
PROJETO DE UMA ESTEIRA SEPARADORA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE AUTOMAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

PROJECT OF A DIDACTIC SEPARATING MAT FOR THE TEACHING OF DISCRETE EVENT AUTOMATION

Adrison Freire Silva¹

José Roberto Branco Ramos Filho²

Resumo: O projeto de uma esteira separadora didática para o ensino de automação a eventos discretos é um projeto desenvolvido para adquirir conhecimentos nos métodos de projeto de engenharia e tecnologias utilizadas por um engenheiro de controle e automação. Criando uma bancada didática que emula uma esteira seletora industrial, através do levantamento de requisitos, projeto de hardware, software e sugestão de roteiros que serão utilizados no plano de ensino das disciplinas de automação, utilizou-se a estrutura de projeto de engenharia como: entrevistas, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Os resultados serão utilizados para implementar projetos que darão suporte ao ensino de automação como: acionamento de motor CC por PWM, detecção de objetos metálicos por sensor indutivo e acionamento de servo motor para seleção, além de ser uma ferramenta que pode ser utilizada em feiras de exposição e para o ensino de técnicas de programação a secundaristas. Durante o desenvolvimento do projeto foram realizadas formas de controle automáticos a partir do arduino. No teste da esteira a mesma obteve êxito em seu funcionamento realizando a lógica de programação elaborada no trabalho com sucesso. Assim, a utilização do arduino é uma aplicação atual na simulação de Sed como os encontrados nas indústrias, sendo capaz de realizar o controle de diversos tipos de processos por meio de programação mais fácil e habitual para quem familiaridade com linguagem C++.

Palavras-chaves: Correias transportadoras, sistemas a eventos discretos, automação, manufatura, arduino.

Abstract: The project of a didactic separating mat for the teaching of discrete event automation is a project developed to acquire knowledge in the engineering design methods and technologies used by a control and automation engineer. Creating a didactic bench that emulates an industrial selector through the requirements survey, hardware project, software and suggestion of scripts that will be used in the teaching plan of the automation disciplines, the engineering design structure was used as: interviews, conceptual design, preliminary design and detailed design. The results will be used to implement projects that will support the teaching of automation such as: PWM CC motor activation, inductive sensor metal detection and servo motor drive for selection, besides being a tool that can be used in fairs of and teaching programming techniques to high school students. During the development of the project, automatic forms of control were made from Arduino. In the test of the mat it was successful in its operation realizing the programming logic elaborated in the work with success. Thus, the use of Arduino is a current application in the simulation of Sed as found in the industries, being able to perform the control of several types of processes by means of programming easier and habitual for those familiar with C++ language.

Keywords: Belt conveyor, discreet event systems, automation, manufacturing, Arduino.

¹Acadêmico de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal do Oeste do Pará, UFOPA, email : adrison.freire@hotmail.com

² Professor, Universidade Federal do Oeste do Pará, UFOPA

1 INTRODUÇÃO

A partir da substituição do trabalho artesanal pelo mecanizado e com o uso de máquinas, fato evidenciado com a revolução industrial, os sistemas que utilizam processos automáticos para comandar e controlar os mecanismos para seu próprio funcionamento vêm ganhando destaque devido sua eficácia de produção e domínio de processos, tornando comum a presença de maquinários que substituem o trabalho ora realizado por múltiplas pessoas.

Fundamentais para a celeridade no deslocamento de cargas, as esteiras transportadoras encontram-se presentes nos mais variados segmentos e procedimentos industriais, nos mais diversos tipos de operações de montagem, de processos miniaturizados como os de integração de circuitos eletrônicos até a indústria automobilística, sejam elétricas ou não, elevados ou no chão, são essencialmente primordiais no processo de produção, pois agilizam e evitam a necessidade de funcionários realizando essa tarefa.

