



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04
de dezembro 2020

Modelo de um Sistema de Produção Integrado com Arduino para Fins Didáticos e de Pesquisa

Letícia Kiatake Creppe

Colégio Técnico Industrial “Prof. Isaac Portal Roldán” – Universidade Estadual Paulista

José de Souza Rodrigues

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Estadual Paulista

Kátia Livia Zambon

Colégio Técnico Industrial “Prof. Isaac Portal Roldán” – Universidade Estadual Paulista

Resumo: Este artigo apresenta um modelo de sistema produtivo, desenvolvido e aprimorado para sua utilização como ferramenta de suporte ao processo de ensino-aprendizagem de atividades acadêmicas do Ensino Médio e do Ensino Superior. Dada sua versatilidade, pode ser empregado também em projetos de pesquisa, já que possui fácil manipulação, grande flexibilidade e interdisciplinaridade. Ao ser desenvolvido com o Sistema Arduino e com materiais ao mesmo tempo funcionais e de baixo custo, o sistema tornou-se passível de ser empregado em diversas atividades de menor custo. O objetivo deste projeto é melhorar protótipo construído e foi desenvolvido com o apoio da metodologia de ensino baseada em projetos PBL (*Project Based Learning*), o modelo proporcionou autonomia ao aluno-desenvolvedor, que pôde adotar uma postura ativa em sua aprendizagem. Ao fim do projeto foi possível colocar em prática conteúdos de diversas áreas do conhecimento e estabelecer um ambiente desafiador e rico em aprendizados, de acordo com os objetivos didáticos de cada nível de ensino.

Palavras-chave: Sistemas Produtivos, Arduino, Aprendizado Baseado em Projetos.

Arduino-Integrated Manufacturing System Model developed for Didactic and Research Purposes

Abstract: This article presents a manufacturing model developed and refined facing its usage as a complementary tool in the learning process of High School and Higher Education academic activities. Given its versatility, it could be also used in research projects, due to its easy handling, great flexibility, and interdisciplinarity. As it was developed with Arduino System and both functional and low-cost materials, the system is likely to be used in various low-cost activities. As it is an actual application of the PBL methodology (*Project Based Learning*), the model provided autonomy for the student developer, who could embrace an active attitude on his own learning. At the end of the project, it was possible to put into practice subjects of different knowledge areas and establish a challenging and rich environment, according to the didactic objectives of each learning category.

Keywords: Manufacturing System Model, Arduino, Project Based Learning.

1. Introdução

A construção do modelo simplificado de uma planta industrial foi iniciada para que fosse possível aprender, na prática, conteúdos de gestão de sistemas de manufatura e processos produtivos. Inicialmente foi feito um piloto, visando a criação do modelo físico da proposta, o qual apresentou diversos problemas, como o tamanho das peças, dificuldade para associar dispositivos eletrônicos na estrutura física do sistema, entre outros. Este presente projeto tem como objetivo produzir outra versão que supere alguns dos problemas detectados no modelo anterior. O trabalho é uma discussão da proposta atual, tendo em vista os desafios superados e os futuros, já que o projeto apresenta potencial para gerar um produto com diversas configurações, que podem enquadrar-se em propósitos didáticos diversos.

O modelo produtivo tem como objetivo a criação de um produto derivado da interligação de disciplinas e conteúdos estudados no ensino técnico, com sua consequente ampliação por meio de projetos desenvolvidos externamente. Dessa forma, há oportunidade, para o aluno, de desempenhar papel ativo em sua própria aprendizagem, tornando-se autônomo de seu conhecimento, assim como objetivam-se as metodologias ativas.

O processo de aprendizagem ainda muito usado em grande parte das escolas e instituições de ensino se dá por meio de aprendizagem passiva, onde o aluno não ocupa uma posição de destaque. As metodologias ativas, ao contrário, visam alterar o formato de participação do aluno no processo de aprendizagem, pois um dos fatores de motivação para aprender é estar no comando da ação. São consideradas adequadas para o desenvolvimento de competências transversais e facilitam o aprendizado de conteúdos. De acordo com Abio (2018), são exemplos de metodologias ativas "(...) *flipped classroom, team-based learning and experiments*" e "(...) *collaborative and cooperative learning, peer instruction, or problem-based learning (PBL)*", conforme Phillipson et al. (2018), sendo possível acrescentar *Team Based Learning (TBL)*, jogos e simuladores. PBL é um acrônimo usado na literatura para se referir tanto a *Problem Based Learning*, como a *Project Based Learning*, sendo esta última a metodologia de interesse deste artigo.

