

O Uso Pedagógico de um Manipulador Robótico, Utilizando o Reconhecimento de Cores para Separação de Elementos em Uma Esteira

Rafael T. Coutinho¹, Rayann P. A. Azevedo¹, Ícaro B. Q. Araújo², Eliel P. Santos¹,
Ademar G. Costa Junior²

¹Bacharelado do Curso de Engenharia Elétrica – Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
58015-430 – João Pessoa – PB – Brasil

²Laboratório de Instrumentação, Sistemas de Controle e Automação (LINSCA) –
Instituto Federal da Paraíba (IFPB) Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe. 58015-430 –
João Pessoa – PB – Brasil

rafaell_tc@hotmail.com, {rpengenharia, icarobqa, elielg3}@gmail.com,
ademar.costa@ifpb.edu.br

Abstract. *A pedagogical method to increase student interest in engineering courses is the development of prototypes, in which it can unite the theoretical and practical contents of the course, using the Problem-Based Learning (PBL), as teaching methodology. This paper presents the implementation of the methodology in the discipline of Electronic Instrumentation, which involved the development of an automated system for selecting blocks of wood with RGB colors through the use of a CMOS camera, and the selection of these pieces through a robotic arm. At the end of the semester, is an assessment of the methodology adopted, with the perceptions of the students and the teacher.*

Resumo. *Uma forma pedagógica de aumentar o interesse dos alunos de cursos de Engenharia é a elaboração de protótipos, no qual se possam unir os conteúdos teórico e prático da disciplina, usando a Abordagem Baseada em Problemas (ABP), como metodologia de ensino. Este artigo apresenta a implementação da metodologia na disciplina de Instrumentação Eletrônica, no qual envolveu a elaboração de um sistema automatizado para seleção de blocos de madeiras com cores RGB, através do uso de uma câmera CMOS, e a seleção destas peças através de um braço robótico. Ao final do semestre, é realizada uma avaliação da metodologia adotada, apresentando as percepções dos alunos e do professor.*

Palavras-chave: *abordagem baseada em problemas, instrumentação eletrônica, manipulador robótico, protótipo educacional, sistemas de cores RGB*

1. Introdução

Uma forma de aumentar o interesse dos alunos dos cursos da área de Tecnologia é a união entre a teoria de uma disciplina e um problema prático, no qual podem utilizar os conhecimentos adquiridos na disciplina cursada, e sua integração multidisciplinar. Segundo Gomes e Silveira (2007), a educação em Engenharia de Controle e Automação enfrenta desafios na relação ensino-aprendizagem, em demandas sociais, na eliminação

de postos de trabalho, no risco tecnológico e ainda os reflexos dos problemas do ensino médio e fundamental.

Desta forma, a utilização de protótipos em forma de planta piloto ou de sistemas automatizados e/ou robóticos, em proporções reduzidas, é muito útil nos cursos de graduação em Engenharia. Além disso, no ambiente de Automação e Controle, a implantação de algoritmos de sistemas de controle e a realização de testes comparativos entre os diferentes tipos de sensores e atuadores, motivam alunos e professores no ensino e na pesquisa. No ambiente acadêmico, a construção de protótipos educacionais em disciplinas ou em trabalhos de iniciação científica ganha cada vez mais espaço, devido ao custo de aquisição dos protótipos das empresas que os comercializam, além da dependência tecnológica ao ser realizada esta aquisição, não se permitindo muitas vezes, a incorporação de novas tecnologias ou uso de novos algoritmos computacionais para testes comparativos (Gomes e Silveira, 2007; Gomes *et al*, 2011; Maximo *et al*, 2011).