De acordo com Fuentes (2005), na atualidade os CLPs vêm acompanhando o progresso dos processos industriais, aumentando sua a capacidade de processamento, tornando-se cada vez mais econômicos. São muito utilizados na indústria na implementação de Seds. O CLP atende as funções de sequenciamento e intertravamento elétricos por meio de comparações, contagens, temporizações e controle PID. Segundo Montgomery (2004, p. 3), para que um Sed possa existir, é necessário que existam ações ocorrendo, e que estas por sua vez gerem eventos. Um sistema só mudará de estado quando ocorrer um evento. Se não ocorrer nenhum evento, o sistema permanecerá no mesmo estado.

É neste contexto que este trabalho, tem como finalidade projetar e construir uma esteira didática que integra um sistema com capacidade de detectar a aproximação ou a presença de todo e qualquer elemento metálico sem a necessidade de contato entre o sensor e o elemento físico. Assim, possibilitar o ensino de automação a eventos discretos utilizando a mesma. Como um modelo de processo industrial, o conjunto implementa o controle de uma mini esteira seletora de produtos, que tem o objetivo de separar determinados tipos de produtos, armazenando em diferentes locais.

Foi possível efetuar o controle da esteira através da utilização de um Arduino para a programação onde foram tomadas decisões cabíveis como, contagem e separação de materiais metálicos e não metálicos. É importante acentuar que ideias e implementações que venham surgir com a confecção deste projeto não se limitam à determinada marca ou produto.

Além de tudo, precede uma série de outras utilidades práticas abrangendo o sistema proposto neste projeto. Um dos principais objetivos deste projeto, pois apresenta uma saída que pode estimular alunos/estudantes do ensino médio e técnico, acadêmicos e profissionais da área a se aprofundarem mais neste segmento tecnológico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Continuamente é indispensável o projeto de engenharia responder minuciosamente as intenções do cliente, dos usuários e do público em geral. A todo momento será essencial aos engenheiros que planejem seus procedimentos de maneira que transmitam a geografia dos espaços aos seus parceiros de projeto (CLIVE L; PATRICK: ELIZABETH, 2010).

Com isso, para a execução deste trabalho foi utilizada a estrutura de projeto de engenharia que teve como finalidade, identificar os requisitos necessários para prescrever valores de atributos da bancada. Para isso, teve como subdivisões:

- Etapa 1: Levantamento de requisitos;
- Etapa 2: Projeto conceitual;

-
- Etapa 3: Projeto preliminar;
 - Etapa 4: Projeto detalhado.

2.1 Levantamento de requisitos e restrições

O projeto proposto baseou-se em entrevistas que identificaram as reais necessidades de uma bancada didática, avaliando o maior número de disciplinas possíveis que envolvam programação em arduino, levando em conta sua funcionalidade, facilidade de alocação, transporte, além de especificidades adequadas a sua implementação.

2.2 Projeto conceitual

Foram entrevistados os professores das áreas relativas a automação e elétrica dos cursos de Engenharia Física (EF) e Engenharia de Controle e Automação (ECA) para identificar os principais requisitos e restrições a serem levados em consideração no projeto. Os resultados destas entrevistas formaram as especificações das necessidades dos clientes.

2.3 Projeto preliminar

Estabelecidos os requisitos e restrições pode-se desenvolver uma matriz de possibilidade utilizando o software de desenho vetorial bidimensional para design gráfico, *CorelDRAW*. Nele, foi possível distinguir a esteira viável através de avaliação, onde:

- Verde: representa um componente viável a sua implementação ao sistema.
- Amarelo: representa um componente parcialmente viável a sua implementação ao sistema.
- Vermelho: representa um componente inviável a sua implementação ao sistema.
- Foram levados em conta as seguintes requisitos e restrições:
 - Deve ser portátil;
 - Deve ser feita de materiais leves fáceis de cortar;
 - Deve conter atuadores elétricos;
 - Deve usar motor de passo ou elétrico;
 - Deve usar arduino;
 - Deve ser de produção barata;
 - Deve ser de fácil manutenção;
 - Deve ser fácil para os alunos usarem;
 - Deve ser de produção barata;
 - Deve ser segura.

