



ENGENHARIA ELÉTRICA

DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLE INTELIGENTE PARA TESTE HIDROSTÁTICO

Jean Rogeres Speli Barbosa¹
Fabiana Florian²
Cristiano Minotti³

Resumo: Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema autônomo de gerenciamento e controle de testes não destrutivos (teste hidrostático), confiável e eficiente. Foi utilizado a plataforma Arduino, sendo o hardware responsável por realizar o monitoramento de diversos sinais provenientes de sensores instalados na planta do projeto. O sistema de gerenciamento e controle pode ser acessado através da internet, na qual os usuários podem verificar as informações, além de poder customizar as configurações já existentes com uma senha de administrador. Os testes foram realizados em uma empresa do setor metalúrgico localizada no município de Araraquara –SP. Os testes demonstraram a estabilidade do sistema, constatando-o seguro para ser implementado na empresa, além de garantir o controle dos testes e a legitimidade dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Arduino Mega 2560, Automação de Testes, Teste Hidrostático, Vasos de Pressão.

¹ Graduando da Universidade Araraquara-UNIARA do Curso de Engenharia Elétrica. E-mail: jeanrogeres@hotmail.com

² Docente da UNIARA do Curso de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação. E-mail: fflorian@uniara.com.br

³ Docente da UNIARA do Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção e Engenharia da Computação. E-mail: cristiano_uniara@yahoo.com.br

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL FOR HYDROSTATIC TEST

Abstract: This work aims to develop an autonomous system of management and control of non-destructive tests (hydrostatic test), reliable and efficient. The Arduino platform was used, and the hardware is responsible for monitoring various signals from sensors installed in the project plan. The management and control system can be accessed through the internet, in which users can verify the information, as well as being able to customize the existing settings with an administrator password. The tests were carried out at a metallurgical company located in the municipality of Araraquara -SP. The tests demonstrated the stability of the system, making it safe to be implemented in the company, besides guaranteeing the control of the tests and the legitimacy of the obtained results.

Key-words: Arduino Mega 2560, Test Automation, Hydrostatic Testing, Pressure Vessel.

1 INTRODUÇÃO

Testes Hidrostáticos (TH's) são testes que medem a força ou a integridade estrutural de embalagens pressurizadas que contenham um líquido ou gás. Os recipientes que podem ser testados incluem cilindros de gás, tubos de um sistema de líquidos ou gases ou então vasos de pressão. O teste de estanqueidade assegura a inexistência de quaisquer fugas no recipiente e que é estruturalmente seguro realizar qualquer operação normal para tal equipamento.

Os testes foram realizados em uma empresa do setor metalúrgico no município de Araraquara-SP. Atualmente os testes são feitos de forma manual pelos operadores, que além de realizarem todas as etapas do teste são incumbidos de registrar os resultados em planilhas manuscrito, aumentando assim a possibilidade de erros.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de controle e gerenciamento automático aplicado a um processo de teste hidrostático que, a princípio, será realizado em um vaso de pressão de pequeno porte. Os instrumentos de medições (manômetro e transmissor de pressão) utilizados no projeto devem ser calibrados em um laboratório credenciado pela Rede Brasileira de Calibrações (RBC) visando total eficiência e legitimidade nos dados obtidos. Também buscou-se escolher transmissores de pressão e sensores de vazão de protocolos de comunicação compatíveis com o Arduino. Esta plataforma é utilizada por

apresentar amplos recursos de controle, ser mais intuitivo e por ser uma plataforma de hardware já modelada e configurável, dispensando em muitos casos conhecimentos mais profundos em eletrônica digital e arquitetura de micro controladores.

Os vasos de pressão onde o sistema atuará serão implementados em autoclaves, que são equipamentos que operam com pressões consideráveis, por isso é de total importância testes sejam completamente eficazes, evitando assim a aprovação de vasos com sinais de microfissuras ou trincas que posteriormente poderiam vir a causar grandes acidentes.

A programação da automatização do teste hidrostático foi desenvolvida em linguagem C++, que será transferida ao Arduíno que por fim coletará os dados do sistema e atuará, com base nesses dados sobre o sistema, realizando assim um controle seguro, eficaz e com possibilidades de erros menores com relação ao antigo sistema manual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Teste Hidrostático

Segundo Santos Filho (2004, p. 1), os vasos de pressão são equipamentos que armazenam fluidos pressurizados, com o objetivo de atender diversas finalidades na indústria de processamento contínuo, como por exemplo, a indústria química, petroquímica, de petróleo, ou ainda na área nuclear, na indústria de alimentos, na geração de energia, etc. Além das inúmeras aplicações, os vasos de pressão também apresentam diversos tamanhos e formas bastante variados em virtude da sua principal função, que é a de contenção de fluido pressurizado, sem que apresente vazamentos.

Os TH's são aplicados em vasos de pressão ou outros equipamentos industriais pressurizados como tanques ou tubulações, com o intuito de aferir se haverá ocorrência de vazamentos ou haverá ruptura. Santos Filho (2004, p. 1) salienta que os testes são realizados nos vasos fora de serviço, através de pressurização com água (teste hidrostático), ar comprimido (teste pneumático) ou outro fluido disponível, em pressões superiores as pressões convencionadas no projeto, que normalmente são na ordem de 1,5 vezes a pressão máxima de trabalho admissível. Assim, simula-se condições operacionais mais rigorosas, visando a garantia de que em serviço normal, com pressões mais baixas, não ocorrerão falhas ou vazamentos. De outra maneira, considera-se que

[...] são caracterizados como prova de carga que solicita os vasos de pressão em tensões superiores às tensões estabelecidas nas condições de projeto, sendo realizados através de aplicação de uma pressão hidrostática, geralmente utilizando a água como fluido de pressurização. Espera-se que com a sobrevivência do equipamento a esta pressão elevada, o mesmo esteja apto a desempenhar sua função operacional com segurança, sob condições menos severas (SANTOS FILHO, 2004 p. 7).

De acordo com o ASME (Sociedade Norte-Americana de Engenheiros Mecânicos), os Testes hidrostáticos são obrigatórios após conclusão da fabricação de vasos de pressão, e também em equipamentos que já estão em serviço, pela exigência da legislação em muitos países, como por exemplo a Norma Regulamentadora de nº13 (NR-13) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) do Brasil.

