

PROPOSTA DE KIT DIDÁTICO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL – PRÁTICA ACESSÍVEL

WELLINGTON DA SILVA PEREIRA¹, ANDRÉ TIAGO SANTOS²

1Instituto Federal de São Paulo – IFSP. silva.wellington@aluno.ifsp.edu.br

2Mestre Profissional em Automação e Controle de Processos. Instituto Federal de São Paulo – IFSP. andre.tiago@ifsp.edu.br

RESUMO

A automação industrial tem se apresentado como indispensável em todas os processos produtivos, independente de sua natureza ou complexidade, isso se deve a nova revolução industrial que acontece, a indústria 4.0. É preciso que os profissionais atuantes diretamente na criação de sistemas automatizados e até mesmo aqueles que apenas operam tenham conhecimento de tudo que permeia a automação de processos. Na busca de proporcionar esse conhecimento, as instituições de ensino alocam em suas grades conteúdos de automação e até mesmo disciplinas relacionadas com a área, entretanto, essas são ministradas muitas vezes de forma integralmente teórica devido a dificuldade de conseguir equipamentos altamente onerosos ou até inacessíveis, dessa forma, nem raramente um estudante consegue assimilar o conteúdo ou relacionar o mesmo com a prática. O objetivo do presente artigo foi desenvolver um protótipo com a capacidade didática de demonstrar o processo, para que qualquer estudante consiga conhecer e descrever as vantagens de se utilizar um medidor de vazão tipo turbina comunicando-o com controladores mais práticos como o Arduino. Além disto, é intuito da proposta ofertar uma alternativa acessível para o ensino da automação industrial, de maneira que os alunos possam entender tanto a parte teórica como a prática desta disciplina. Os resultados obtidos indicaram que componentes mais simples, que se comunicam com um microcontrolador como o Arduino tem uma aplicabilidade confiável e viabilidade, porém a precisão desses instrumentos depende de parâmetros específicos que apenas uma montagem criteriosa pode permitir, assim, até mesmo a instalação realizada para o presente estudo pode passar por otimizações de montagem e software, otimizações que cabem a cada cenário de aplicação estudado.

Palavras-chave: Vazão; Kit didático; Sensor turbina; Arduino; Automação.

PROPOSAL OF INDUSTRIAL AUTOMATION TEACHING KIT - ACCESSIBLE PRACTICE

ABSTRACT

Industrial automation has been presented as indispensable in all production processes, regardless of its nature or complexity, this is due to the new industrial revolution that is taking place, industry 4.0. It is necessary that professionals working directly in the creation of automated systems and even those who only operate have knowledge of everything that permeates the automation of processes. In the search to provide this knowledge, educational institutions allocate automation contents and even disciplines related to the area in their grids, however, these are often taught in an entirely theoretical way due to the difficulty of obtaining highly costly or even inaccessible equipment, in this way, a student is not rarely able to assimilate the content or relate it to practice. The aim of this article was to develop a prototype with the didactic ability to demonstrate the process, so that any student can understand and describe the advantages of using a turbine-type flowmeter, communicating it with more practical controllers such as Arduino. In addition, the purpose of the proposal is to offer an accessible alternative for teaching industrial automation, so that students can understand both the theoretical and practical aspects of this discipline. The results obtained indicated that simpler components that communicate with a

microcontroller such as Arduino have a reliable applicability and feasibility, but the accuracy of these instruments depends on specific parameters that only a careful assembly can allow, thus, even the installation performed for the present study can go through assembly and software optimizations, optimizations that fit each application scenario studied.

Keywords: Flow rate; Didactic kit; Turbine sensor; Arduino; Automation

1 INTRODUÇÃO

Segundo Victorette et al. (2006), as instituições de ensino técnico e superior estão cada vez mais interessados em aulas práticas, de modo a aumentar a produtividade da aula e facilitar a assimilação do conteúdo por parte dos alunos.