Na figura 1 encontra-se a matriz de possibilidade definida para este projeto:

MATRIZ DE POSSIBILIDADES

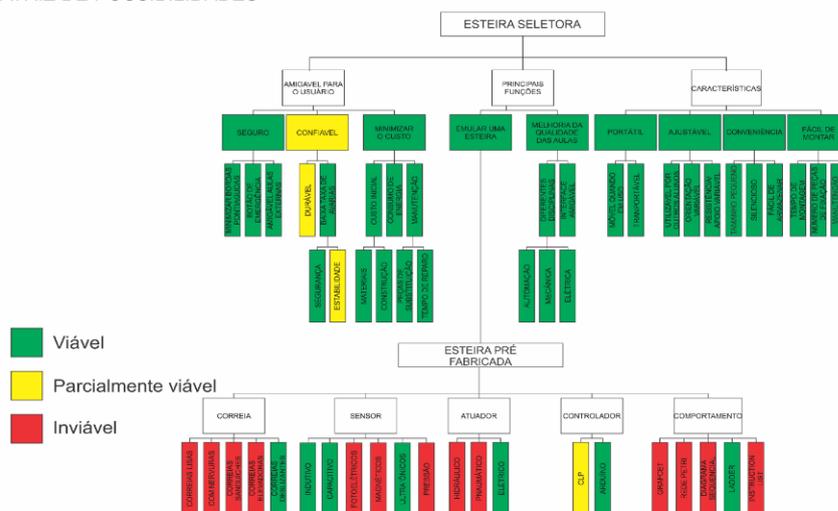


Figura 1: Matriz de possibilidades - Esteira seletora definida.

A esteira elaborada será do tipo transportadora de correias planas. Na figura 2 a Esteira Arduino em MDF (*Medium Density Fiberboard*) possui tamanho pequeno, contando com 39 centímetros de comprimento, 9 centímetros de largura e 14 centímetros de altura. Lembrando que a parte móvel da esteira mede as seguintes dimensões de 32x8cm.



Figura 2: Componentes estruturais da esteira.

Na figura 3 estão posicionados os roletes encarregados pelo deslizamento da correia transportadora plana. O rolete da extremidade está acoplado a um conjunto de polias, movimentadas por correias dentadas ligadas ao eixo do motor. É este rolete que transfere o movimento do motor para a correia de transporte.

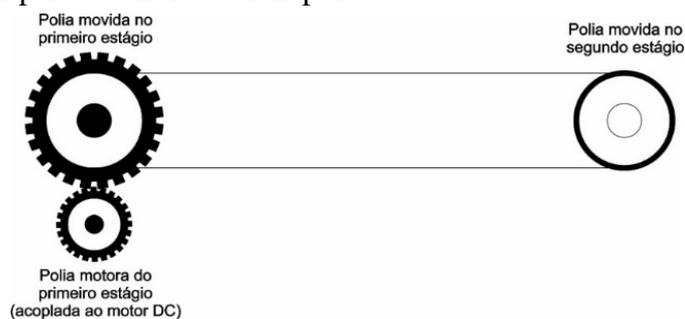


Figura 3 : Relação de polias utilizadas na movimentação de esteira.

2.4 Projeto detalhado: sensores e acionamentos

Na figura 4 o módulo aplicado para controlar o motor. A função do *driver* será controlar a velocidade do motor.



Figura 4: Módulo Power MOSFET IRF520

O programa faz uma leitura constante da porta digital 7, onde está conectado o sinal do sensor. Na ausência de sinal do sensor, o valor 1 é enviado para a porta. Caso algum objeto metálico se aproxime do sensor, é enviado o valor 0.

No *loop* a leitura da porta digital 7 é realizada, caso haja uma alteração para o valor 0, o contador é incrementado, o valor desse contador é enviado para o display e também mostrado no monitor serial.

O circuito apresentado na figura 5 a conexão do sensor de proximidade indutivo com Arduino, com o sensor traz alimentação externa. Observa-se que nesse caso estão interligados o GND do sensor e do Arduino (conexões em azul).