Além de possibilitar a aplicação de metodologias ativas, o projeto representa um apoio ao ensino médio e superior, já que sua estrutura é facilmente manejada por alunos do ensino médio devido à simplicidade dos circuitos e códigos, sendo eficaz também para uso no ensino superior. Assim, torna-se uma contribuição acadêmica passível de uso em diferentes instituições de ensino.

O desenvolvimento do modelo de produção integrado com Arduino tem como orientação o uso de materiais leves, baratos e de fácil montagem e configuração. Estas características dão ao modelo flexibilidade e escalabilidade de uso, pois montar um laboratório com diversos modelos terá um custo acessível para a maioria das instituições de ensino. Além disso, garante acessibilidade, já que o baixo custo facilita a aquisição do produto ou das peças para a sua montagem. Concebido em escala menor do que linhas produtivas padrão de indústrias, seu objetivo é o uso em disciplinas do ensino médio e superior relacionadas à gestão de sistemas de produção.

2. Revisão da Literatura

Nesta seção são apresentados os principais conceitos relacionados a aprendizagem ativa, ao Sistema Arduino e *Project Based Learning* – PBL.

2.1 O Modelo Produtivo Integrado com o Sistema Arduino

Um dos desafios relacionados ao ensino de conteúdos de gestão da produção é a dificuldade de aprender com base em situações reais devido a diversos fatores (MOHD *et al.*, 2018, p. 54):

- a) dificuldade de deslocar fisicamente os alunos para os sistemas de produção;
- b) dificuldade de situá-los nos ambientes operacionais (geralmente há risco físico para alunos e a presença deles atrapalha a rotina do sistema, exigindo energia dos operadores para garantir a segurança de pessoas estranhas àquele ambiente);
- c) recursos financeiros para bancar o traslado;
- d) tempo adicional para os deslocamentos;
- e) riscos oferecidos pelos aprendizes ao sistema de produção, uma vez que as chances de erro aumentam e podem gerar custos.

Apesar das visitas acadêmicas serem configuradas como uma ferramenta complementar à formação do discente fora da sala de aula, contribuindo para a configuração das metodologias ativas de ensino, muitas vezes torna-se inviável sua execução, dados os empecilhos citados.

Desta forma, o desenvolvimento de soluções que emulem sistemas de produção e facilitem o aprendizado dos conteúdos relacionados à gestão de sistemas de produção é importante, seja pela mitigação ou eliminação dos problemas acima apontados, seja pelas facilidades que tal modelo traz para alunos, professores e instituições, além de conferir flexibilidade para configurar o sistema (no caso de empresas reais seria necessário visitar mais de uma empresa para ilustrar diferentes configurações do sistema de produção).

O modelo produtivo que está sendo desenvolvido constitui-se em uma atividade extracurricular, concebido de modo a ser uma ferramenta de apoio ao ensino. Todo o projeto passou por diversas etapas de pesquisa, estudo e obtenção dos materiais, proporcionando aos estudantes maior conhecimento na área, seja em Arduino, na metodologia PBL, nos circuitos elétricos ou mesmo nos diferentes modelos produtivos. O contato com tecnologias como impressora 3D também foi possibilitado pelo projeto.

2.2 Project Based Learning

Traduzido como “Aprendizagem Baseada em Projetos”, o *Project Based Learning* promove a autonomia do aluno com o desenvolvimento de projetos, interdisciplinares ou não, diretamente associados ao aprendizado de conteúdos profissionais e comportamentais. Conforme Sivan *et al.* (2000),

(...) strategies that promote active learning include visual-based instruction, writing in class, problem solving, computer-based instruction, co-operative learning, debates, drama, role playing, simulations, games and peer teaching.