Para fomentar o interesse dos alunos da disciplina de Instrumentação Eletrônica, do curso de Engenharia Elétrica, do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), campus João Pessoa, e como forma de utilização da metodologia de ensino, Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP (Ribeiro, 2005; Fernández-Samacá *et al*, 2012; Freitas, 2012), durante o início do semestre 2011.2 foram propostos projetos em equipe que envolvessem a utilização de sensores e o condicionamento do sinal, além da integração multidisciplinar com a disciplina de Sistemas de Automação Industrial. Assim, o objetivo deste artigo é apresentar a construção de um sistema fabril automatizado de uma forma didática, que objetiva realizar a seleção de elementos a partir de suas cores. Outro objetivo é a avaliação da metodologia ABP, em uma forma inicial, como uma inovação às disciplinas da área tecnológica, apesar de que a metodologia já é empregada há algumas décadas em outras instituições, nas mais diversas áreas do conhecimento. Para a concepção desse sistema, foram utilizados alguns blocos de cores diferentes que passam por uma esteira, no qual uma câmera detecta o objeto analisado e sua cor. A partir dessas informações, um manipulador robótico os transporta para recipientes separados por cor.

Este artigo está dividido deste modo. Na Seção é apresentada a ABP e sua aplicabilidade na disciplina de Instrumentação Eletrônica do curso de Engenharia Elétrica do IFPB. Na Seção 3 são apresentados alguns dos principais conceitos utilizados no projeto elaborado por um dos grupos de alunos. Na Seção 4 é apresentada a descrição do sistema implementado. Na Seção 5 apresentam-se as discussões sobre a ABP avaliada sobre ótica dos alunos e do professor e na Seção t, as considerações finais deste trabalho.

2. Aprendizagem Baseada em Problemas Aplicada na Disciplina de Instrumentação Eletrônica

A metodologia pedagógica denominada de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) surgiu no Canadá na década de 60 do século passado, sugerida e implantada pela Universidade de MacMaster, e sendo adotada posteriormente por diversas universidades no mundo. No Brasil, diversos trabalhos vêm sendo publicados, decorrentes de sua implantação em diversos cursos de nível superior e de pós-graduação.

Na abordagem ABP, os papéis dos alunos e docentes em sala de aula, diferem da abordagem convencional, esta centrada no professor (Ribeiro, 2005). Segundo Woods *apud* Ribeiro (2005), assumir responsabilidade pela própria aprendizagem em uma abordagem PBL significa que os alunos cumpram as seguintes tarefas:

- Exploração do problema, levantamento de hipóteses, identificação de questões de aprendizagem e elaboração das mesmas;
- Tentativa de solução do problema com o que sabem, observando a pertinência de seu conhecimento atual;
- Identificação do que não sabem e do que precisam saber para solucionar o problema;
- Planejamento e delegação de responsabilidades para o estudo autônomo da equipe;
- Aplicação do conhecimento na solução do problema;
- Avaliação do novo conhecimento, da solução do problema e da eficácia do processo utilizado e reflexão sobre o processo.

A abordagem adotada é que o aluno construa o seu próprio conhecimento a partir do desenvolvimento de um problema proposto ou sugerido pelo mesmo. Este problema é estudado em uma forma de um projeto prático, no qual, é desenvolvido em função dos conteúdos da disciplina, buscando a interdisciplinaridade, e desta forma, fazendo com que o problema seja compreendido, fundamentado e analisado, como, por exemplo, é realizado através de uma metodologia de gerenciamento de projetos.

No IFPB, em específico, na disciplina de Instrumentação Eletrônica do curso de Engenharia Elétrica, esta metodologia está sendo introduzida e testada pelo professor da disciplina. A proposta utilizada é baseada na informação de que o engenheiro moderno não precisa do conhecimento memorizado, “decorado” e acumulado, mas sim, do conhecimento necessário para a resolução de problemas baseado na construção do conhecimento.

Desta forma, foi adotada como elemento fundamental, a proposta elaborada por Hadgraft e Prpic *apud* Ribeiro (2005), no formato 4-2-3-1-3, de acordo com a Tabela 1. Este formato adotado auxiliará o professor na identificação de qual abordagem será mais bem adotada na disciplina de Instrumentação Eletrônica, que o guiará para a adoção e aplicabilidade do formato PBL ideal (4-4-4-4-4).

3. Metodologia do Projeto Utilizado

Nesta seção, serão abordados em uma forma resumida, os principais conceitos utilizados no projeto abordado neste artigo, e que foram elaborados pelos alunos da disciplina.