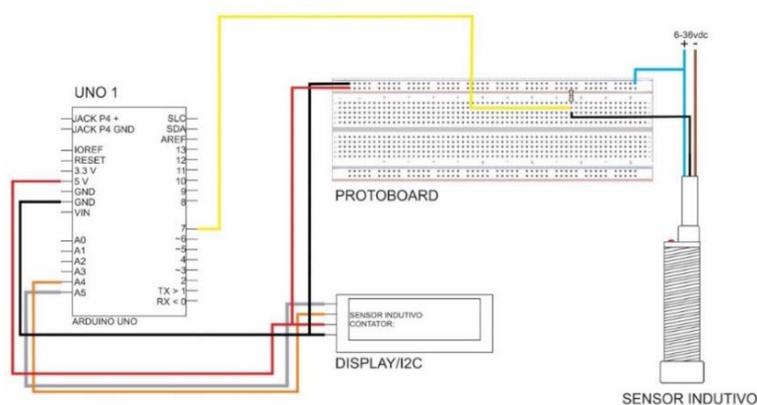


Figura 5: Esquema de ligação do sensor ao módulo I2C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos realizados para a interação entre o sistema de detecção de materiais metálicos podem ser classificados em três etapas, ajuste de velocidade do motor CC, identificação de materiais metálicos através do sensor indutivo e acionamento do servo motor para separação dos materiais.

3.1 Roteiros de experimentos

No roteiro de experimento 1 o objetivo será “Acionamento de motor CC por pwm arduino e *driver mosfet irf520*”, abaixo os materiais utilizados:

- Protótipo de esteira em MDF (seguir manual de montagem segundo a fabricante);
- Motor CC 3-6V 200RPM com Caixa de Redução e Eixo Duplo;
- Kit Arduino avançado;
- Arduino UNO + Cabo USB;
- Driver controlador para motor CC - IRF520;
- Osciloscópio + sonda.

Configuração da bancada:

- 1 Montar a esteira seguindo as instruções;
- 2 Verificar se a fonte de alimentação externa do motor está ligada;
- 3 Ligar a esteira na seguinte ordem;
- 4 Ligar PC;
- 5 Iniciar Arduino IDE.

Utilizando-se de *jumpers* (macho x macho e macho x fêmea) serão feitas as ligações como na figura 6, no led indicador do irf520 já poderá ser visto o sinal do PWM aplicado. Nos conectores indicados encontram-se a alimentação de 9V, positivo na cor vermelha e o GND como preto. Nas cores cinza e preto estão as ligações do módulo ao motor, negativo e positivo respectivamente.

Para o acionamento do motor com o módulo IRF520 é necessário seguir o esquema apresentado na figura 6:

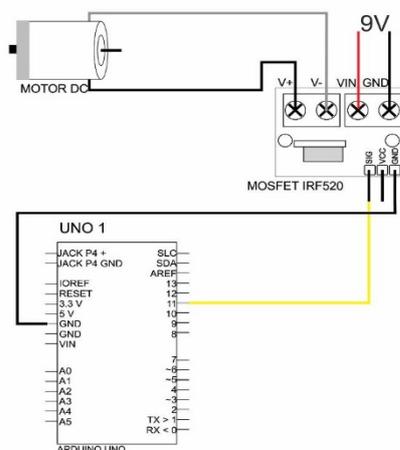


Figura 6: Ligação do motor e módulo irf520.

Utilizando rede petri como apresentado na figura 7, é possível visualizar o comportamento esperado do experimento 1.

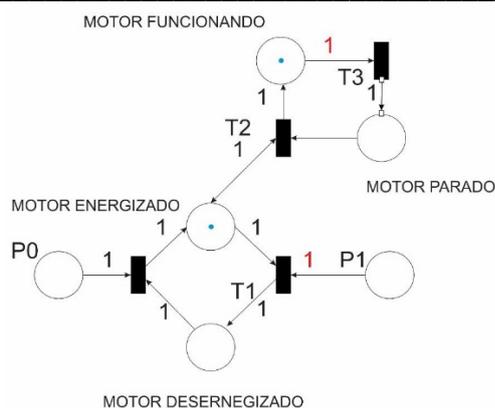


Figura 7: Diagrama de partida em rede petri.