Para Vega e Ortiz (2018) *Project Based Learning* é uma estratégia pedagógica usada para melhorar a aprendizagem dos alunos, que se tornam o centro do processo de aprendizagem. No caso do projeto objeto deste trabalho, a tecnologia se torna aliada para a solução de problemas e execução de ideias. Assim, em si, este trabalho é resultado da aplicação de metodologia ativa de aprendizagem, e tem estimulado os alunos a serem mais autônomos, mais proativos e a trabalharem em times. Pode-se deduzir que os aprendizados de comportamentos e conteúdos ocorrem de forma integrada e segunda uma lógica diferente, ao invés de ensinar conteúdos, professor e aluno aprendem superando os desafios que o projeto apresenta. Como diz Nobre (2006),

O ensino-aprendizagem com base nos referenciais e práticas propostas pela (metodologia) PBL pressupõe a perspectiva de trabalho com indivíduos e grupos, salientando a condição de sujeitos plenos e plurais, utilizando metodologias participativas, e formando o aluno para desempenhar um papel ativo na busca do saber. Dessa forma, o aluno passa a ser visto como fonte de iniciativa, liberdade e compromisso.

Segundo este método, os alunos são apresentados a um problema prático e instigados a procurar soluções para resolvê-lo. Dessa forma, a aprendizagem se dá durante o processo de desenvolver o projeto, e não antes. O papel do professor é de dar suporte aos alunos de tal forma que, ao final de um período, os alunos apresentem a solução do projeto, seja na forma de um produto acabado ou de uma proposição de solução para o desafio apresentado.

A principal vantagem apresentada pela metodologia ativa é a oportunidade de desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, aplicação dos conhecimentos, comunicação e colaboração, além de proporcionar um retorno visível aos alunos: a conclusão de um projeto. Atualmente, tal metodologia é empregada em diversas instituições de ensino e empresas, obtendo resultados satisfatórios e sendo cada vez mais empregada no dia a dia.

2.3 Aplicação de metodologias ativas na educação

Entre as muitas vantagens apresentadas por metodologias ativas, pode-se citar o desenvolvimento de competências cognitivas, pessoais e sociais, proatividade, colaboração, personalização e visão empreendedora. Para Vega & Ortiz (2018) "(...) projects allow students to learn and improve their technical and soft skills because they have to find a solution for the problem". Modelos mais inovadores e disruptivos proporcionam também a possibilidade de o aluno aprender no seu próprio ritmo, o que promove um aprendizado mais eficiente. De acordo com Morán (2015),

Quanto mais aprendamos próximos da vida, melhor. As metodologias ativas são ponto de partida para processos mais avançados de reflexão, de integração cognitiva, de generalização, de reelaboração de novas práticas.

A própria elaboração das diferentes etapas do projeto exige ações como tomada de decisões, planejamento e discussão de soluções, que são fundamentais para o ingresso no mercado de trabalho. O primeiro contato com dispositivos, aplicativos, processos e máquinas também garante uma experiência profissional antecipada. Como pode ser observado, os alunos adquirem conhecimento, habilidades, competências e atitudes enquanto estão ativamente envolvidos no processo de investigação do problema proposto (SIVAN *et al.*, 2000). Nesse sentido, a tecnologia torna-se uma aliada no processo de aprendizagem ativa, já que nos oferece tantos recursos e ferramentas que, além de facilitá-lo, também o agiliza.

2.4 Uso de modelos e simulações na educação

Competências como capacidade para resolver problemas, trabalho em grupo, desenvolvimento de projetos e aplicação de soluções são cada vez mais requisitados. O modelo tradicional de ensino, em que o aluno desempenha um papel passivo, sendo essencialmente um ouvinte, pouco contribui para o desenvolvimento de diversas competências, principalmente as comportamentais.

Para solucionar diversos problemas que dificultam ou impedem que o aprendizado ocorra nos ambientes em que a profissão efetivamente será exercida, usa-se modelos e

simuladores para apoiar a aprendizagem. Sob esta perspectiva, o aluno, então, seria sua própria ferramenta de estudo, dando-lhe maior autonomia. O desenvolvimento de modelos e simuladores entra como característica essencial de metodologias ativas, ao configurar-se como um projeto a ser desenvolvido por um grupo de alunos.

A principal vantagem de usar simulações e modelos é a possibilidade de envolver o aluno com um problema real, sendo este instigado a planejar e desenvolver uma solução que, de fato, resolva o problema estabelecido. Observe que os riscos associados a uma decisão ruim são praticamente eliminados, o que tornam os modelos e simuladores muito interessantes para uso com aprendizes e como elementos introdutórios para estudo um conteúdo ou operar um sistema. Assim, o ensino deixa de ser algo abstrato e passa para uma esfera mais realista, contribuindo para a formação. Além disso, permite que jovens obtenham experiência prática, como diz Francisco (2017),

Outra opção para se realizar experiências práticas sobre a teoria de controle é a criação de um laboratório com plantas industriais compactas de pequeno porte, como descrito em Oliveira et al. (2012). Isso permite aos alunos ingressarem no mercado de trabalho com uma experiência prática, utilizando equipamentos similares aos empregados em plantas industriais.