3.1. Sensor de Cor

Segundo Costa e colegas (2007), em geral, a informação visual utilizada refere-se ao ambiente em que o robô se situa e ao objeto da tarefa visual propriamente dita. Esta informação é obtida a partir de imagens capturadas por uma ou mais câmeras, que podem estar fixas no ambiente ou embarcadas no robô.

O sensor utilizado neste projeto consiste em um dispositivo de captura de imagem, em específico, uma câmera CMOS que se comunica com o computador através da porta USB. A luz refletida pelo objeto é incidida no chip de captura de imagem da câmera, cujos pixels são formados basicamente por duas camadas que são: o filtro RGB e o circuito CMOS com os fotodiodos. Dependendo da intensidade luminosa incidida em cada fotodiodo, haverá uma variação na corrente reversa do mesmo, no qual deste modo é realizada a medição da intensidade referente a cada cor que compõe o pixel (Lukac, 2009; Solomon, 2010; Fraden, 2010).

Tabela 1 – Elementos fundamentais da PBL (Fonte: Hadgraft e Prpic apud Ribeiro, 2005).

Passo	Problema	Integração	Trabalho em Equipe	Solução de Problemas	Aprendizagem Autônoma
1	Vários problemas por semana.	Nenhuma ou pouca integração de conceitos. Uma única ou ideia.	Trabalho individual.	Nenhum método formal de problemas. Alunos concentram-se em como solucionar cada novo tipo de problema.	Professor fornece todo o conteúdo via aula, observações, páginas da Internet, tutoriais, referências a livros e periódicos. Alunos concentram-se em aprender o que lhes foi dado.
2	Um problema por semana.	Alguma integração de conceitos	Alunos trabalham juntos em sala de aula (informalmente), mas produzem trabalhos individuais.	Método formal de solução de problemas, que é aplicado nas aulas.	Professor fornece grande parte do conteúdo, mas espera que os alunos investiguem alguns detalhes e/ou dados por si próprios.
3	Mais de um problema por semestre, cada um com duração de algumas semanas.	Integração significativa de conceitos e habilidades na solução do problema.	Trabalho em equipe, menos informal que a categoria anterior. Relatório em conjunto, porém sem avaliação dos pares.	Método formal de solução de problemas, o qual é orientado por tutores em aulas tutoriais.	Professor fornece um livro-texto como base para sua disciplina, mas espera que os alunos utilizem esta e outras fontes, a seu critério.
4	Um problema por semestre.	Grande integração, talvez incluindo mais de uma área de conhecimento.	Trabalho em equipe formal, encontros externos entre as equipes, avaliação por pares, relatórios e apresentação de resultados em conjunto.	Método formal de solução (e aprendizagem) de problemas. Alunos aplicam este método, sozinhos a cada novo problema.	Professor fornece pouco ou nenhum material (talvez algumas referências). Alunos utilizam a biblioteca, a Internet e especialistas para chegarem à compreensão do problema.

3.2. Sistema de Cores RGB

A cor existe devido a três entidades: a luz, o objeto visualizado e o observador. Já foi comprovado que a luz branca é composta por comprimentos de onda vermelho, verde e azul de maneira que, o olho humano capta as cores como sendo vários comprimentos de onda equivalentes ao vermelho, ao verde e ao azul, que são absorvidos ou refletidos pelos objetos. (Lukac, 2009).

Um dos sistemas de cores utilizado em câmera e vídeos é o RGB (*Red-Green-Blue*). O RGB é um sistema no qual para cada cor é definida uma quantidade de vermelho (*Red*), outra de verde (*Green*) e outra de azul (*Blue*) para compor a cor em questão. Por conveniência, a maioria dos arquivos digitais atuais utiliza números inteiros entre 0 e 255 para especificar estas quantidades. O número 0 indica ausência de intensidade e o número 255 indica intensidade máxima (Jack, 2007).

Neste contexto, cada cor no sistema RGB é representada em um sistema de coordenada cartesiana, em uma forma tridimensional. Os três componentes RGB precisam ser iguais em largura de faixa para gerar qualquer cor dentro do cubo de cor RGB, com representação de números inteiros ($0 \leq R \leq 255$, $0 \leq G \leq 255$ e $0 \leq B \leq 255$) (Jack, 2007).