Nos cursos técnicos e superiores, as disciplinas relacionadas com a área de automação são ministradas na maioria das vezes de forma teórica e nem sempre o aluno consegue assimilar o conteúdo ou relacionar o mesmo com a prática. Muitas instituições de ensino não possuem nenhum kit ou planta didática para auxiliar o ensino prático, porém não compensa investir em plantas didáticas pois elas possuem um alto custo e não são tão fáceis de utilizar, sendo necessário ter um conhecimento prévio do equipamento. Logo, nota-se a oportunidade do desenvolvimento de uma ferramenta didática, prática e acessível para simulação e auxílio na aprendizagem.

Os kits didáticos são ferramentas utilizadas para integrar e assimilar conteúdos teóricos e atividades práticas, potencializando o conhecimento e ampliando a visão dos discentes em relação aos conteúdos aplicados em sala de aula. De acordo com Carmo et al. (2006), com o kit didático, é possível associar as teorias, experimentos práticos e funções de componentes eletrônicos tanto no desenvolvimento quanto nas aplicações em diversas áreas educacionais.

Com base no contexto exposto, o objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um medidor de vazão de baixo custo, fácil construção e manutenção para auxiliar no ensino de automação industrial. O kit didático permitirá simular a aplicação do controle de nível e principalmente de vazão em um processo industrial configurado pela interligação de dois tanques com sistemas automatizados para a troca de fluídos entre os componentes. Esse protótipo conta com sensores, atuadores e controlador. Sendo, então, os sensores de nível com chave boia e de vazão do tipo turbina. Os atuadores são relés, válvula solenoide, display LCD (Liquid Crystal Display), alarme sonoro e bomba d'água. Por fim o controlador utilizado sendo o Arduino.

Os objetivos específicos que norteiam a construção e sintetizam o sequenciamento do desenvolvimento do kit didático iniciam com o desenho dos diagramas (elétrico e P&ID), seguido da montagem da estrutura física dos processos a serem reproduzidos. Com auxílio dos

diagramas realizar a conexão dos sensores na estrutura (tubulação e tanques). Na sequência o objetivo é conectar os atuadores, válvula e bomba d'água, e por fim, comunicar o componente lógico (controlador) com os demais componentes. O objetivo específico final, voltado ao presente estudo, foi a elaboração de um guia de montagem em formato científico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Lee (2003, apud IBARS, 2004, p.4), a necessidade de quantificar o fluxo de líquidos tem sido reconhecida desde o início da civilização, e com a crescente necessidade de irrigação, navegação e energia cresceu também a necessidade de criação de técnicas de medição de nível, vazão e volume. Com a crescente necessidade de utilização de ferramentas de melhoria dentro da indústria, o estudo do comportamento desses fluidos usados dentro dos processos não está ligado somente com a diminuição de custos como também a eficiência da produção.

Uma das formas usadas para medir a vazão é utilizando o sensor tipo turbina. Nesse medidor, a passagem do fluido causa a movimentação de uma turbina/hélice, a rotação da hélice é associada ao escoamento do fluido que passa. Segundo Delmée (2003) os medidores são caracterizados por um coeficiente de vazão K , que depende da vazão e da viscosidade do fluido, e é obtido por calibração para cada equipamento.

De forma complementar Fernandes (2007) diz que os medidores volumétricos são aqueles que possuem compartimento com volume previamente conhecido e através do qual deverá escoar o fluido cuja vazão se deseja medir.

2.1 Interrupções com Arduino

Esse tipo de programação ocorre quando há necessidade de interrupção de um sinal emitido por meio de um hardware que de forma temporária anulará a tarefa atual executada pela CPU (Central processing unit) para que o sistema seja então atendido, assim, quando finalizado, o sistema volta a atuar do ponto de parada. Segundo Reis (2019), as interrupções são realizadas em nível de hardware, quando um evento externo é acionado, (pressionamento de um botão), e assim um sinal é enviado para o microcontrolador (ou microprocessador). Este processamento será executado imediatamente, interrompendo qualquer ação realizada pela CPU esteja realizando no momento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O presente artigo administrou a montagem de um kit didático para a disciplina de Automação Industrial, com o intuito de proporcionar a demonstração de um medidor de controle de vazão, para tal fez-se necessário a utilização dos componentes descritos na Tabela 1.