Com o canal 1 do osciloscópio posicionar a ponta de prova no \ do módulo IRF520 é possível observar o sinal em *HIGH*, PWM máximo e reiniciando o Arduino o sinal vai a 0 e incrementa. O PWM aumenta de forma automática no osciloscópio, junto com o PWM, obviamente a velocidade do motor. Ocasionalmente variação na largura de pulso quando alterado sua rotação no código proposto. Depois de ligar a esteira ao motor e *MOSFET*, seu comportamento em cada passo abaixo.

Passo 1: Alterar a rotação do motor no código para 200 rpm. Em seguida, aproximar a ponta de prova ao SIG. Anotar o resultado.

Passo 2: Alterar a rotação do motor no código para 100 rpm. Em seguida, aproximar a ponta de prova ao SIG. Anotar o resultado.

Passo 3: Alterar a rotação do motor no código para 50 rpm. Em seguida, aproximar a ponta de prova ao SIG. Anotar o resultado.

Resultado: pretende-se que o estudante perceba a variação de sinal no osciloscópio de acordo com a programação do PWM e a variação na rotação do motor CC.

No roteiro de experimento 2 o objetivo será a “Detecção de objetos metálicos por sensor indutivo utilizando arduino e display 4x16”, abaixo os materiais utilizados.

- Kit Arduino avançado;
- Arduino UNO + Cabo *usb*;
- *Display* LCD 16x2 com fundo azul;
- Módulo Adaptador I2C (IIC) / Conversor para LCD 16X2;
- Sensor Indutivo 4mm (Distância Sensora 4mm) - LJ12A3 NPN NA;
- Resistor de 1K Ω .

Display LCD 16x2 e módulo I2C para *display*. No pino de sinal do sensor (fio preto), temos um resistor *pull-up* de 1K ligado aos 5V do Arduino. Isso vai manter o sinal de saída em nível alto enquanto não houver nenhum objeto metálico em frente ao sensor. Para o acionamento do sensor é necessário seguir o esquema apresentado a seguir na figura 8:

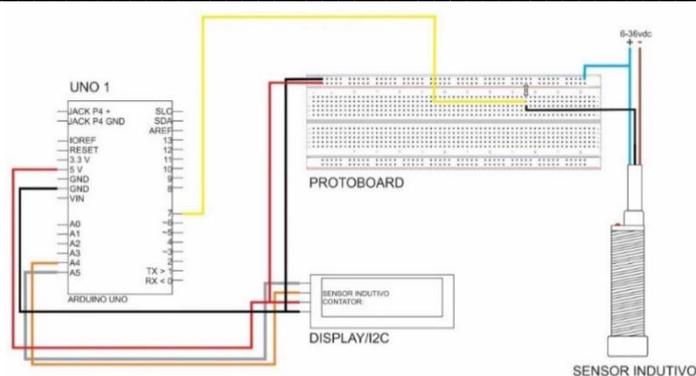


Figura 8: Esquema de ligação sensor indutivo e arduino.

Para Souza (2007, p. 278) Rede Petri é um mecanismo matemático que possibilita um ambiente agradável para a modelagem, análise formal e simulação de Seds, oportunizando uma visualização mútua de sua estrutura e comportamento. Mais restritamente, as Redes de Petri moldam dois aspectos desses sistemas: eventos e condições, bem como as familiaridades entre eles.

Utilizando rede petri como apresentado na figura 9, é possível visualizar o comportamento esperado do experimento1.

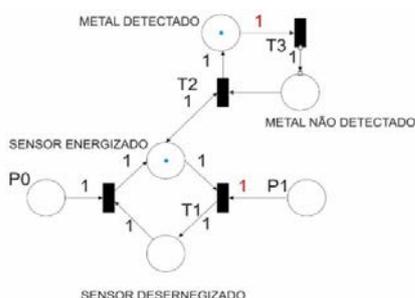


Figura 9: Diagrama de funcionamento do sensor em rede petri.

Com sensor indutivo, um campo magnético variável é gerado na extremidade do corpo do sensor através de um oscilador junto com uma bobina. Quando um material metálico penetra este campo, parte deste campo é absorvido pelo material, assim o circuito de sensoriamento detecta esta alteração mudando o estado da saída do sensor para nível lógico alto ou baixo.