Segundo Ibrahim *et al*, (2018) o interesse em utilizar elementos robóticos e modelagem interativa é proveniente da possibilidade de uso destes como uma plataforma de aprendizagem e prática. As contínuas mudanças na tecnologia obrigaram produtos, sistemas e serviços a tornarem-se mais interativos com o usuário e mais expressivos da função do produto. Para alcançar tal objetivo, pode-se construir um modelo hipotético em programas de computador ou utilizar métodos de modelagem interativos para a construção de um modelo real e totalmente funcional, que represente a ideia do projeto.

Portanto, o uso de sistemas e modelos, característicos de metodologias ativas como PBL, proporcionam ao discente uma formação mais completa ao abranger diversas áreas do conhecimento e estimular a ampliação de habilidades necessárias ao mercado de trabalho, contribuindo para a formação de profissionais mais preparados.

2.5 Modelos de Produção e a preocupação ambiental

A produção industrial vem aumentando com o passar dos anos, tendo ganhos de escala significativos, os quais demandam sistemas de gestão cada vez mais complexos e pessoas capacitadas a lidar com os desafios decorrentes desta complexidade. Redução de custo, aumento de produtividade e redução de danos ambientais são alguns dos objetivos associados aos sistemas de produção (VELLANI, NAKAO, 2009, p. 16). Nesse sentido, desenvolver linhas de produção com tais características torna-se uma meta. De acordo com Bello (1998),

Sabe-se que a industrialização é responsável por uma grande parcela da poluição ambiental. (...) O reconhecimento de que os impactos ambientais negativos são atribuídos principalmente às atividades econômicas, mostra a urgência de uma nova forma de gestão dos processos produtivos, devendo ir além dos conceitos de qualidade assimilados até agora para incluir também o conceito de qualidade do meio ambiente. O interesse empresarial pela qualidade ambiental talvez não seja tão somente uma preocupação social em si, ou um conformismo com políticas de governo, mas uma questão de sobrevivência no mercado.

Objetiva-se, cada vez mais, o desenvolvimento de sistemas com menor dano ambiental, para que a produção assuma uma diretriz sustentável e ocupe um posicionamento *eco-friendly*. Partindo-se do princípio de que grande parte das indústrias possuem linhas produtivas ou outros equipamentos relacionados ao modelo desenvolvido, torna-se importante implementar características que garantam um menor impacto.

2.6 O Sistema Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica *open-source* (fonte aberta), com *hardware* e ambiente de desenvolvimento próprios (*Integrated Development Environment* – IDE) e utiliza uma linguagem baseada em C/C++. Originalmente, foi criado para uso em projetos de computação por *designers*, mas atualmente é largamente utilizado no desenvolvimento de aplicações e projetos interativos, por seu fácil manuseio e baixo custo (GALADIMA, 2014, p.1).

Seu principal componente é a placa Arduino, que possui pinos de entrada e saída, analógicos e digitais, ligada diretamente ao computador por conexão USB. Usados conjuntamente, outros componentes são responsáveis pela interação com o ambiente, seja recebendo dados (sensores) ou executando ações programadas (atuadores).

O sistema Arduino foi usado para realizar toda a integração física e lógica do modelo. Utilizados para mover mecanismos, separar blocos e coordenar as diversas atividades simultâneas, todos os componentes foram programados e interligados de forma a construir um sistema integrado. Assim, o Arduino está presente tanto na programação quanto na parte eletrônica e mecânica do projeto.

A plataforma Arduino oferece muitas vantagens, como a facilidade do manejo de suas ferramentas, o baixo custo de seus componentes, sua alta performance e qualidade e a imensurável variedade de diferentes componentes que servem à diversas funções. Outro ponto positivo é a possibilidade de o aluno poder fazer uso do material sozinho. Segundo Cavalcante *et al.* (2014),

A placa Arduino, por sua vez, possibilita diversas maneiras de ensino pedagógico, não somente na área de informática, mas também nas áreas de matemática, música, elétrico-eletrônica, robótica (automação) e para as Universidades pode-se citar as áreas de Computação, Engenharia e outras.