TABELA 1- Componentes para montagem de um medidor de controle de vazão

Componente	Imagem Ilustrativa	Descrição
Display LCD		Para Pulhmann (2015) este é um recurso de interface para comunicação visual. Fora utilizado para mostrar de forma eletrônica qual a vazão no momento da passagem de água.
Buzzer (alarme sonoro)		Pequeno alto-falante que, segundo Trindade (2016) é utilizado para que o Arduino possa enviar um comando de som. Fora utilizado como “função alarme” indicando quando o recipiente está cheio.
Válvula Solenoide		“A força magnética gerada no centro do solenoide [...] aciona o êmbolo de uma válvula, fechando ou abrindo o sistema” (Freitas et al, 2016)
Módulo Relé (Relay)		O projeto utiliza o relé na função de fechar ou abrir o circuito de maneira automática. O site Athos Electronics menciona o relé sendo um componente eletromecânico, que aciona um interruptor a partir de um sinal.
Arduíno Uno		Utiliza a linguagem C/C++, fora utilizado como controlador na automatização do processo.
Bomba de injeção de combustível		Segundo Campos (2008) uma bomba d'água é um sistema de bombeamento de líquidos de um reservatório para outro, sabendo-se que o princípio da bomba de injeção de combustível é o mesmo, fora feita a adequação da mesma para esse projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor

Dos componentes utilizados, o sensor de turbina possui uma função importante e trabalha com algumas peculiaridades, utilizando processamento de dados para sua funcionalidade, sendo necessária sua adequação ao projeto. Desta forma, o componente representado na ilustração 1 atua quando o fluido que se desloca no interior da tubulação aciona um rotor montado dentro do medidor de vazão. A velocidade deste rotor é proporcional à velocidade de deslocamento do fluido no processo. Um sensor de efeito hall (pick-up magnético) acoplado ao corpo do medidor, tem seu campo magnético alterado a cada passagem de uma das pás do rotor, gerando um pulso elétrico que é amplificado e processado na forma de frequência ou corrente. Esses medidores são associados a um coeficiente de vazão K , onde f é a frequência dos pulsos e V a vazão volumétrica (m^3/h). O coeficiente K depende da vazão e da viscosidade do fluido e é obtido por calibração.

ILUSTRAÇÃO 1 – Sensor do tipo turbina 5V



Fonte: Anúncio Eletrogate

3.2 Métodos

3.2.1 Montagem e instalações

A montagem parte da construção de uma estrutura metálica capaz de comportar um reservatório elevado e um mais abaixo, para melhor alocação de sensores é importante também que o reservatório de baixo fique deslocado com relação ao eixo vertical do tanque superior, assim existe espaço hábil para colocar uma tubulação interligando ambos. Os reservatórios utilizados foram dois galões de 20 litros, parcialmente cortados, deixando espaço para um volume de 16 litros de água, a frente da estrutura posicionou-se um painel que irá servir como interface homem máquina. Toda essa montagem pode ser visualizada no desenho esquemático na ilustração 2.