2.2 Microcontroladores

Devido apresentarem a melhor relação custo/benefício e serem pequenos, os microcontroladores estão presentes em quase tudo que envolve sistemas eletrônicos automatizados. Esses dispositivos possuem internamente todos os componentes necessários para seu funcionamento autônomo. De outra forma, pode se dizer que os

microcontroladores são computadores de propósito específico. Eles possuem tamanho reduzido, baixo custo e baixo consumo de energia. Devido a estes fatores há diversos seguimentos, que os utilizam, tais como a indústria automobilística, de telecomunicações, de brinquedos, de eletrodomésticos, de eletrônicos, bélica [...]. (SILVA, 2009, p.17).

Para seu funcionamento autônomo, os microcontroladores incorporam vários recursos em uma única pastilha, sendo eles: memória, portas de entrada e saída, temporizadores e contadores, processador entre outros, dispostos em um circuito integrado com pequenas dimensões. Segue citação sobre os componentes dos microcontroladores feita por Martins (2005, p. 16):

Tipicamente, um microcontrolador caracteriza-se por incorporar no mesmo encapsulamento um microprocessador (com a finalidade de interpretar as instruções de programa e processar dados), memória de programa (com a finalidade de armazenar de maneira permanente as instruções do programa), memória de dados (com a finalidade de memorizar os valores associados com as variáveis definidas no programa), uma série de pinos de entrada/saída (com a finalidade de realizar a comunicação do microcontrolador com o meio externo) e vários periféricos (tais como temporizadores, controladores de interrupção, temporizadores cão de guarda (*WatchDog Timers* – WDTs), comunicação serial, geradores de modulação por largura de pulso ou de PWM (*Pulse Width Modulation*), conversores analógico/digital etc.), fazendo com que o hardware final fique extremamente complexo.

Martins (2005, p. 15) ainda afirma que existem inúmeros tipos de microcontroladores, sendo que a diferença deles são: a velocidade do processamento; a quantidade de memória interna disponível para armazenamento de dados (memória de dados) e para armazenar as rotinas dos programas (memória de programa).

Um exemplo de microcontrolador é o da série PIC, fabricado pela empresa *Microchip Technology Inc.*, que se popularizou em virtude de ser um componente barato, poderoso e com distribuição mundial, bem como assim, uma enormidade de ferramentas de desenvolvimento paralelas surgiram, além do MPLab e possuem uma linguagem Assembly menos complexa em relação aquelas disponibilizadas por outros fabricantes” (MARTINS, 2005, P. 15).

Outro microcontrolador que tem ampla aceitação no mercado e é fortemente citado na literatura é o da família AVR, fabricado pela empresa ATMEL. Lima e Schwarz (2009 p. 94) afirmam que este microcontrolador apresenta bom desempenho frente ao número de instruções executadas por ciclo de *clock*. Lima e Schwarz (2009 p. 94) afirmam ainda que a ATMEL fornece um programa gratuito, chamado AVR Studio, para a programação desses microcontroladores, que por sua vez, podem ser programados em linguagem Assembly, como em linguagem C (empregando-se o compilador C gratuito).

Após análise desses dois tipos de microcontroladores, estudou-se a plataforma Arduíno, que se caracteriza por ter como núcleo microcontroladores da família AVR. “O que antes necessitava de conhecimentos técnicos específicos de eletrônica e programação, agora se tornou extremamente simples e até intuitivo”. (CARVALHO, 2011 p. 34 apud MARCHESAN, 2012). Além disso, essa plataforma facilita a concepção de um sistema microcontrolado. Com ela, é possível monitorar sensores, poder comunicar-se com computadores e celulares e, inclusive, pode-se controlar algumas funções como ligar e desligar lâmpadas, leitura de sensores e até, acionamento de motores (através de controle de relés que funcionam como interruptores).

Contudo, de acordo com Marchesan (2012, p. 19), o Arduíno oferece uma interface de hardware que proporciona interfaceamento necessário para o correto funcionamento do microcontrolador e um ambiente de desenvolvimento em software para programação. É ressaltado ainda, que o Arduíno, por ser uma plataforma de código aberto (*open-source*), tem uma grande comunidade de desenvolvedores de todo o mundo que publicam bibliotecas prontas para se usar em sua programação, como funções específicas, como por exemplo rotinas para a leitura de sensores analógicos ou o controle de servo motores.

2.3 Identificação de algumas variáveis

Temperatura, pressão, intensidade luminosa são exemplos de fenômenos físicos que chamamos simplesmente de variáveis. Cada sistema de medição pode ser compreendido em termos do que ele faz, exemplo: indicar temperatura, totalizar a vazão ou registrar a pressão de um sistema qualquer (WENDLING, 2010 p. 3).

2.4 Atuadores

Wendling (2010 p. 4) afirma que os atuadores são dispositivos que modificam uma variável controlada. São responsáveis por receberem um sinal proveniente do controlador e agirem sobre o sistema controlado e geralmente trabalham com potências elevadas. Alguns exemplos de atuadores são: válvulas (pneumáticas, hidráulicas), relés, cilindros (pneumáticos, hidráulicos), motores, solenoides.

2.5 Sensores: analógicos e digitais

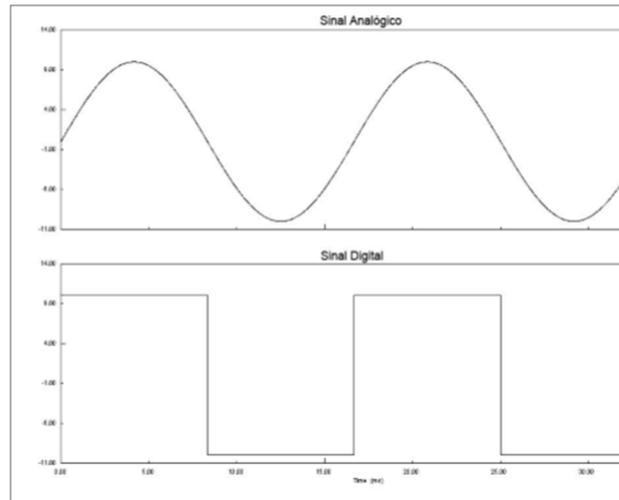
De acordo com Wendling (2010 p. 4), os sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente podendo ser, luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), tais como temperatura, pressão, velocidade, corrente elétrica, aceleração posição, etc.