(...) A pesquisa mostrou diversas vantagens do Arduino integrado (...) dentre elas: Visualização, plotagem e interpretação de gráficos; realização de cálculos como média, desvio padrão, máximos e mínimos (podendo ser inserido outras equações e/ou funções) em tempo real; maior ganho de tempo.

Habilidades básicas necessárias aos estudantes, como pensamento criativo e crítico, elucidação de problemas e habilidades lógicas, podem ser aprimorados com o uso de aplicações robóticas educativas, como foi comprovado nas pesquisas com alunos de Karaahmetoglu e Korkmaz (2019). Além disso, tais projetos tornam o ambiente de ensino enriquecedor, atrativo e inovador, que estimulam o envolvimento dos estudantes.

Como foi demonstrado no trabalho de Ibrahim *et al.*, (2018) as placas Arduino podem conectar-se a vários tipos de sensores, atuadores e dispositivos, sendo de fácil aprendizagem e adequadas a qualquer modelo de interação. Kits de robótica ou sistemas como o Arduino possibilitam a confecção de modelos da forma mais simples e rápida, devido à riqueza de componentes eletrônicos de controladores e atuadores.

2.7 Exemplos de sistemas semelhantes

Uma linha de produção desenvolvida no Instituto Federal do Rio Grande do Sul assemelha-se ao modelo produtivo em desenvolvimento, pois apresenta um protótipo para a divisão de peças por cores. Além disso, possui uma esteira com separação de peças por cor para seus respectivos depósitos, e processos de retirada das peças consideradas inválidas (PERIN, 2018, p.1).

A identificação da cor da peça e da percepção de movimentos é feita por um Sensor de Obstáculo Infravermelho IR, LEDs nas cores vermelha, verde e azul e um sensor LDR,

todos pertencentes ao Arduino, sistema esse também utilizado na confecção do modelo abordado no presente trabalho. Outro componente Arduino utilizado foi o servo motor, responsável por controlar a barreira de separação das peças inválidas das demais. De acordo com Perin (2018), o objetivo do protótipo também é propiciar aos alunos uma proximidade com o ambiente industrial, que se constitui uma das vantagens já citada de uso de simulações no ensino:

Integrando conhecimentos adquiridos ao longo do curso a ideia do projeto é construir um protótipo do sistema de manufatura em escala reduzida para fins didáticos, de baixo custo, facilitando assim a visualização de todos os componentes e elementos operando em conjunto, sendo possível propiciar aos alunos uma proximidade com o ambiente industrial.

A grande versatilidade de tais modelos produtivos facilita a criação de inúmeros sistemas industriais com diferentes finalidades. Já foram desenvolvidos sistemas baseados em rede de Petri, de manufatura e outros.

3. Materiais e Métodos

Esta pesquisa é aplicada e exploratória, pois, embora tenha claramente definido o objetivo, a construção do modelo proposto envolveu o teste de diversos elementos com o orçamento disponível e, ao término da construção, precisou passar por testes para averiguar se os objetivos educacionais pretendidos foram alcançados. Configura-se, também, como pesquisa-ação, pelo fato de os pesquisadores estarem diretamente envolvidos na construção da solução para o problema enunciado (THIOLLENT, 1986, p.15).

A metodologia pesquisa-ação, ou investigação-ação, utiliza técnicas de pesquisa para formular a melhor forma de agir, almejando a melhoria de algum aspecto prático. "(...) A pesquisa-ação, além da participação, supõe uma forma de ação planejada de caráter social, educacional, técnico ou outro, que nem sempre se encontra em propostas de pesquisa participante" (THIOLLENT, 1986, p.7).

Para Make (2002), "(...) a pesquisa-ação promove a capacitação tecnológica dos participantes, permitindo um crescimento do senso crítico e da capacidade de solucionar problemas". Além de configurar-se como uma técnica colaborativa-participativa, tem como ponto de partida o exame de um problema. No projeto em desenvolvimento relatado, foram identificados problemas em um protótipo desenvolvido anteriormente, sendo este dedicado a uma dificuldade relativa ao aprendizado baseado em situações reais, já que os alunos dificilmente são apresentados a um problema concreto, sem que haja empecilhos como: deslocamento, risco físico e questão financeira.