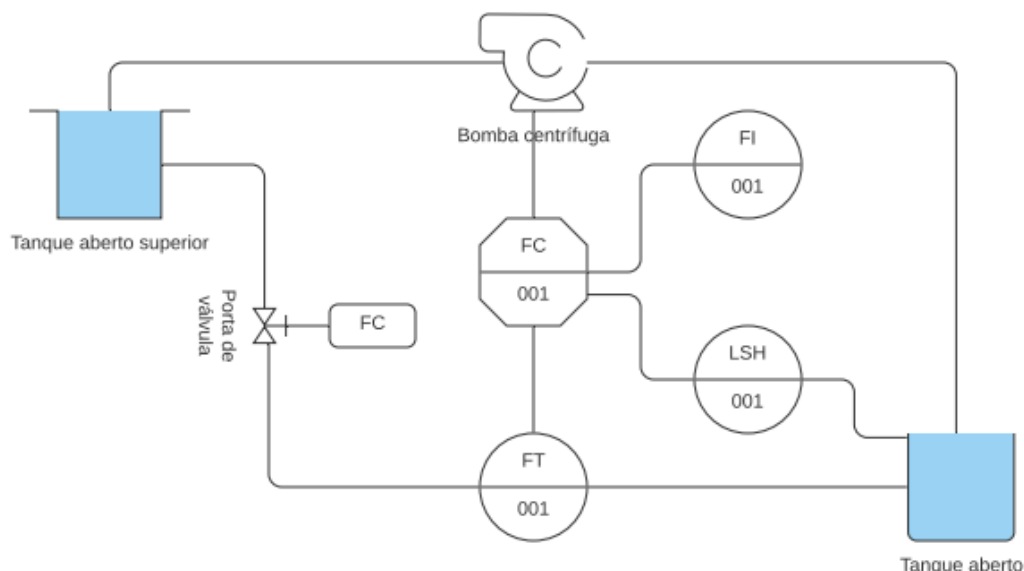
ILUSTRAÇÃO 2 – Estrutura básica de montagem



Fonte: Autores

As tubulações que conectam o tanque superior com o inferior foram feitas em duas etapas: o fluxo de queda da água, sendo embutido nessa conexão a válvula solenoide e o sensor de vazão. A segunda etapa da tubulação é correspondente ao fluxo de retorno da água para o galão superior (reabastecimento), nessa etapa está acoplada uma bomba d'água submersível no fundo do tanque inferior, que leva por uma tubulação a água. Na região frontal encontra-se a IHM (Interface Homem Máquina) onde o operador consegue acompanhar a vazão por meio do display LCD e ter acesso ao alarme sonoro. O Arduino e módulo relé foram alocados na parte traseira do compartimento, junto a toda fiação de alimentação de carga e informação. Posteriormente, o sensor de nível com boia foi posicionado no tanque inferior, em um ponto em que seu fim de curso seja o mesmo do nível máximo de água. Por fim, o esquema final de montagem e instalação fica descrito de forma resumida nesse diagrama P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) apresentado na ilustração 3.