O sensor analógico pode assumir qualquer valor em seu sinal de saída ao passar do tempo sendo que esteja dentro de sua faixa de operação (WENDLING, 2010 p. 4). É ressaltado também que essas variáveis são mensuradas por elementos sensíveis com circuitos eletrônicos não digitais.

Os sensores do tipo digital podem assumir apenas dois valores em seu sinal de saída ao longo do tempo (zero ou um). Eles são mostrados dessa forma ao sistema de controle após serem convertidos por um circuito eletrônico, geralmente computadores, pois não existem grandezas físicas que assumam esses valores (WENDLING, 2010 p. 4). Esses sensores são utilizados, por exemplo, na detecção de passagem de objetos, *encoders* na determinação de distância ou velocidade, etc.

A Figura 1 exemplifica os diferentes tipos de sinais:

Figura 1: Diferentes tipos de sinais



Fonte: Wendling (2010)

3 METODOLOGIA

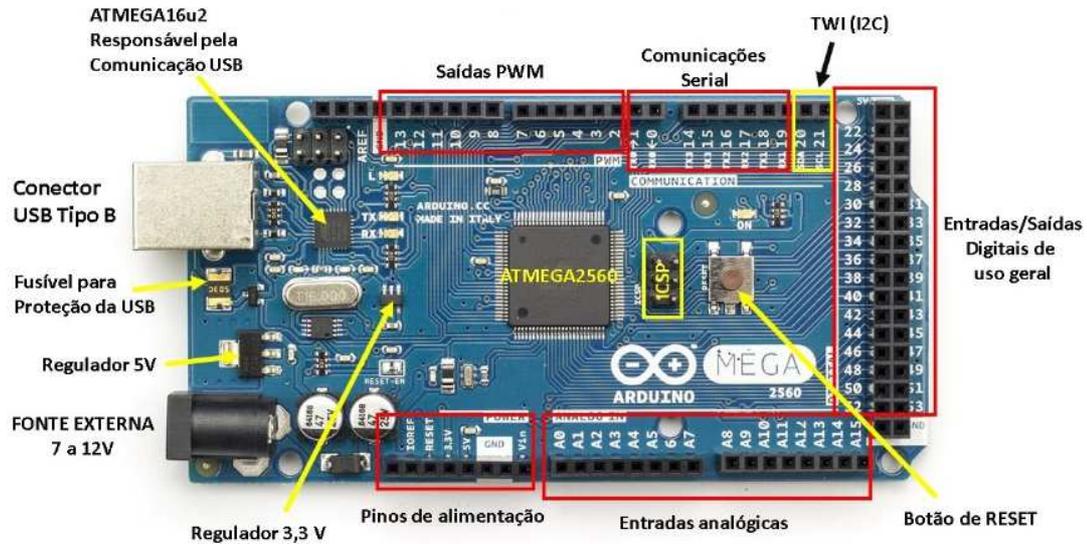
Na fase inicial do projeto, foram escolhidos os tipos de instrumentos e componentes que seriam necessários para a realização do experimento.

Visando a segurança e legitimidade nos resultados obtidos pelo sistema, os instrumentos de medições (manômetro e transmissor de pressão), são calibrados em um laboratório credenciado pela Rede Brasileira de Calibrações (RBC).

A plataforma Arduino Mega 2560 foi escolhida por que seria mais viável para ser aplicado no sistema proposto, pois apresenta uma plataforma de hardware já modelada e configurável e de fácil comunicação com os sensores e outros dispositivos utilizados no experimento. Este modelo de Arduino possui cinquenta e quatro pinos de entradas e saídas digitais sendo que quinze destas podem ser utilizadas como saídas PWM, que através da largura do pulso de uma onda quadrada é possível o controle de potência ou velocidade. O Arduino Mega 2560 possui também dezesseis entradas analógicas, quatro portas de comunicação serial além de conter 256 KBytes de memória Flash, 8 KBytes de memória estática SRAM e 4 KBytes de memória não volátil EEPROM.

A Figura 2 ilustra o Arduino Mega 2560.

Figura 2: Arduino Mega 2560



Fonte: Google (2018)

As bombas de água escolhidas e aplicadas para alimentação e descarte de água do teste, Figura 3, foram as Bombas de água marca KSB, modelo Hydrobloc P500, por serem compactas, silenciosas e de fácil operação e manutenção, além de atingir a vazão de quarenta e cinco litros por minuto, que é o suficiente para o sistema proposto. Para o acionamento das bombas e controle das mesmas, foi necessário a utilização de contatores marca ABB, com capacidade máxima de condução de corrente de 9A e tensão de operação de 220V e um inversor de frequência, este optado pela marca Yaskawa V7, que será responsável pelo controle da vazão na entrada da água. Utilizou-se também um Modulo Relés, que por sua vez funciona como um interruptor e tem a capacidade de acionar cargas de diversas potências, como por exemplo as bombas.

Figura 3: Bomba de água Hydrobloc P500



Fonte: Ksb (2018)

Ainda a respeito da alimentação e descarte da água do teste, foi utilizado válvulas solenoides marca Danfoss 220V NF. Estas, normalmente fechadas (NF), que ao serem acionadas liberarão a passagem da água para o interior ou exterior do vaso de pressão.

Foi necessário também a utilização de um conversor 4-20mA para 0-5V, pois a maioria dos sensores, como os utilizados no projeto, possuem como padrão uma corrente que varia entre 4mA (valor inicial) e 20mA (valor máximo) e a plataforma Arduino não possui uma entrada que possa ler esse tipo de sinal. Este conversor irá permitir que o microcontrolador leia o sinal em forma de tensão entre 0 a 5V.

Como uma das melhorias alcançadas pelo novo sistema é o registro automático dos resultados, necessitou-se utilizar um *Shield* Ethernet/SD para Arduino. Com este componente é possível a transmissão dos dados obtidos em cada teste para a rede de internet configurada e assim, monitorar e analisar todos os testes realizados.

A planta escolhida para a realização do teste foi um vaso de pressão de uma Autoclave Vertical modelo AV 30 da marca Phoenix Luferco, de capacidade máxima de trinta litros. Foi feita esta escolha pelo fato de ser compacto possibilitando fácil movimentação e menor quantidade de água para enchê-lo completamente.

A figura 4 exemplifica uma Autoclave Vertical AV 30.