O desenvolvimento do modelo produtivo foi estruturado segundo a lógica das metodologias ativas, que proporcionaram aos alunos a atuação sobre o sistema e a avaliação dos resultados obtidos. Com ênfase para a metodologia PBL, caracterizada por usar o desenvolvimento de projetos como apoio ao processo ensino-aprendizagem, estimula-se a autonomia do aluno, seu pensamento crítico e o trabalho em equipe. Com o produto final, o aluno deixa de ser espectador e passa a encarregar-se do sistema, e é esta ação que o levará a pensar sobre os conteúdos envolvidos, de forma que possa entender tais resultados e atuar novamente sobre o sistema para encontrar soluções melhores que resolvam os problemas encontrados.

Durante o desenvolvimento do projeto, várias etapas foram necessárias até sua concretização. A análise do modelo foi o primeiro passo: foi feita uma verificação minuciosa a fim de encontrar componentes que estavam falhando ou que não funcionavam adequadamente e listar os problemas apresentados. Em seguida, foi necessária discutir-

se, em equipe, as possíveis soluções apresentadas, visando a melhoria do projeto e elucidação dos problemas.

O terceiro estágio constituiu-se na verificação da viabilidade das propostas, já que nem todas elas eram passíveis de serem aplicadas no projeto em questão. Por fim, após o debate em equipe de cada uma destas, houve a escolha da opção que mais se encaixava nos moldes do modelo.

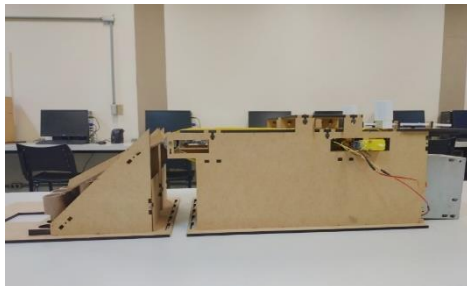
Na parte estrutural foram mantidas partes em MDF (Medium Density Fiberboard), principalmente no corpo da planta, devido à grande disponibilidade no mercado, preço viável e possibilidade de cortes em formatos específicos (pois a instituição dispõe de máquina de corte a laser), além de ser leve e de fácil transporte.

Para os componentes eletrônicos, a opção mais eficaz encontrada foi o Arduino, uma vez que já havia sido estudado em sala pelos alunos, possuía inúmeras funcionalidades diferentes e um preço bastante acessível. Adotado em muitos outros projetos acadêmicos e profissionais, o Arduino hoje é considerado uma das melhores opções disponíveis no mercado. A programação, responsável por interligar todos os componentes do modelo de produção, foi desenvolvida nos próprios moldes do Arduino, que possui IDE própria.

Os produtos do sistema industrial – peças formadas por base e tampa – foram produzidas em impressoras 3D, uma alternativa acessível, em três cores diferentes (verde, branco e preto). Assim, haveria a possibilidade de separação por cor e, também, por função, auxiliando no processo de montar o produto final com tampa e base. Este pode ser pensado tanto como composto de partes da mesma cor, ou com uma combinação de cores diferentes.

As figuras 1 e 2 apresentam uma visão do produto na fase atual, mostrando uma esteira por onde os produtos devem passar, sobre a qual estão posicionados os sensores de cor, que devem direcionar os produtos para os locais adequados.

Figura 1 – Visão lateral do Modelo



Fonte: Autor (2020)

Figura 2 – Visão em perspectiva do Modelo



Fonte: Autor (2020)

4. Resultados e Discussão

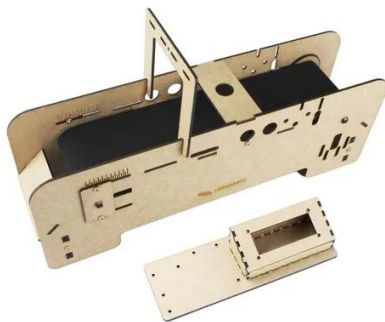
O projeto está em fase de finalização, com partes prontas e funcionais, mas outras necessitam de aperfeiçoamento ou ajustes. Para a construção dos segmentos finalizados, houve grande preocupação quanto aos materiais que viriam a ser utilizados, seu custo e facilidade de manipulação, pois tornava-se inviável o uso de materiais de alto custo ou de difícil manuseio. Durante a verificação de falhas no projeto, foram encontradas problemas com o dimensionamento das peças (ficaram grandes ou pesadas demais com as partes eletroeletrônicas), foram encontrados elementos falhando devido às fragilidades introduzidas pela produção de peças com manufatura aditiva (tendem a ter menor resistência quando há formação de canto vivo), duração de componentes quando submetidos a esforços por longo tempo, além da necessidade de domínio de desenho técnico.