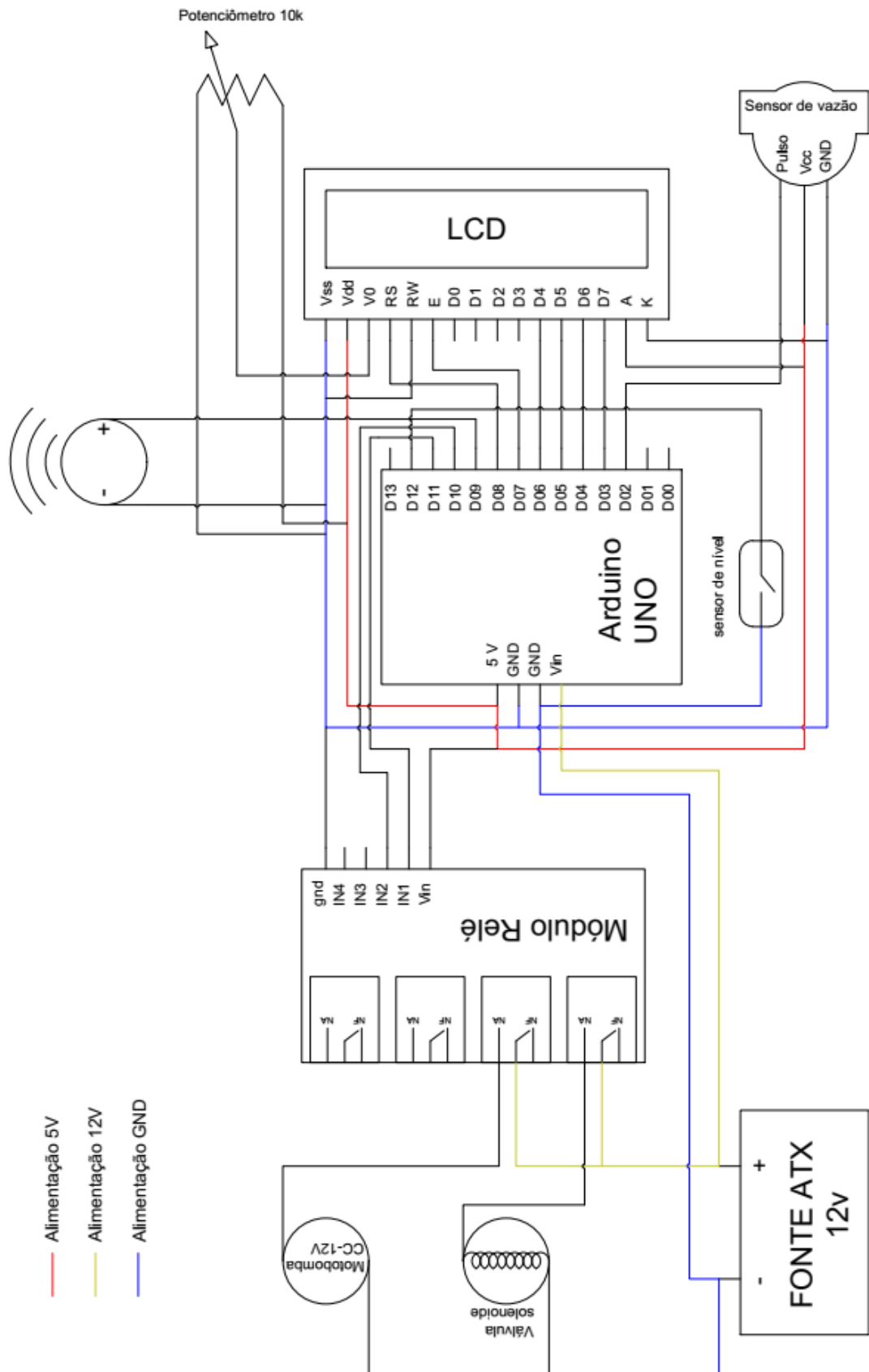
ILUSTRAÇÃO 3 – Diagrama P&ID do controle de vazão



Fonte: Autores

Reconhecendo a melhor forma de alocar fisicamente os componentes e como irão atuar dentro do projeto, é necessário fazer a montagem elétrica, responsável por permitir que os atuadores funcionem, bem como permitir ao controlador operacionalizar tudo de forma automática. Para essa montagem encontra-se um diagrama elétrico elaborado especialmente para a aplicação presente, pode ser visto na ilustração 4.

ILUSTRAÇÃO 4 - Diagrama elétrico do controlador de vazão



Fonte: Autores

3.2.2 Métodos físicos

Todo o processo consiste em um processamento cíclico de etapas com rotinas definidas e controladas de forma automática. O processo enquanto não é alimentado por qualquer forma de tensão encontra-se fechado, devido sua válvula solenoide NF (normal-fechada) que se encontra imediatamente abaixo do tanque superior. Nesse ponto a única configuração necessária é o preenchimento do tanque superior com água. A coluna de água formada deve gerar pressão suficiente para uma vazão mínima de 3 litros/minuto, isso se deve a restrição de funcionamento da válvula.

Com a configuração pronta, todo o processo funciona de forma autônoma, basta que seja alimentado com eletricidade. Quando ligado, a válvula solenoide abre, possibilitando o fluxo de água que ocorre por gravidade. Esse fluxo passa por dentro do sensor de vazão do tipo turbina, fazendo com que seu rotor interno gire, e logo após a água é escoada para o tanque inferior.