Figura 4: Autoclave Vertical AV 30 Phoenix Luferco

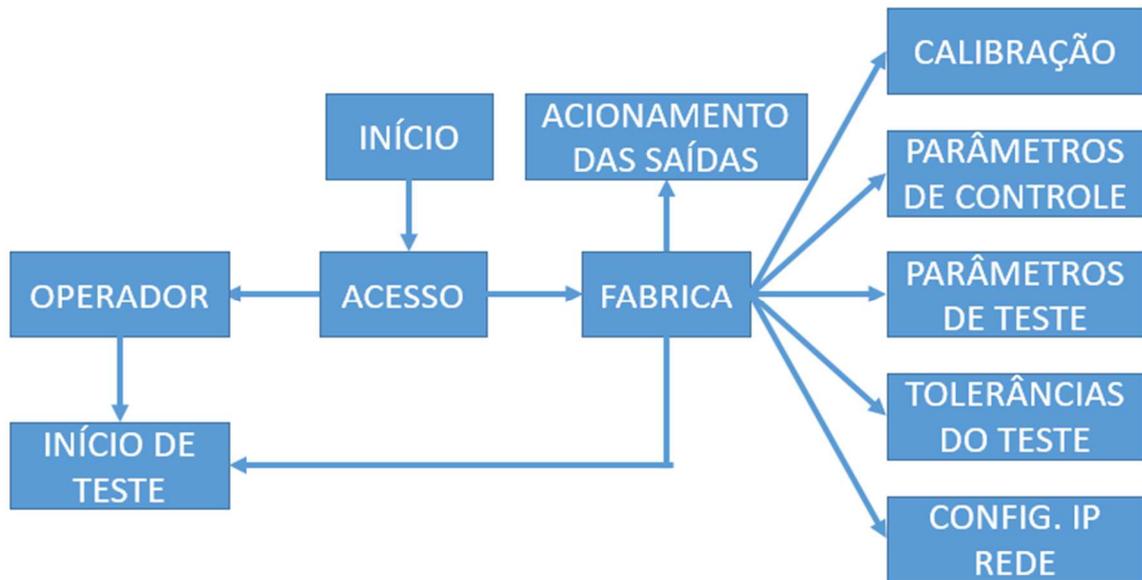


Fonte: Phoenix Luferco (2018)

3.1 Fluxograma do funcionamento do projeto

De posse desses materiais, foi elaborado um diagrama de blocos propondo o fluxograma do funcionamento do projeto (Figura 5).

Figura 5: Fluxograma do Funcionamento do projeto



Fonte: Própria (2018)

A proposta de funcionamento do projeto se inicia com a fase de acesso. A pessoa responsável por realizar o teste terá que inserir uma senha, diferenciando-se entre os tipos de senha de operador ou senha de fábrica. O acesso de operador permite somente que o mesmo realize os testes com os parâmetros pré-definidos; já o acesso de fábrica permite que o usuário faça qualquer tipo de alteração nos parâmetros, calibração, tolerâncias, configuração de rede, além de poder fazer o acionamento de todos os atuadores e o teste em si.

Na fase de acionamento das saídas, o usuário cadastrado como fábrica poderá fazer o acionamento de todas as saídas do sistema, sem necessitar realizar um teste completo, de forma a testar cada uma das saídas individualmente. Ao término dos testes, o sistema desligará todas as saídas, visando a segurança do usuário.

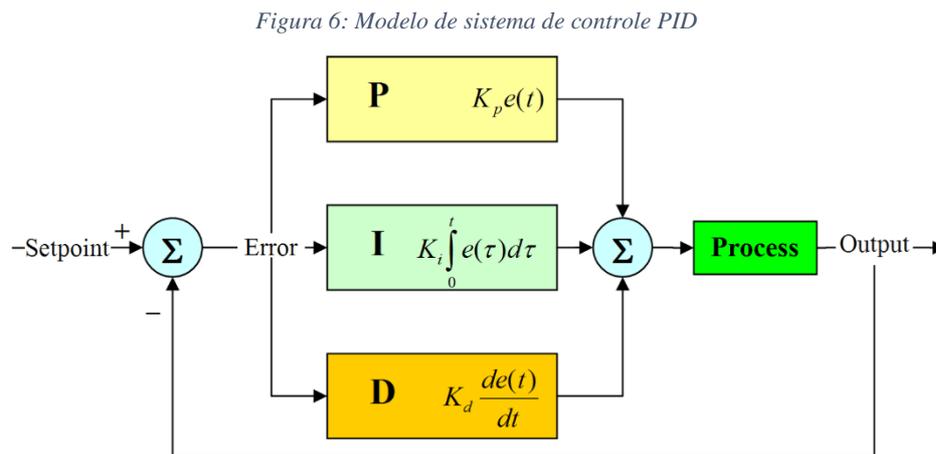
Nos parâmetros de teste são possíveis alterar para cada modelo de vaso, o tempo total do teste e o valor da pressão desejada.

Em calibração, o usuário cadastrado com a senha de fábrica poderá realizar alterações nos valores percentuais admitidos como toleráveis para menos da pressão configurada nos parâmetros de teste.

No menu de calibração, o usuário terá a possibilidade de ajustar de forma precisa o valor analógico mostrado pelo manômetro com o Arduino.

Na fase de parâmetros de controle, é utilizado o controle PID (Proporcional, Integral, Derivativo) como forma de controle fino da pressão.

Os controladores PID são controladores muito utilizados em automação industrial, pois controlam o erro entre o valor medido na saída e o valor desejado no processo. Dessa forma o controlador tenta diminuir o erro que foi gerado pela saída, ajustando suas entradas. A Figura 6 ilustra um modelo de um sistema básico de controle PID.



Fonte: Stm32f4 discovery (2018)

A equação de um PID é dada por:

$$u(t) = MV(t) = Kp e(t) + Ki \int_0^t e(\tau) dt + Kd \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

sendo $u(t)$ a saída em relação ao tempo, $e(t)$ a entrada menos o erro em relação ao tempo, Kp a constante proporcional, Ki a constante integral e Kd a constante derivativa.

O controle proporcional multiplica o erro corrente por uma constante Kp . Esse erro é a diferença entre a saída real e a saída desejada (*set point*) e é realimentado no sistema como

entrada, após isso o sistema calculando os termos P I D, comanda o sistema tentando eliminar o erro, dessa forma garantindo o ganho necessário para chegar próximo ao sinal de saída desejado o mais rápido possível e com maior estabilidade do sistema.