Passo1: Aproximar materiais não metálicos do sensor.

Passo 2: Aproximar materiais metálicos do sensor.

Passo 3: Alterar o jumper que liga ao Arduino para o pino 6 e aproxime uma peça metálica.

Resultado: pretende-se que o estudante perceba a variação no display que incrementa a 1 a cada aproximação de um objeto metálico quando o pino 7 está conectado ao sistema.

No roteiro de experimento 3 o objetivo será, “O Acionamento de servo motor com sensor indutivo”, abaixo os materiais utilizados:

- Kit Arduino avançado;
- Arduino UNO + Cabo usb;
- Sensor Indutivo 4mm (Distância Sensora 4mm) - LJ12A3 NPN NA;
- Resistor de 1KΩ.

Para manter o sinal de saída em nível alto enquanto não houver nenhum objeto metálico em frente ao sensor é necessário que o sinal do sensor esteja ligado aos 5V do arduino, este enviará o sinal ao servo que executará o papel de atuador fazendo a separação dos materiais ao receber o sinal quando objeto metálico for detectado. Para acionamento do servo será necessário seguir o circuito apresentado da figura 10.

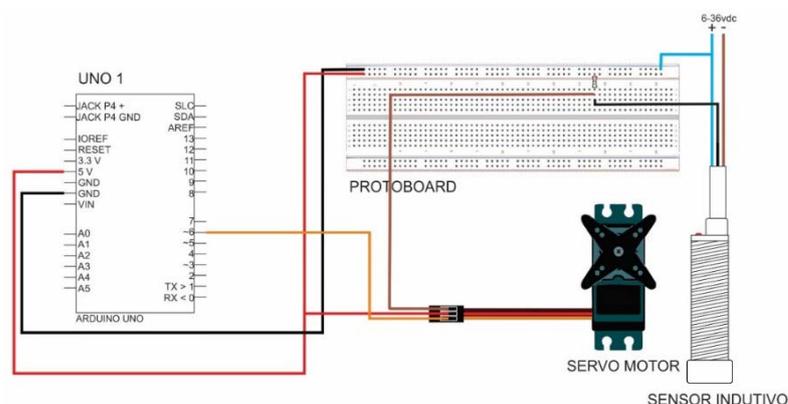


Figura 10: Esquema de ligação do servo motor.

Com sensor indutivo, um campo magnético variável é gerado na extremidade do corpo do sensor através de um oscilador junto com uma bobina. Assim o circuito de sensoriamento detecta esta alteração mudando o estado da saída do sensor para nível lógico alto ou baixo. Logo, aciona o servo motor que fica posicionado na extremidade da esteira provocando a seleção de metálicos e não metálicos.

O fluxograma ilustrado na figura 11 apresenta o funcionamento em etapas do processo completo do sistema, definindo o comportamento esperado do sistema integrado desde o transporte dos objetos até a operação da interface homem-máquina.

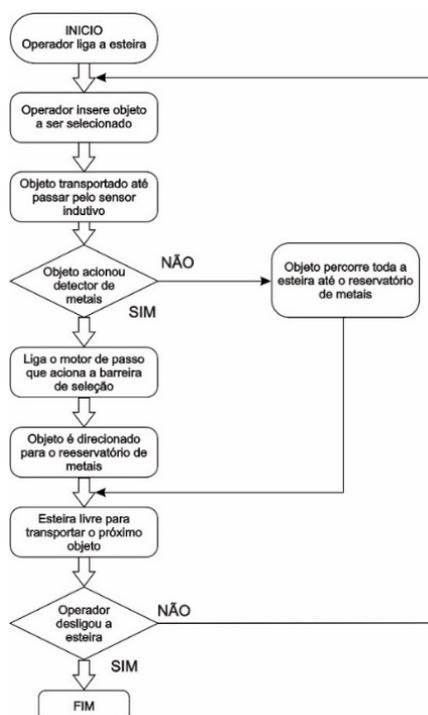


Figura 11: Fluxograma de funcionamento da esteira.

Passo1: Alterar o ângulo no código proposto para 45°.

Passo 2: Aproximar materiais metálicos do sensor.