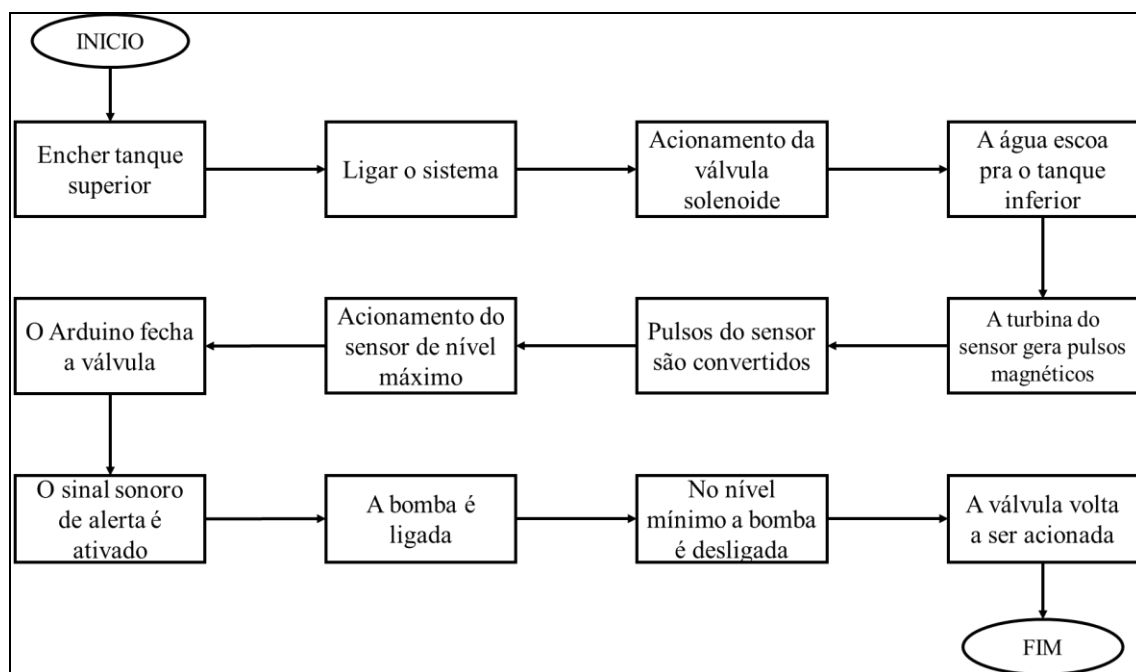
Com a água do tanque atingindo nível mais alto, ele eleva a boia do sensor que funciona como chave de contato (fim de curso); ao chegar nesse nível, a válvula solenoide é desligada, fechando e impossibilitando o fluxo de água descendo. Quando o tanque inferior está cheio, é realizado o acionamento da bomba que encontra-se em seu interior, ela retorna a água para o tanque superior, isso ocorre para fim de criar rotinas cíclicas, mas pode ocorrer como um processo de bateladas, onde os níveis e volumes do tanque precisam ser controlados de forma automática.

3.2.3 Métodos lógicos

Quando a placa Arduino recebe tensão, ela inicia o display LCD, o sensor e um dos módulos em uso do relé. O primeiro contato de relé iniciado corresponde a válvula solenoide, esse comando faz com que ela seja alimentada e abra. Com a válvula aberta, a água começa a passar pelo sensor, nesse ponto a turbina girando cria pulsos magnéticos, reconhecidos pelo sensor de efeito hall interno, esses pulsos são transmitidos para o Arduino, então o controlador inicia uma rotina de contagem de pulsos por meio de interrupção em sua porta digital 2, com a leitura realizada e por meio do cálculo ($\text{pulsos}/5,5$) o Arduino encontra o valor correspondente a vazão (litros/min). Esse valor é impresso na tela do display LCD. Quando o sensor de nível presente no tanque inferior fecha o contato, é emitido um sinal digital de fechado para o Arduino que ao reconhecer, desativa o relé responsável por alimentar a válvula e inicia a rotina de reabastecimento.