O propósito principal do sistema RGB é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos como monitores de TV e computador, *datashow*, *scanners* e câmeras digitais (Jack, 2007; Lukac, 2009).

3.3. Manipulador Robótico

Segundo Hsu e Lizarralde (2007), a norma ISO10218 define um manipulador industrial como sendo “*uma máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial*”.

Um robô consiste em um braço mecânico, que executa movimentos no espaço, transferindo objetos e ferramentas de um ponto para o outro, instruído pelo controlador e informado sobre o ambiente por sensores. Na extremidade do braço, existe um atuador usado na execução de suas tarefas (Rosario, 2005).

Segundo Rosario (2005), o braço manipulador de um robô é capaz de se mover por várias posições devido a existência de juntas, no qual o número de juntas determina os graus de liberdade do robô.

Um maior detalhamento sobre os conceitos de manipuladores robóticos, enfoques e aplicações pode ser consultados em (Paul, 1981; Spong *et al*, 1993; Spong *et al*, 2006; Lewis *et al*, 2004; Siciliano e Khatib, 2008).

4. Descrição do Sistema

O sistema descrito neste artigo foi implementado, na forma de um projeto da disciplina de Instrumentação Eletrônica, usando a metodologia de ensino, Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Neste sistema, a equipe realizou o planejamento do protótipo, incluindo a perspectiva do projeto, tendo como atividades principais, a construção física do ambiente a ser controlado e o algoritmo básico para detecção e controle.

O projeto foi elaborado a partir da utilização de:

- Uma esteira transportadora de objetos, elaborada por alunos dos cursos técnicos do IFPB campus João Pessoa;
- Uma câmera CMOS (*webcam*) que faz a aquisição da imagem para que braço robótico faça a seleção dos blocos de madeira;
- Um braço robótico Lynxmotion, modelo AL5D.

Para que fosse possível o acionamento do braço robótico a partir do computador, foi utilizado um dispositivo de aquisição de dados, conectado ao computador pela USB. A placa de aquisição de dados utilizada nesse projeto é a NI USB-6008 da Nacional Instruments[®], disponível no IFPB. Esta placa possui, em linhas gerais: oito entradas analógicas (12 bits, 10 kS/s); duas saídas analógicas (12 bit, 150 S/s); 12 portas entrada/saída digital; um contador de 32 bits.

Para um melhor detalhamento, o sistema foi dividido em dois subsistemas: o subsistema de visão e o subsistema de atuação.

4.1. Subsistema de Visão

Este subsistema é dividido em três partes: pré-processamento da imagem, segmentação e reconhecimento das imagens. Na parte de pré-processamento da imagem, tem-se a captura da imagem do bloco por uma câmera CMOS que está fixada na esteira transportadora. A imagem capturada é separada em três matrizes de intensidade que representam as camadas do RGB. A lógica utilizada é implementada através deste pseudocódigo abaixo:

- *SE (intensidade da primeira cor RGB > intensidade da segunda cor RGB) e (intensidade da primeira cor RGB > intensidade da terceira cor RGB);*
- *ENTÃO (intensidade da primeira cor RGB).*

No exemplo da Figura 1, é utilizada a identificação de um bloco da cor verde, no qual existe uma quantidade de pixels maior na camada verde (*Green*) do que nas demais.