O controle integral multiplica o erro corrente e sua duração pela constante K_i , fazendo uma somatória de toda essa informação. O controle integral ao ser somado ao controle proporcional, acelera o processo de chegada ao estado estacionário do sistema, além de deixar o sinal de saída mais próximo da saída desejada eliminando a parcela residual do erro.

O controle derivativo faz com que a razão de mudança do sinal de erro seja multiplicada por uma constante K_d com o intuito de prever o erro e assim, diminuir a taxa com que os erros produzem mudanças no sistema.

Em configuração de IP/ Rede, o usuário poderá configurar um IP (*Internet Protocol*), para a identificação do dispositivo na rede Ethernet e possibilitar a comunicação entre eles.

Ao ser selecionado o início de teste, aparecerá uma tela onde o operador ou fábrica deverá preencher o modelo do equipamento que será testado, pois para cada modelo de vaso são necessários diferentes parâmetros de controle, de teste e tolerâncias que já foram pré-definidas anteriormente. Em seguida aparecerá o campo onde deverá ser adicionado o número da ordem de produção, que facilitará a identificação dos vasos caso seja necessário consultar novamente os valores salvos.

No término dos processos acima, será acionado um LED indicando o início do teste. A válvula solenoide NF (normalmente fechada), ligada depois da bomba de água será acionada liberando a passagem de água, juntamente com o acionamento da válvula de purga, encarregada pela liberação do ar do interior do vaso.

Após cinco segundos que o teste foi iniciado, o contator responsável pelo acionamento da bomba de água será acionado fazendo com que a mesma seja ligada de forma a encher o vaso por completo. O sensor de pressão será incumbido de fazer a leitura da pressão do interior do vaso que aumentará à medida que o vaso for enchendo com água.

Quando o vaso estiver completamente cheio, a água começará a sair pela válvula de purga, anteriormente aberta para a liberação do ar, e então o sensor de pressão instalado atuará fazendo com que ela seja fechada.

O sensor de pressão realizará a leitura da mesma o tempo todo até que ela chegue no valor máximo definido nos parâmetros. Após isso, o contator da bomba será desativado juntamente com a válvula solenoide, interrompendo assim a alimentação de água.

Com a pressão no valor especificado, será cronometrado trinta minutos de teste, tempo que pode ser alterado nos parâmetros de teste, o sistema realizará a leitura e registrará o valor da pressão a cada um minuto para que possam ser analisados posteriormente e identificar possíveis variações de pressão. Esses valores serão salvos no cartão de memória juntamente com os dados de ordem de produção e modelo do vaso, adicionados no início do teste.

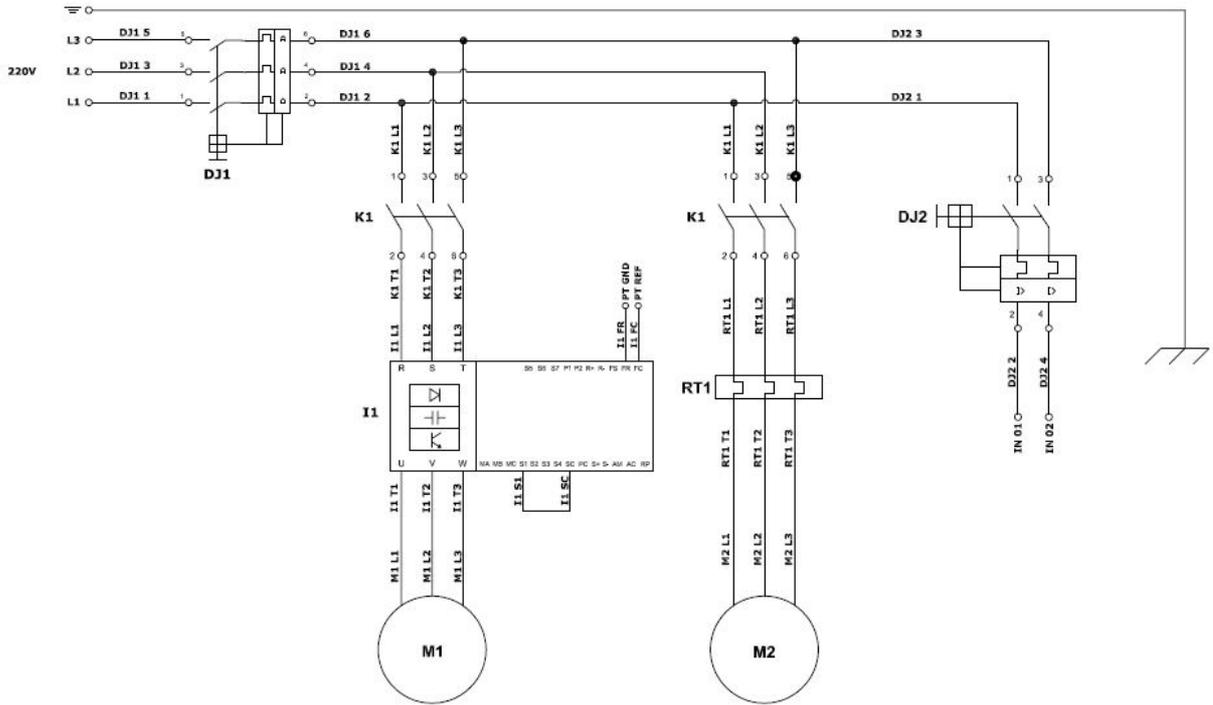
Ao término dos trinta minutos, a válvula de purga será aberta juntamente com a válvula solenoide NF de saída, será acionada uma segunda bomba de água, que por sua vez eliminará a água do interior do vaso. Um segundo sensor de vazão será ligado, agora na saída, e atuará após toda a água do vaso estiver sido esgotada, desligando a bomba de saída e todos os outros componentes do sistema.

Para indicar o final do teste, será acionado um segundo LED e um *Buzzer* emitindo um sinal sonoro.

3.2 Diagrama elétrico

O diagrama elétrico é sempre utilizado nos processos de automação industrial, para se obter uma visão mais ampla do mesmo como um todo. Esse procedimento ajuda a identificar todos os dispositivos de campo requeridos para a elaboração do projeto além de permitir a identificação de possíveis falhas e respectivamente a solução das mesmas. A Figura 7 mostra o diagrama elétrico de potência do projeto.