O sistema acabou por ocupar um espaço consideravelmente grande para uma sala de aula ou laboratório. Para adaptar-se a diversos ambiente didáticos, que podem não dispor de tanto espaço, objetiva-se a diminuição do tamanho geral do projeto, para que o transporte do modelo também se torne mais fácil. Para isso, é necessário procurar por opções de componentes menores e reorganizá-los, sendo que o principal elemento a ser substituído é a fonte de tensão do sistema. Ao usar uma menor, pode-se reduzir a altura e tornar as dimensões do produto mais adequadas ao pretendido.

Uma vez que, ao dimensionar partes em MDF, a estrutura da esteira ficou demasiadamente grande, pensou-se em substituir tal parte por uma esteira desenvolvida com Arduino, já pronta. Isto facilitaria a integração do sistema e o trabalho com sensores e outros componentes, além de reduzir significativamente o tamanho total do sistema.

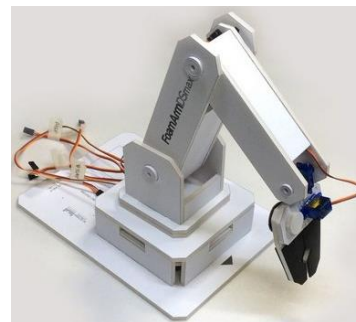
Já para o braço robótico, ao fim da linha de produção, pensou-se em adicionar um protótipo, construído em Arduino. Dessa forma, ao invés de usar um eletroímã, como planejado, seria apenas necessária uma estrutura de pinça. As figuras 3 e 4 demonstram um exemplo de esteira e de braço robótico, respectivamente.

Figura 3 – Exemplo de esteira Arduino



Fonte: Usinainfo (2020)

Figura 4 – Exemplo de braço robótico Arduino



Fonte: Arducore (2020)

As peças impressas, embora possuam um custo adequado de produção, não atendem a precisão exigida para que as tampas e corpos dos produtos possam ser montados ou desmontados com facilidade, característica necessária à montagem do produto do sistema. Tal problema ocorreu devido à resolução da impressora 3D utilizada.

5. Considerações Finais

Embora desafiador, o modelo de produção integrado com o Arduino mostrou-se uma alternativa viável, ainda que apresente desafios técnicos e tecnológicos que podem exigir mais esforço e tempo do que o previsto originalmente.

A metodologia PBL mostrou-se altamente interessante para o desenvolvimento do projeto, seja porque incentivou os alunos a buscarem soluções inovadoras, seja porque uniu o desenvolvimento de competências profissionais específicas do curso de tecnólogo a que estão vinculados, seja porque tem exigido trabalho em equipe, capacidade para minimizar conflitos e consecução de objetivos.

Quanto à proposta analisada, ela se mostra adequado aos objetivos pretendidos, que é a construção de um objeto que apresente, em escala reduzida, um sistema produtivo, no qual os alunos poderão exercitar previsão de vendas, programação da capacidade de produção, cálculo das necessidades de materiais, entre outros conteúdos.

Embora o projeto não envolva a produção das partes, o que seria possível se fosse agregada a ele uma impressora 3D, mas a montagem de partes previamente fabricadas, ele é suficiente robusto e estruturado para oferecer diversas oportunidades de aprendizado,

segundo a metodologia ativa, uma vez que o aluno poderá testar diversas configurações de solução para o problema ser resolvido em relação a sistemas de manufatura.

Integrando ensino médio e graduação, o projeto também se apresentou como uma oportunidade de aprofundamento de conteúdos vistos em sala de aula. Como ainda está em aprimoramento, o sistema ainda passará por mudanças, mas, até agora, obteve resultados satisfatórios. Poderá ser utilizado em atividades acadêmicas do ensino médio e superior, já que se enquadra em muitas das matérias que são estudadas hoje, como uma ferramenta auxiliar ao ensino em instituições.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ pela bolsa concedida, que possibilitou a realização deste trabalho.

Referências

ABIO, G.; STOYANOVA, A. Applying Active Learning Methods in Higher Education. **REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació**, 11(2), 65–69. <http://doi.org/10.1344/reire2018.11.220778>, 2018.