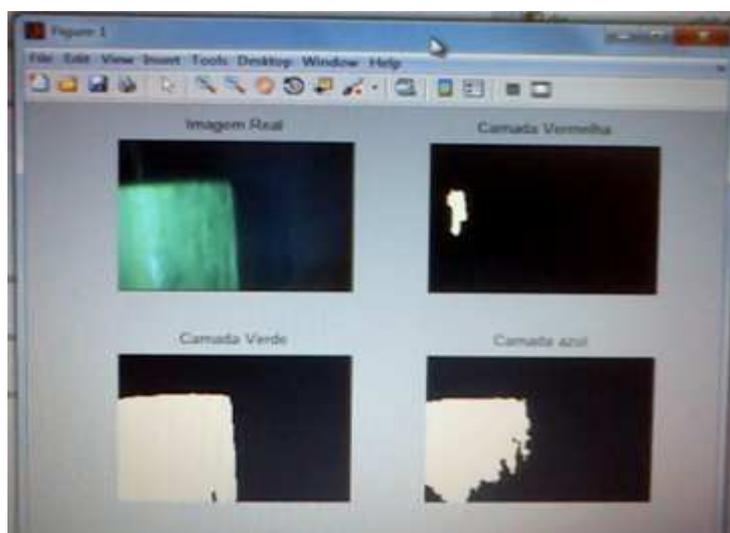


Figura 1 – Identificação de cor utilizando como exemplo um bloco verde.

4.2. Subsistema de Atuação

Após a identificação da cor do objeto, o computador transmite dados para a placa de aquisição de dados que por sua vez, faz o tratamento dos dados recebidos, enviando um sinal para o braço robótico de 4 graus de liberdade (GDL) que faz a seleção dos objetos de acordo com cor detectada. Retornando ao exemplo da Figura 1, neste caso, o braço robótico pega a peça da cor verde, para o recipiente programado para receber a peça desta cor. Neste projeto não houve a implementação de um controlador do tipo PID, ou o uso de controle avançado ou inteligente para o posicionamento do braço robótico, no plano cartesiano.

A Figura 2 apresenta uma foto do sistema elaborado, com a esteira, uma *webcam* (câmera CMOS), o braço robótico e um computador.

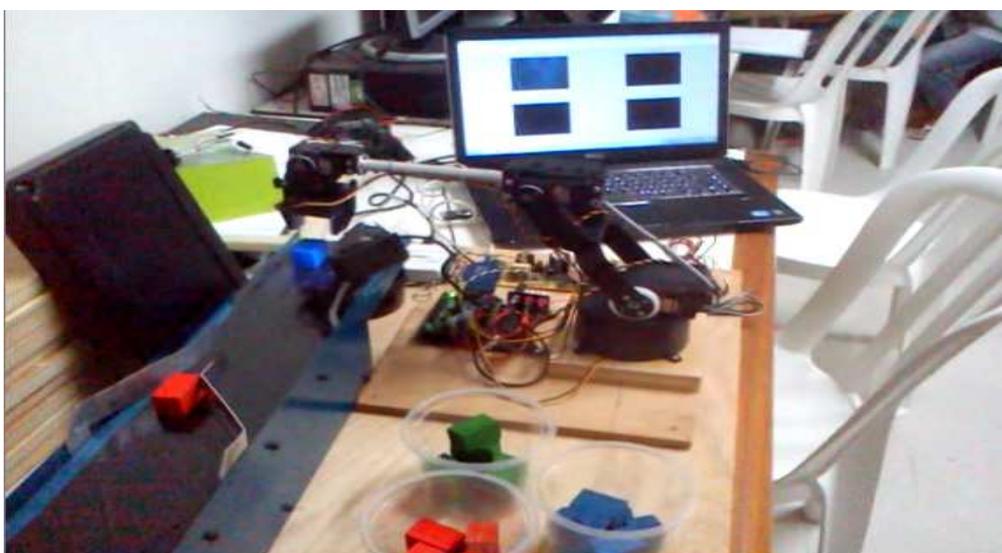


Figura 2 – Fotografia do sistema elaborado para a separação de objetos por cor através do manipulador robótico.

5. Avaliação pelos Alunos da Metodologia ABP

Para que o método fosse testado e avaliado pelos alunos, adotaram-se os questionários do anexo IV (avaliação de desempenho) e do anexo VI (questionário final da avaliação da disciplina) da tese de Doutorado de Ribeiro (2005), em uma forma parcial. A avaliação presente nesta seção refere-se ao grupo de alunos que elaboraram o projeto descrito neste artigo.