Passo 3: Executar os experimentos 1, 2 e 3 ao mesmo tempo.

Resultado: Pretende-se que o estudante identifique o ângulo adequado para que a atuação do servo seja viável para a seleção de materiais, junto aos experimentos I e II possa implementar a esteira separadora didática.

3.2 Ajuste de velocidade do motor cc.

Como o motor CC utilizado possui velocidade angular máxima de 200 rpm. Primeiro tentou-se aplicar o giro total de 200rpm diretamente nas polias que movimentam a esteira. Porém, a velocidade mostrou-se elevada. Com velocidade máxima fixada de 100 rpm, foi possível controlar velocidade angular através do módulo IRF520, feita através da linguagem C com Arduino para o módulo IRF520.

A velocidade da esteira é linear, haja vista que o conjunto converte o movimento angular em linear. Onde o raio da polia maior equivale a 2cm, e a velocidade do motor é de 100 rpm e o tempo de rotação da polia é de aproximadamente 1,5 s. Considerando a relação de grandezas lineares e angulares $V = w * R$ foi possível estabelecer a velocidade linear da esteira.

Onde:

$$V = w * R \quad (1)$$

$$V = \frac{2 * \pi * R}{T}$$

$$V = \frac{2 * 3,14 * 2}{1,5}$$

$$V = 8,37 \text{ cm/s ou } 0,30132 \text{ km/h}$$

3.3 Identificação de materiais com sensor indutivo.

Segundo Montgomery (2004, p. 3), para que um Sed possa existir, é necessário que existam ações ocorrendo, e que estas por sua vez gerem eventos. Um sistema só mudará de estado quando ocorrer um evento. Se não ocorrer nenhum evento, o sistema permanecerá no mesmo estado.

O sensor de proximidade indutivo é um sensor que detecta objetos metálicos, gerando um sinal no pino de saída que pode ser lido por um microcontrolador para tomar algum tipo de ação.

Esse tipo de sensor pode assumir qualquer valor de sinal de saída ao longo do tempo desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Essas variáveis são mensuradas por elementos sensíveis com circuitos eletrônicos não digitais. (WENDLING, 2010,p. 4).

O sensor de proximidade utilizado com Arduino Uno é um sensor indutivo NPN de 3 fios, que funciona com tensões entre 6 e 36 volts CC. O sinal de saída se mantém em estado alto (1) enquanto nenhum objeto estiver em frente ao sensor, e cai para nível baixo (0) quando aproximamos um objeto metálico da parte azul. Para que o objeto seja detectado, ele deve estar bem próximo, cerca de 4 a 5mm do sensor.

3.4 Acionamento do servo motor para separação dos materiais.

Os atuadores para que tenham um bom desempenho e realizar as tarefas a que são concedidas devem estar devidamente protegidos para que não aja perda de seus movimentos

deixando os equipamentos internos alinhados sem a interferência de agentes externos. (TAKEUTI; WERNECK, 2015).

Com o acoplamento do servo motor que fará o papel de atuador na extremidade da esteira, foi necessária a integração na porta sinal do sensor indutivo ao servo para que o mesmo executasse a ação quando o objeto metálico fosse detectado.

Um microcontrolador é um sistema microprocessado encapsulado em um único chip, com memórias, *clock* e periféricos mais limitados que um computador. O uso desses circuitos compostos não somente restringe os custos da automação como também proporciona mais plasticidade (LUÍS; GOMES; TAVARES, 2016).

Juntos, os roteiros de experimentos I, II e III foi possível implementar uma esteira separadora didática que separa objetos metálicos de objetos não metálicos utilizando arduino como controlador do processo.

De acordo com a pesquisa de mercado realizada previamente, foi possível fazer as compras em mercado externo para aquisições das seguintes peças da quadro1 que são necessárias para a implementação da esteira.

