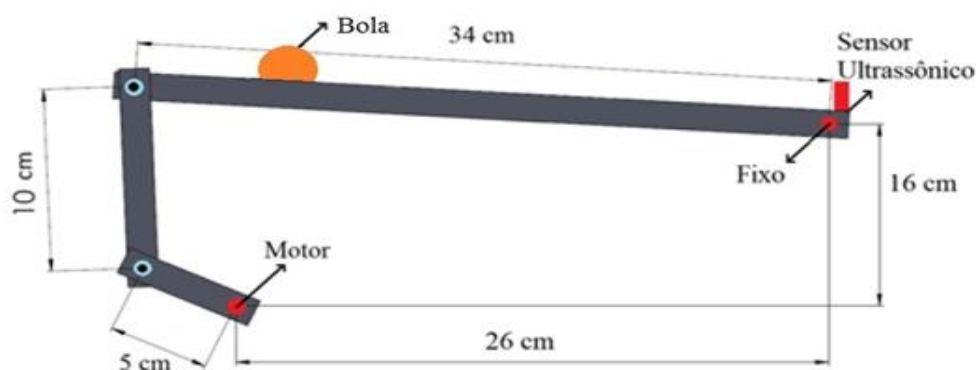
As variáveis de controle ( $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ ) são variáveis OPC, sendo elas manipuladas através do cliente OPC, podendo haver a alteração de seus valores, de modo que o controle almejado seja determinado. As variações nas variáveis de controle, é determinada forma a obter o controle com a resposta ideal.

## 5 ARQUITETURA DO SISTEMA

### 5.1 Modelo estrutural da plataforma

A plataforma é composta por um sensor ultrassônico HC-SR04, responsável pela medição dos valores de distância de uma bola que, quando combinado com o servo motor 9G SG90 acoplado ao eixo de movimento da canaleta possibilita a movimentação da estrutura a partir de sua angulação, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Modelo Estrutural da Plataforma.



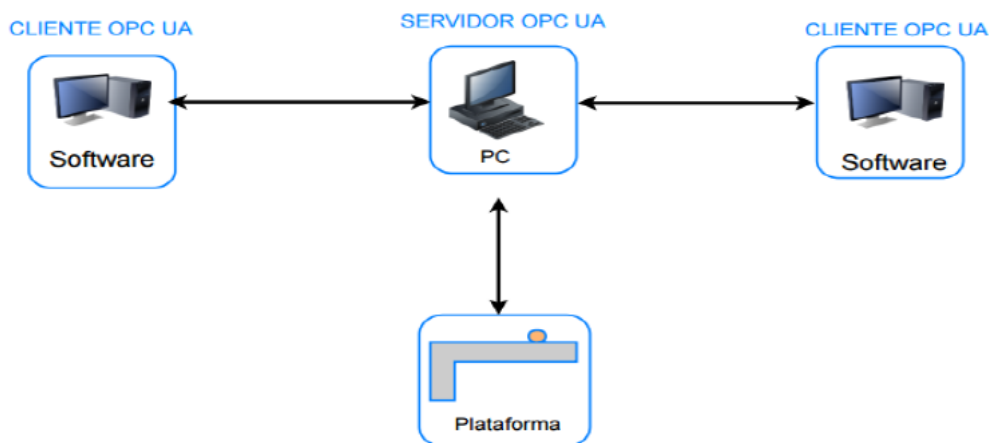
### 5.2 Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de computação física que a partir de uma linguagem de programação básica possibilita o desenvolvimento de objetos interativos independentes, através de dispositivos de entrada como sensores de temperatura, luz, som, distância etc., e dispositivos de saída como, motores, auto-falantes, displays, LEDs etc., possibilitando de tal forma, uma diversificação de implementações de circuitos e projetos.



Na plataforma o microcontrolador Arduino UNO é o responsável pelo tratamento do controlador PID implementado. Os valores monitorados são medidos a partir de um sensor, o qual envia os valores recebidos para o microcontrolador e para o software, que funciona como o cliente OPC, possibilitando assim, a recepção dos mesmos valores em diferentes dispositivos, como apresentado na Figura 3. Através do tratamento das variáveis de estado o microcontrolador executa as ações proporcionais, integrativas e derivativas para a obtenção do controle especificado, garantindo que o sinal de erro entre a diferença da posição da bola medida e a posição desejada seja zero.

Figura 3 – Arquitetura do Sistema.