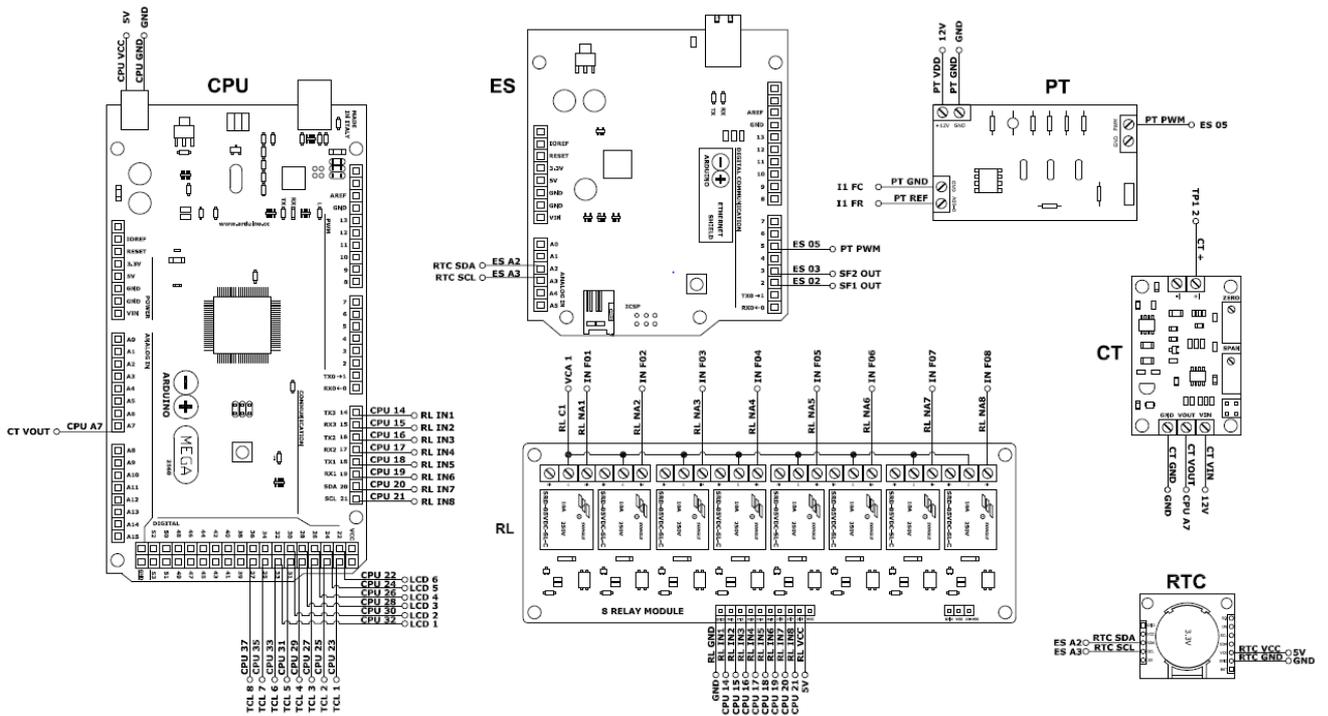
Figura 7: Diagrama de Potência



Fonte: Phoenix Lufenco (2018)

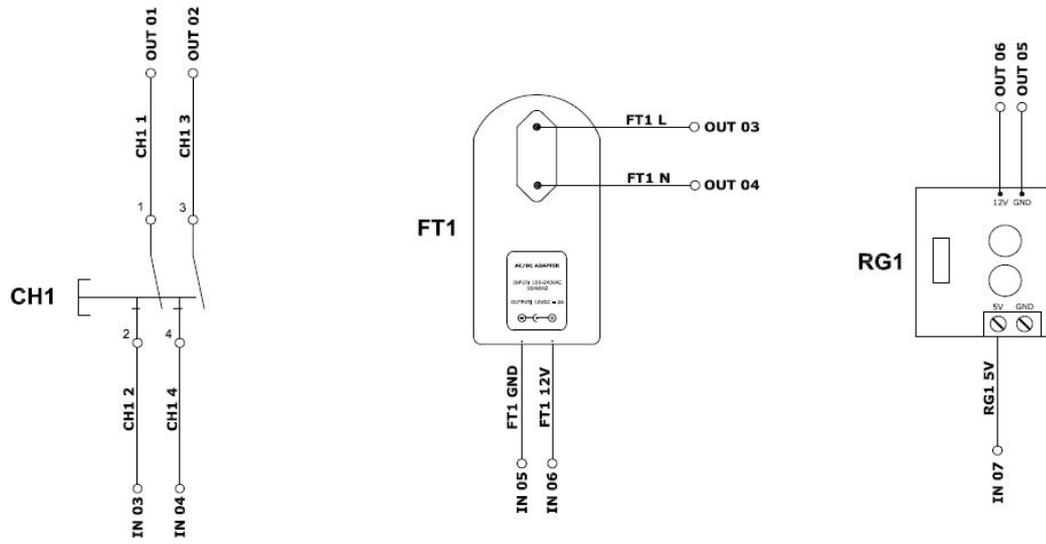
As Figuras 8, 9, 10, 11 e 12 demonstram como foi desenvolvido o diagrama elétrico de comando.