Material	Preço por unidade	Quantidade Utilizada	Valor total consumido
Esteira Arduino em mdf	138,90	1	138,90
Kit Arduino avançado	268,00	1	268,00
Arduino UNO	58,90	1	58,90
Sensor Indutivo 4mm (Distância Sensor 4mm) - LJ12A3 NPN NA	32,90	1	32,90
Módulo Adaptador I2C (IIC) / Conversor para LCD 16X2 e 20X4	10,50	1	10,50
Driver controlador para motor CC - IRF520	10,50	1	10,50
Frete	141,13	1	141,13
Total em R\$ =			660,83

Quadro 1: Cálculo base para os custos do sistema.

Fonte: Autor, 2019.

4 CONCLUSÕES

No projeto desenvolvido foi abordado uma forma de controle automatizado de esteira seletora por Arduino, onde, desejava-se que a partir do tipo de material selecionado pelo operador a mesma fosse capaz de detectar, realizar a lógica de seleção e com os dados poder separar os materiais.

Após o processo de estrutura foi acoplado com sucesso o sistema de movimento do motor, de contagem de materiais e identificação de metais. No processo de seleção foram encontradas dificuldades para ajuste na programação do sensor indutivo e servo motor, porém foi obtido um resultado satisfatório referente ao processo de seleção e contagem.

No teste da esteira a mesma obteve êxito em seu funcionamento realizando a lógica de programação elaborada no trabalho com sucesso. Assim, a utilização do Arduino é uma aplicação atual na simulação de Sed como os encontrados nas indústrias, sendo capaz de realizar o controle de diversos tipos de processos por meio de programação mais fácil e habitual para quem familiaridade com linguagem C++.

Para representação do comportamento esperado da esteira foi utilizado o modelo em rede petri devido sua possibilidade de análise formal e facilidade de simulação em Sed. Ainda

no teste, o Arduino demonstrou capacidade de atuar como controlador integrado a diversos sistemas, fazendo o uso de suas entradas e saídas para emitir e receber sinais necessários para o início de fim do ciclo de programação de atuação do servo motor e motor CC.

Implementando um equipamento que dará suporte ao ensino de automação a eventos discretos aos discentes do programa ciência e tecnologia, além de ser uma ferramenta que pode ser utilizada em feiras de exposição e para o ensino de técnicas de programação a secundaristas.

AGRADECIMENTOS

Com a participação do projeto no edital 10/2018 de fomento PROTCC da Pró Reitoria de Pesquisa, Pós Graduação e Inovação Tecnológica – PROPPIT da UFOPA, foi possível ser um dos 150 contemplados com o auxílio de R\$ 5.000,00. Este valor foi investido em sua totalidade em “8 Kits” de esteriras que poderão ser utilizados no auxílio de experimentos voltados para a automação, aulas práticas de programação, mecânica, elétrica, eletrônica, entre outras disciplinas. Para mais, atender a critérios para trabalhos destinados a extensão universitária e pessoas interessadas neste seguimento.

REFERÊNCIAS

CALIJORNE, A. **Introdução aos Transportadores de Correia**. 2016. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/introdução-aos-transportadores-de-correia-alexandre-calijorne>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

CLIVE L. DYM, LITTLE P.; Com ELIZABETH J. O. e R. Erik Spujt ;. **tradução João Tortello. Introdução à engenharia: uma abordagem baseada em projeto**. 3. ed. Porto Alegre : Bookman. 2010.

FUENTES, R. C., **Apostila de Automação Industrial**. In: SANTA MARIA. p. 31. 2005.

LUÍS, E.; GOMES, B.; TAVARES, L.A. **Uma solução com Arduino para controlar e monitorar processos industriais**. *Controle & Instrumentação*, v. 185, n. 1, p. 77–9, 2016.

MONTGOMERY, E., **Ciências Exatas: Introdução aos Sistemas a Eventos Discretos e à Teoria de Controle Supervisório**, p. 3, 2004.

SOUSA, J. R. B. et al. **Redes de petri híbridas diferenciais: Aplicação na modelagem e no gerenciamento dinâmico de energia de redes de sensores sem fio**. *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica*, v. 18, n. 3, p. 278–291, 2007.

TAKEUTI, F., WERNECK M. P., **Esteira Seletora de Materiais Recicláveis**. v. 2. Nº 1. 2015.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. Unesp, v. 2, p. 19, 2010.