### 5.3 Software

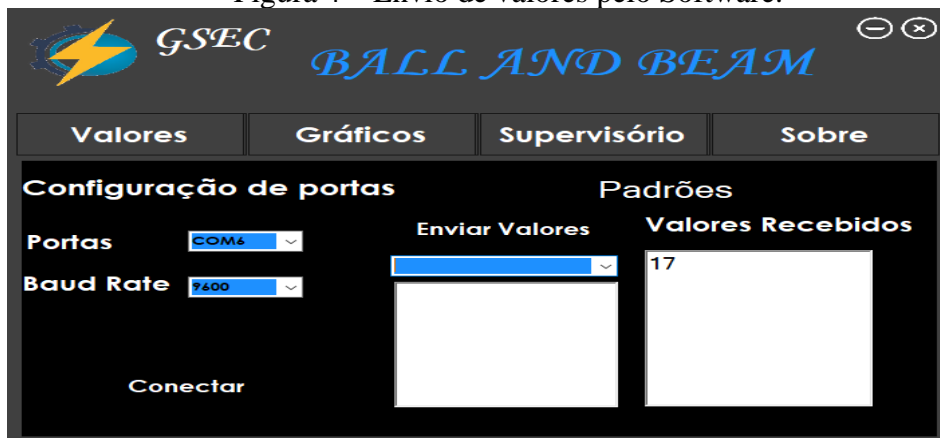
O microcontrolador Arduino estabelece relações de comunicação com um software que atua como o cliente OPC. O software foi desenvolvido na linguagem de programação C Sharp (C#) utilizando da ferramenta de desenvolvimento Microsoft Visual Studio IDE, e tem como objetivo a facilitação do tratamento de valores das variáveis do processo. O Arduino é conectado de modo serial e escreve os valores da distância medida nas variáveis OPC. O software por sua vez deverá ler e/ou escrever nos pontos OPC, possibilitando o supervisionamento e envio de novos valores de *Setpoint*, de forma simples e segura como visto na Figura 4.

O software possibilita a geração de gráficos em tempo real, contribuindo com o sincronismo do controlador, onde a partir da relação entre os valores medidos e o valor desejado é determinado o sinal de erro do atuador, que por sua vez reflete a ação proporcional do controlador PID.





Figura 4 – Envio de valores pelo Software.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a implementação do controlador PID diversas técnicas podem ser utilizadas, sejam métodos baseados em modelos do processo operando em malha aberta, malha fechada ou a partir dos métodos no domínio da frequência. Para fins de validação da plataforma procurou-se aplicar uma metodologia bastante difundida na literatura, o método da curva de reação, denominado método de Ziegler-Nichols (ZIEGLER & NICHOLS, 1942), por partir da análise de um ponto da resposta em frequência do processo, o ponto crítico. A partir das especificações iniciais do método voltadas para sistemas de malha fechada, é possível o cálculo dos ganhos do controle,  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  que resultam na resposta satisfatória ao sistema pré-especificado.

O sistema sintonizado estabelece o controle desejado de forma precisa e segura com o auxílio do gráfico gerado pelo software em tempo real a resposta. Inicialmente é determinado o ganho crítico do sistema ( $K_{cr}$ ), considerando-se apenas o ganho proporcional do sistema, ou seja, tornando o tempo derivativo ( $T_d$ ) igual a zero e considerando o tempo integral ( $T_i$ ) igual a infinito. Partindo de especificações de sobressinal de no máximo 25%, é determinado de forma empírica os valores necessários para o sistema se tornar oscilatório em torno de um mesmo ponto, possibilitando assim a determinação da frequência de oscilação do sistema e o período crítico ( $P_{cr}$ ). Que a partir da tabela de sintonização do método, Tabela 1, os valores das variáveis de controle  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  são determinados.

Tabela 1 – Método de Sintonia de Ziegler-Nichols.

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_{CR}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{CR}$	$\frac{1}{1.2}P_{CR}$	0
PID	$0.6K_{CR}$	$0.5P_{CR}$	$0.125P_{CR}$



O valor de distância desejado, o *Setpoint* foi ajustado como 17 cm, correspondendo a distância média da canaleta, Figura 5, e as constantes do controlador foram ajustadas com base na Tabela 1, resultando nos valores de  $K_p = 2,5$ ,  $K_i = 0,2$ , e  $K_d = 1,1$ . Que por sua vez, resultou na seguinte resposta ao sistema, Figura 6.

Figura 5 – Bola centralizada.

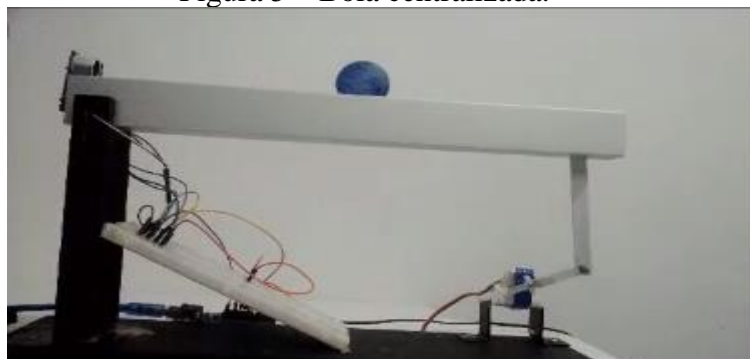
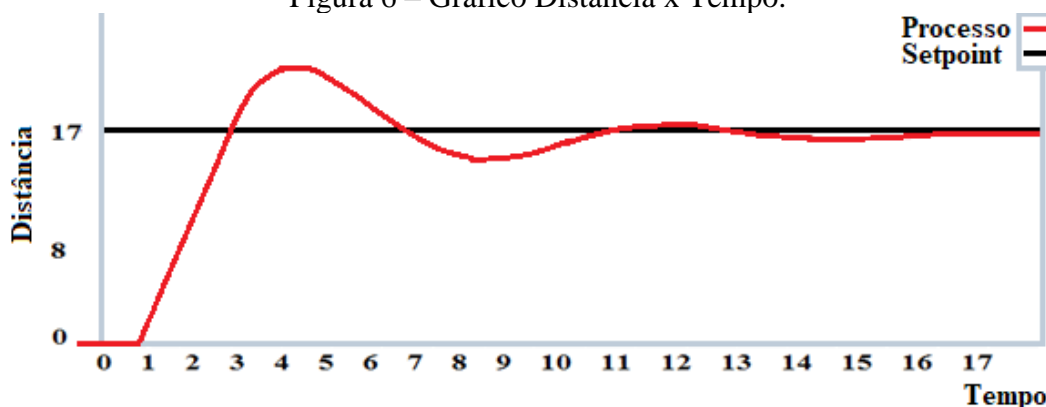