A rotina de reabastecimento consiste em emitir sinais sonoros de alerta que indicam cuidado, pois o sistema de bombeamento será automaticamente iniciado, nesse momento o relé é acionado pelo controlador Arduino, fornecendo corrente para a bomba presente no tanque inferior. A bomba estará ligada até que o sensor de nível mínimo seja acionado.

ILUSTRAÇÃO 5 – Fluxograma do processo



Fonte: Autores

4 RESULTADOS

A estrutura montada já estava à disposição, isso facilitou muito o projeto, pois o tempo de execução dessa tarefa foi despendido para outras. A tubulação que conecta o tanque superior ao inferior teve encaixe o sensor e válvulas embutidos sem qualquer tipo de vazamento ocorrendo. O display LCD posicionado na IHM permite total visualização, bem como ausência de qualquer ruído no alarme sonoro. O sensor de nível com boia foi inserido no topo do tanque inferior, garantindo que seu nível máximo corresponda ao máximo do tanque, com uma coluna de 5 centímetros para segurança.

Com tudo montado e instalado corretamente, a água foi inserida fazendo a configuração inicial, o sistema foi alimentado e a água não desceu, nesse ponto dois problemas foram identificados, o sistema interno da válvula solenoide estava travado e a pressão era muito baixa para atingir a vazão mínima. Esse problema foi resolvido abrindo a válvula e a lubrificando

internamente e também aumentado o nível da coluna de água, isso fez com que a água passasse com fluidez e vazão aceitável.

Com a água passando normalmente foi testado se a boia funcionava corretamente, não apresentando defeito, já que o relé do solenoide desligava e da bomba acionava, porém, isso ocorria por uma fração de segundo e logo voltava ao início do ciclo. Nesse ponto o problema encontrado foi lógico. O Arduino utiliza interrupções para sua função `delay()`, quando o sensor passa a utilizar do mesmo artifício lógico existe um conflito de prioridades na programação. Para resolver esse problema bastou compreender como a interrupção funciona por meio de leitura e assistindo vídeos de especialistas. Um desses vídeos apresentou o comando `detachInterrupt()`, que desativa a interrupção anteriormente ativada para o sensor, com ela é possível deixar o Arduino livre para processar a rotina de reabastecimento deixando o sensor em segundo plano, quando a rotina de reabastecer termina, a interrupção do sensor é ativada novamente, isso só é possível porque o sensor e a bomba não precisam funcionar simultaneamente.

Com a rotina de reabastecimento funcionando, a bomba passou a ser acionada corretamente, mas a fonte de alimentação desarmava, pois seu sistema de segurança impedia sobrecargas. A fonte de alimentação então foi substituída por uma fonte ATX com 12V e corrente máxima de 16A, ainda com a alta corrente a bomba não ligava e aquecia a fiação, isso foi verificado como indicio de fuga de carga ou trava no sistema, para fins verificação, a bomba teve sua corrente medida e indicou 17A, uma corrente extremamente alta para o tipo de componente utilizado. Na busca de resolução desse problema a bomba foi aberta, todos os pontos para fugas de corrente foram verificados e muito óleo foi injetado para lubrificar o rotor, com isso ela voltou a ligar porém não é capaz de bombear água, para explicar isso buscou-se datasheets disponibilizados em sites de fabricantes e foi identificada a possível causa.

A bomba a princípio é projetada para injetar combustível no motor de um carro, nesse tipo de bomba é comum que o combustível entre em contato com o rotor, pois suas características físico-químicas contribuem com a conservação, porém ao utilizar água, os componentes ficaram passíveis de oxidação interna e como a bomba esteve por um tempo parada desde sua última utilização com água, ela pode ter perdido sua capacidade de bombear corretamente. Esse problema até o presente momento não pode ser resolvido. Com o problema da bomba foi necessário recorrer a uma forma de reiniciar o ciclo, que no caso é o sinal sonoro para indicar total capacidade atingida, desligamento da válvula e solicitação no display da IHM para reabastecimento manual.