Figura 8: Diagrama de Comando



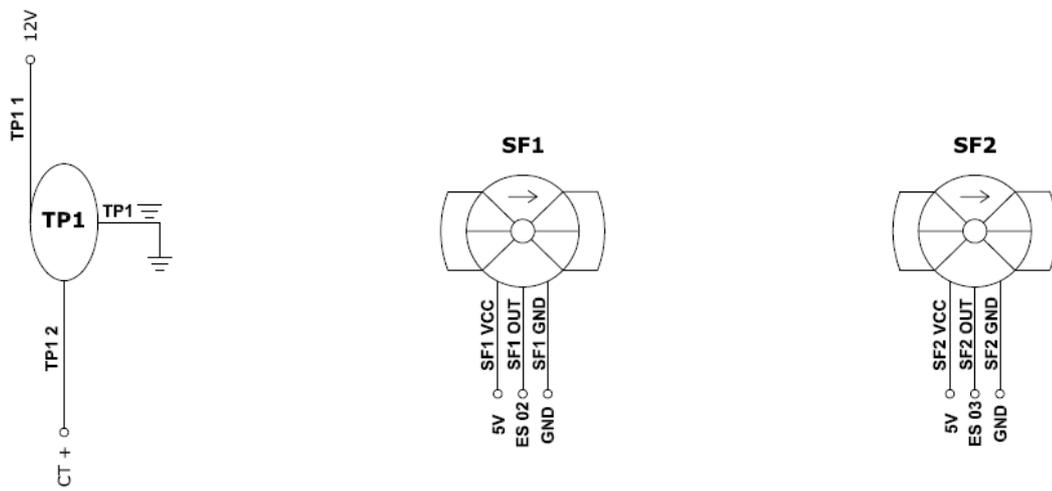
Fonte: Phoenix Lufenco (2018)

Figura 9: Diagrama de Comando



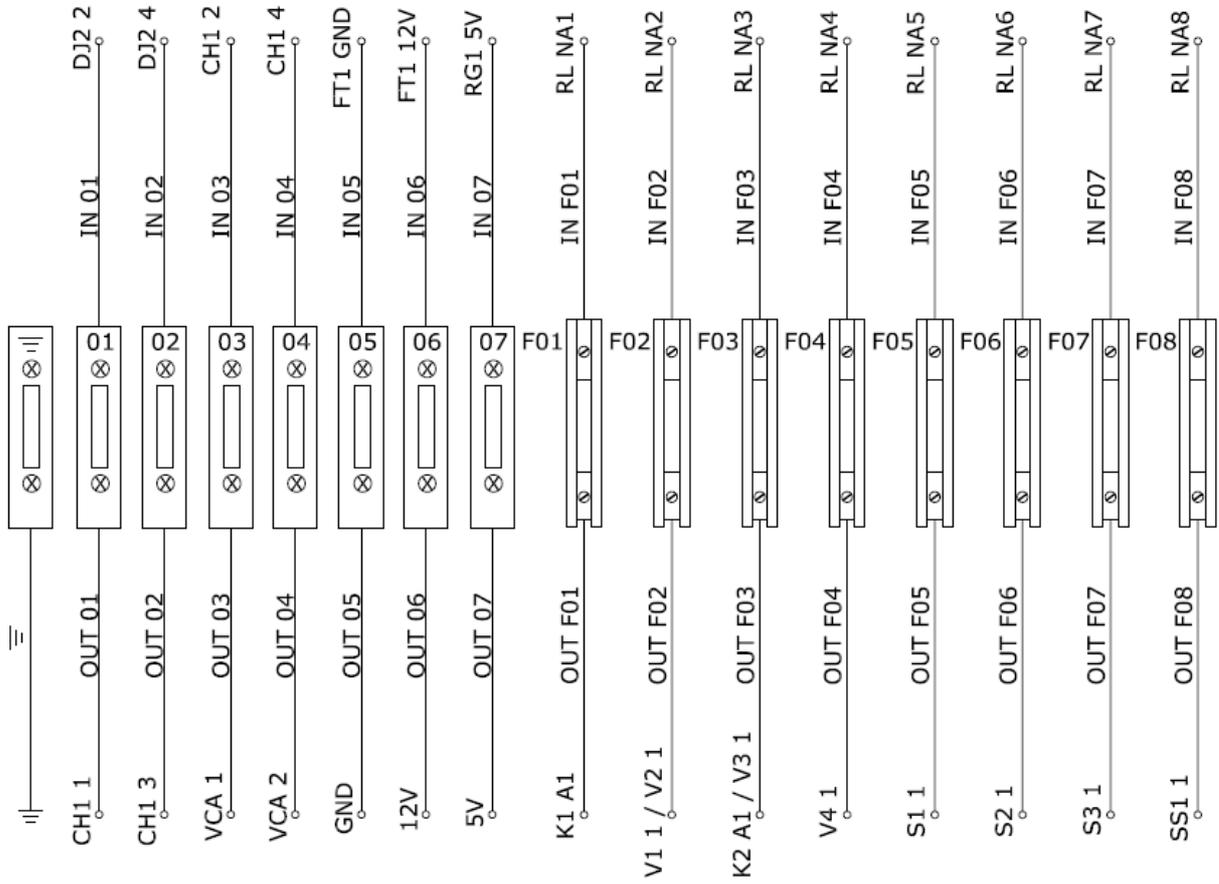
Fonte Phoenix Luferco (2018)

Figura 10: Diagrama de Comando



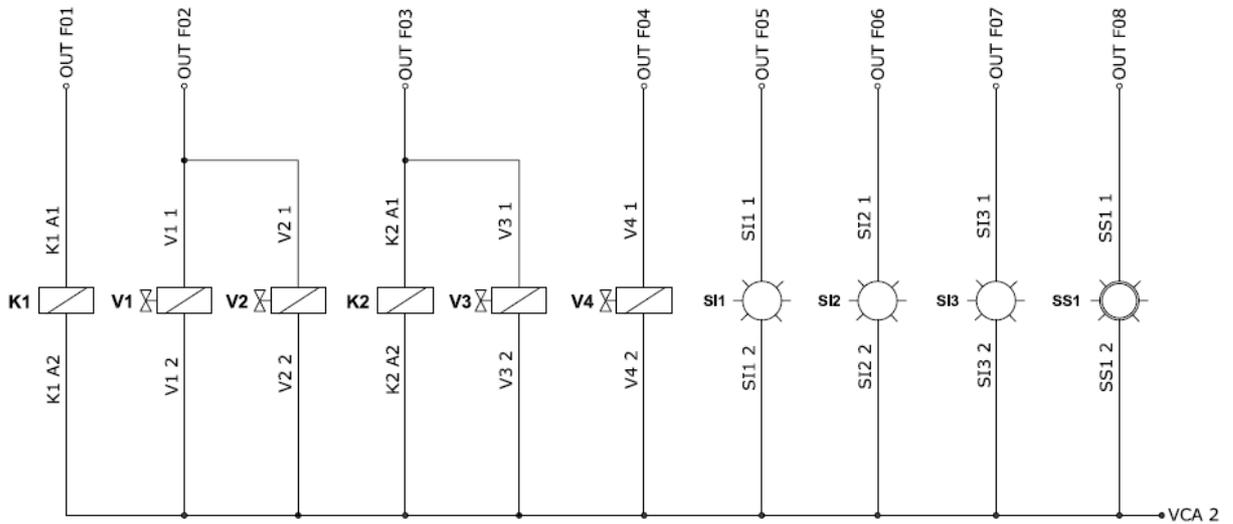
Fonte: Phoenix Luferco (2018)