BELLO, C. V. V. **Zeri – Uma proposta para o desenvolvimento sustentável, com enfoque na qualidade ambiental voltada ao setor industrial**. Florianópolis, 127 p., 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo (SP), v.33, n.4, p.4503-1 – 4503-9, 2011.

CAVALCANTE, Michelle M. *et al.* A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – CSBX, XXXIV, **Anais...**, 2014, Brasília. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wei/article/view/10995/10865>. Acesso em 3 jul. 2020.

FRANCISCO, M. S. **Simulador de Processos Industriais aplicado ao Ensino da Teoria de Controle de Processos Industriais**. São Paulo, 116 p., 2017. Dissertação (Pós-Graduação em Automação e Controle de Processos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP.

GALADIMA, A. A. **Arduino as a learning tool**. In: 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation - ICECCO, Abuja, 2014, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ICECCO.2014.6997577.

IBRAHIM, F. G.; RAMOUZI, A. M.; SHEHATA, M. M. Benefit from robotic construction kits in interactive modeling. **Architecture, Arts and Humanistic Science Magazine**, Egypt, v.1, n. 1, p. 508 – 524, 2018, DOI: 10.12816/0046513.

KARAAHMETOGLU, K; KORKMAZ, O. **The effect of project-based Arduino educational robot applications on student's computational thinking skills and their perception of Basic Stem skill levels.** Turkey, v.6, n. 2, p. 1-14, 2019.

MACKE, J., A Pesquisa-Ação como Método de Intervenção nas Organizações: uma Aplicação Prática. In: ANPAD, EnANPAD 2002 - Encontro Nacional da ANPAD, 22 a 25 de setembro de 2002, Salvador, **Anais...**, 2002.

MOHD, T. *et al*; **Aprimoramento do alicativo de visita acadêmica manual para o desenvolvimento de sistema de viagem e-AcademiC.** Malásia, v. 1, n. 1, p. 53-68, 2018.

MORÁN, J. **Mudando a educação com metodologias ativas.** In: SOUZA, C.; MORALES, O. (org.). *Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens.* Ponta Grossa: Foca Foto-PROEX/UEPG, 2015, p. 15-33.

NOBRE, J. C. S. N. *et al*. Aprendizagem Baseada em Projeto (Project Based Learning – PBL) aplicada a *software* embarcado e de tempo real. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, XVII, 2006, Porto Alegre. SBIE 2006, **Anais...**, Porto Alegre: UNB/UCB, 2006.

PERIN, J. Linha de Produção de um Processo de Separação de peças por cores com Sistema de Segurança e Sistema Supervisório. In: Jornada Científica e Tecnológica do IFRS Campus Farroupilha – PeNSE, IV, **Anais...**, 2018, Farroupilha.

PHILLIPSON, A.; RIEL, A.; LEGER, A. B. Between Knowing and Learning: New Instructors' Experiences in Active Learning Classrooms. **The Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning**, 9 (1). Retrieved from https://ir.lib.uwo.ca/cjsotl_rcacea/vol9/iss1/4, 2018.

Robótica Educacional Arducore; Novo Braço Robótico em Spumapaper Faça Você Mesmo para Arduino; Disponível em: <https://www.arducore.com.br/novo-braco-robotico-em-spumapaper-faca-voce-mesmo-para-arduino>. Acesso em 22 set. 2020.

SIVAN, A. *et al*. An Implementation of Active Learning and its Effect on the Quality of Student Learning, **Innovations in Education and Training International**, 37:4, 381-389, DOI: 10.1080/135580000750052991, 2000.

THIOLLENT, M., **Metodologia da pesquisa-ação.** São Paulo: Cortez, Coleção temas básicos de pesquisa-ação. 1986.

UsinaInfo – Eletrônica e Informática; Esteira Arduino em MDF Completa para Projetos EA 100 V2; Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/kit-robotica-educacional/esteira-arduino-em-mdf-completa-para-projetos-ea100-v2-5726.html>. Acesso em 22 set. 2020.

VEGA, C. F., ORTIZ, E. V., Interdisciplinary Projects as Active Learning Method for Strengthening of Technical and Soft Skills of UTEC Students. In: 2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE), **Anais...**, Buenos Aires, 2018, pp. 1-6, DOI: 10.1109/EDUNINE.2018.8450994.

VELLANI, C. L, NAKAO, S. H.; Investimentos Ambientais e Redução de Custos. **Revista de Administração da UNIMEP**, Piracicaba, v. 7, n. 2, p. 1-20, 2009.