5 CONCLUSÃO

Este artigo buscou demonstrar a possibilidade da aplicação de um sensor do tipo turbina para fins de controle práticos de sistemas de vazão, de modo que seja possível aumentar o contato com a prática da automação industrial com eficiência fazendo uso de baixo orçamento, para tanto foi proposto um protótipo de automação de fácil construção e manutenção.

Os resultados indicaram que é possível com um projeto simples como o apresentado, realizar e conhecer múltiplas etapas da experiência prática da automação industrial. As prototipagens e diagramas, essenciais em qualquer planta de processo puderam ser amplamente abordadas com certa clareza. O sensoriamento realizado desde a instalação até a automatização de suas leituras facilitou o contato com as técnicas de controle, no caso da vazão entre tanques. Quando passamos para os resultados obtidos na parte lógica, o crescimento no conhecimento do controlador e da sua funcionalidade que a resolução de problemas permite, é superior a programação teórica ou até simulada, pois os efeitos do mal funcionamento ficaram claros visualmente.

Concluiu-se que os resultados para fim de funcionamento e compreensão do sistema estão como o desejado, porém, a bomba não funcionar impede que o sistema opere de forma integralmente automatizada, que acaba tornando a visualização da prática parcialmente satisfatória, já que o reabastecimento não pode ser visto operando, tão pouco o sensor de nível mínimo ter um teste prático adequado, sob real condição de processo. Contudo, o projeto apresentou ser viável e aplicável no ensino prático de automação industrial em um ambiente laboratorial.

Recomenda-se para trabalhos futuros não utilizar bombas que podem substituir, ou de funcionamento semelhante, sem conhecer suas propriedades. A bomba de injeção de combustível não é uma opção viável, pois danifica com facilidade em um processo que faz uso de água como esse apresentado.

6 REFERÊNCIAS

CAMPOS, ANTÔNIO LUIZ PS; CABRAL, MICHAEL MADSON ALVES. **Sistemas de automação residencial de baixo custo: uma realidade possível**. HOLOS, v. 3, p. 26-32, 2008.

CARMO, E. A.; SILVA, O. F.; BARREIROS, J. A. L.; FERREIRA, A. O. **Construção de Protótipo Didático: uma abordagem diferenciada no processo de ensino/aprendizagem de engenharia**, XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Salvador, Brasil. 2006.

DELMÉE, G. J.; **Manual de Medição de Vazão**, 3ª ed., Edgard Blucher, 2003.

FERNANDES, C. W. R.; **Desenvolvimento de um medidor de vazão utilizando sensor optoeletrônico** - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

FREITAS, MARLA SOUZA; CARVALHO, PAULO CÉSAR OLIVEIRA; SALES, RITA DE CÁSSIA; SILVA, VINICIO COELHO DA; ZANCA, JOSÉ FRANCISCO RAMOS. **Modelagem teórica do campo magnético em solenoides**. Universo Universidade Salgado de Oliveira: Revista de Trabalhos Acadêmicos UNIVERSO São Gonçalo – Vol. 1 – Nº 2 – 2016.

IBARS, R. A. F. **Desenvolvimento e avaliação de tubos de Venturi para medição de vazão. Dissertação (Mestrado)** — "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004.

PUHLMANN, H. F.W. **Modulo de display LCD. Embarcados**, 05/05/2015. Disponível em: < <https://www.embarcados.com.br/modulo-de-display-lcd/> >. Acesso em: set. de 2020

REIS, F. dos. **Como usar Interrupções com Arduino**, 2019. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/arduino/como-usar-interruptoes-com-arduino/>>. Acesso em: 21 de set. de 2020.

VICTORETTE, A.; OLIVEIRA, E.; MENDONÇA, F. K.; NOLL, V.; RODRIGUES, S. G. **Pesquisa e desenvolvimento de um kit didático para o ensino de amplificadores operacionais**. Anais do XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2006.