Figura 11: Diagrama de Comando



Fonte: Phoenix Lufenco (2018)

Figura 12: Diagrama de Comando



Fonte: Phoenix Lufenco (2018)

4 RESULTADOS

Como forma de demonstração dos resultados obtidos no experimento, foi realizado uma simulação de um teste hidrostático em uma empresa do ramo metalúrgico localizada no município de Araraquara – SP. A planta utilizada na simulação foi um vaso de pressão que compõe uma Autoclave Vertical AV 30, da marca Phoenix Luferco. Os parâmetros e condições admitidas para realização da simulação são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e condições admitidas

Modelo do Vaso	Pressão Ideal	Tolerância	Tempo do Teste
AV - 30	2,40 bar	0%	30:00

Fonte: Própria (2018)

Todos os processos vistos na Figura 5 foram realizados na simulação conforme a metodologia apresentada. A Figura 13 mostra as informações contidas no display do Arduino de acordo com cada etapa do processo.

Figura 13: Informações no display para cada processo



Fonte: Phoenix Lufenco (2018)

Ao final da simulação, os dados gerados pelo sistema foram salvos no cartão SD e posteriormente transmitidos para a rede, garantindo o armazenamento das informações e possibilitando a visualização das mesmas pelos usuários. A Figura 14 demonstra o registro dos dados obtidos após termino do teste.

Figura 14: Registro do teste

Pressão de Teste: 2,40 bar	
Tempo de Teste: 30:00	
Tolerância: 0 %	
Usuário: Fábrica	
Início de Teste: 21/09/2018, 16:39:09	
Hora	Pressão (bar)
16:39:04	2,41
16:40:04	2,41
16:41:04	2,40
16:42:04	2,40
16:43:04	2,41
16:44:04	2,40
16:45:04	2,40
16:46:04	2,40
16:47:04	2,41
16:48:04	2,40
16:49:04	2,40
16:50:04	2,41
16:51:04	2,40
16:52:04	2,40
16:53:04	2,40
16:54:04	2,40
16:55:04	2,40
16:56:04	2,40
16:57:04	2,41
16:58:04	2,40
16:59:04	2,41
17:00:04	2,40
17:01:04	2,40
17:02:04	2,40
17:03:04	2,40
17:04:04	2,40
17:05:04	2,41
17:06:04	2,40
17:07:04	2,40
17:08:04	2,40
Final de Teste: 21/09/2018, 17:09:31	
Resultado: Aprovado	

Fonte: Phoenix Lufenco (2018)

Para gerar o resultado, o sistema se baseia em todas as leituras registradas e também a tolerância admitida no início do teste, neste caso sendo zero por cento. O teste foi realizado com tempo total de trinta minutos, possibilitando que o sistema registrasse trinta leituras de pressão, estas que sofreram variações entre 2.40 bar a 2.41 bar. No entanto, como os valores das pressões sofreram apenas variações para cima do valor desejado (2.40 bar), o sistema interpretou que não existia a presença de vazamentos no vaso de pressão testado.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de controle de testes hidrostáticos em uma empresa do setor metalúrgico do município de Araraquara – SP.

Para a implementação de um sistema de controle de testes hidrostáticos ou qualquer outra aplicação como um todo é necessário ser realizado uma série de estudos iniciais sobre o sistema em que o projeto irá atuar, para isso sendo de suma importância um diagrama elétrico e um digrama de blocos facilitando a visualização dos processos que serão realizados pelo sistema, além de possibilitar a definição dos tipos de sensores, atuadores e transmissores requeridos para obtenção de um projeto otimizado em vários aspectos como: facilidade de comunicação e manutenção.

Deve-se ressaltar a grande vantagem da utilização de componentes de alta tecnologia em relação ao antigo sistema manual, uma vez que este proporcionou um controle fino e altamente confiável, garantindo com legitimidade os resultados apresentados.

Como ressalva do projeto realizado, deixa-se a observação de que todas as partes passíveis de falha devem ser constantemente conferidas, permitindo assim que sejam realizados quaisquer procedimentos, tanto nos equipamentos quanto na lógica de controle, sem que a segurança dos equipamentos e principalmente das pessoas envolvidas com o projeto seja prejudicada.

REFERÊNCIAS

ASME **Boiler and Pressure Vessel Code**, Section VIII, Division 1 e Division 2

LIMA, C. B.; SCHWARZ, Leandro. Kit didático para trabalho com os microcontroladores AVR – Kit ATMEGA++. **Revista ilha digital**, [online], v. 1, p. 93- 99, 2009. Disponível em:

<<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/12/12>>. Acesso em: 03 set. 2018.

MARCHESAN, M. **SISTEMA DE MONITORAMENTO RESIDENCIAL UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Tecnologia em Redes de Computadores, Universidade Federal de Santa Maria – Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – RS). Disponível em: <http://www.redes.ufsm.br/docs/tccs/Marcelo_Marchesan.pdf>. Acesso em: 03 set. 2018.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados: Uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. São Paulo: Novatec, 2005. Disponível em: <<http://www.martinsfontespaulista.com.br/anexos/produtos/capitulos/203289.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2018.

MUNIZ, S. R. **Resumo sobre controladores PID**. 2017. (IFSC/USP). Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4132451/mod_resource/content/0/Resumo_controladores_PID.pdf>. Acesso em: 17 out. 2018.

SANTOS FILHO, J. D. **Análise de efeitos de teste hidrostático em vaso de pressão**. 2004 Trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de (Mestre Profissional em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/86891/214310.pdf;jsessionid=76F9A64A0D9F1056C2A0DF8A29363D99?sequence=1>>. Acesso em: 04 set. 2018.

SILVA, D. F. **Sistema de comunicação Bluetooth utilizando microcontrolador**. 2009. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia da Computação) – Curso de Engenharia da Computação, Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

WENDLING, M. **Sensores**. 2010. Universidade Estadual Paulista – Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá “Professor Carlos Augusto Patrício Amorim”. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 04/ set. 2018.