Figura 6 – Gráfico Distância x Tempo.



Os valores medidos podem ser observados pelo software a partir do gráfico, ou de forma mais simples, acessando a aba de supervisor, como visto na Figura 7.

Figura 7 – Supervisor do Software.





## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma plataforma simples para o desenvolvimento e estudos de controle foi desenvolvida neste trabalho. Destacando a importância do ensino descentralizado, que a partir da comunicação unificada pelo padrão OPC o mecanismo torna-se acessível a diferentes usuários, utilizando-se apenas de funções básicas de um software. O sistema permite a implementação em conjunto, onde diferentes usuários podem ter acesso as mesmas variáveis do processo em diferentes máquinas, a partir da comunicação OPC.

Através dos resultados obtidos com a plataforma desenvolvida é possível comprovar a eficácia do mecanismo de controle utilizado, e a validação do mesmo no sistema operante. O controlador implementado garante a resposta dos sistemas de forma exata e segura, que a depender do processo, a partir de ferramentas de auxílio provenientes do software, permitem o ajuste do sistema a diferentes especificações desejadas.

A implementação do sistema OPC sem depender de um software rodando nas máquinas dos usuários é um desafio para futuras propostas, podendo o mesmo ser implementado de forma WEB, onde a partir de máquinas conectadas a rede, não mais a um software estático, é possível essa mesma comunicação entre diferentes usuários com a plataforma de estudo, como visto em (CRUZ, 2017).

A plataforma pode também ser expandida ao controle de multivariáveis utilizando-se de controladores mais complexos, baseados na resposta em frequência ou em novas técnicas de controle. Dentre outras melhorias, sejam elas voltadas para plataforma como um todo, ao software modo WEB ou a implementação do OPC UA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. (1992). Implementação de um controlador PID auto-ajustável baseado em reconhecimento de formas e ondas.
- BARBOSA, A. L. S, BARROS, P. R., ACIOLI Junior, G. Identification and PI Controller Redesign in Symmetrical Optimum Based Design. Antibes – France. Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Control Applications (CCA) Part of 2014 IEEE Multi-conference on Systems and Control. 2014. p 421-426.
- BARROSO, D. S., QUINTINO, J. A., & Gomes, F. J. (2013). Protocolo OPC somado a sistemas de controles industriais desenvolvidos com java e SCILAB. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, 1*(1).
- CARVALHO, A. S., SILVA, R. C., & NASCIMENTO, D. B. (2008). Sistema de comunicação opc para uma coluna de destilação piloto. *SEGeT–Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*.
- CRUZ, E. B. D. (2017). Acesso remoto de um servidor OPC.
- FACCIN, F. (2004). Abordagem inovadora no projeto de controladores PID.
- LEITÃO, G. B. P. (2006). Arquitetura e implementação de um cliente opc para aquisição de dados na indústria do petróleo. *Monografia de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.
- OLIVEIRA, B. B. (2012, August). Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas. In *VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*.
- OPC Foundation – The Interoperability Standard for Industrial Automation™  
Disponível em < <https://opcfoundation.org/> > Acesso em: 04 de Junho de 2017.





ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. Optimum settings for automatic controllers. trans. ASME, v. 64, n. 11, 1942.

## **DIDACTIC PLATFORM FOR DEVELOPMENT AND CONTROL STUDIES**

**Abstract:** *A modulation of a control system through a platform is described in the work. The system balances a ball on a beam, in the way that a software is able to determine a specific position where a development sphere is positioned, called a Setpoint. The goal is that the project provides sufficient subsidies for an implementation of process-based control techniques. The PID, or the controller of a relationship between a ball position, as measured by an HC-SR04 ultrasonic sensor and an angulation of a DC 9G SG90 servo motor. The process of balancing and accelerating the ball is obtained by means of control. OPC points are sent to a server and an Arduino Uno is responsible for ordering, ensuring a better response to the system by manipulating process variables through a software, responsible for supervision, ensures the desired response even them Critical periods, That is, it presents an answer even when exposed to external disturbances.*

**Key-words:** *Controllers, PID Control, Control System, Ball and Beam.*

Organização



Promoção