O formato parcial adotado para a disciplina foi a combinação das aulas expositivas com a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). A disciplina é constituída de quatro aulas semanais de 50 minutos, durante 15 semanas, no qual no início do semestre os alunos foram divididos, de uma forma espontânea, em grupos com no máximo quatro alunos. Na segunda semana de aula, foram propostos alguns temas para a elaboração de um projeto prático ao longo do semestre, como por exemplo, o projeto apresentado na Seção 4 deste artigo. Ao final do semestre, como uma das formas de avaliação da disciplina, os grupos de alunos são submetidos a uma apresentação oral do projeto e do protótipo proposto, além de uma avaliação do relatório do projeto.

De um modo geral, boa parte dos alunos avaliou de uma forma positiva a metodologia ABP, como os relatos a seguir:

- *“A disciplina ajudou a trabalhar o senso de procurar soluções, mesmo que estas não tenham sido apresentadas durante as aulas expositivas”;*
- *“É um bom método de aprendizado, pois permite que o aluno busque, pesquise e encontre as soluções para os problemas. A vantagem é que o aluno não recebe o material 100% pronto, sendo incentivado a pesquisar para aprender mais sobre o conteúdo”.*

A adoção da metodologia ABP, deixa implícito que há um estímulo a proatividade e na busca de ações inovadoras:

- *“Acredito que as principais dificuldades encontradas pelo grupo consistiram na baixa qualidade de alguns equipamentos e a falta de conhecimento de alguns assuntos específicos que nos deparamos no decorrer do desenvolvimento do trabalho. E para isso buscamos novas referências bibliográficas, implantamos filtros digitais, além de realizarmos algumas adaptações para o desenvolvimento do protótipo”;*
- *“A partir de um determinado problema encontrado ou situação proposta, partimos para saber quais variáveis estavam englobadas. Pesquisamos e analisamos como os parâmetros se comportavam. Cada pessoa dava uma opinião para o desenvolvimento do trabalho, em certas ocasiões uns contribuíram mais que outros, mas o projeto foi se estruturando tanto no sentido da programação, quanto na parte da robótica”.*

Foram apontadas pelos alunos, algumas desvantagens do uso da metodologia ABP, segundo relatos transcritos abaixo:

- *“A maior dificuldade foi a de aprender sobre um assunto novo em um curto espaço de tempo”.*
- *“Tivemos que ter mais tempo para a disciplina, apesar do método ser bom. O problema que ocorre que temos outras disciplinas em paralelo, o que aumenta a carga de trabalho”.*

Sob a ótica do professor da disciplina, alguns pontos que complementam as informações enviadas e comentadas pelos alunos e devem ser destacados:

- Existe um desenvolvimento de habilidades e atitudes profissionais, características estas para um bom profissional;
- Na aplicação do ABP, há um incentivo para a criatividade e a inovação;
- Há uma interdisciplinaridade com a disciplina de Gestão de Projetos, oferecida na grade curricular do curso de Engenharia Elétrica do IFPB, fazendo com que utilizem os conceitos desta disciplina, quando se utilizam da definição do problema, o planejamento, a avaliação e a apresentação do projeto. Aquisição de conhecimento de forma mais significativa e duradoura;
- Há um desenvolvimento de habilidades de comunicação, tão pertinentes ao exercício da profissão de engenheiro, já que há discussões com o grupo, e uma exposição ao docente e aos demais, quando é feita a apresentação do projeto aos demais alunos da disciplina.

Ainda deve ser destacado que a implantação da metodologia ABP faz com que o docente se atualize constantemente para uma orientação adequada, porém existe o aumento de complexidade da avaliação do projeto e uma mudança de postura que deve ser implementada, saindo da metodologia de ensino convencional (o docente que “sabe tudo”) para a metodologia ABP (o docente tem o papel de facilitador, orientado e co-aprendiz).

6. Considerações Finais e Futuros Trabalhos

A metodologia de ensino ABP empregada ajuda na formação de um engenheiro preparado para os problemas encontrados no século XXI, saindo da formação antiga, mais ainda usual, de que o professor é o centro da formação, e não o aluno. Não é consideração dos autores de que deva ser adotada para todas as disciplinas, devendo cada caso ser avaliado para a adoção. De qualquer modo, os primeiros resultados motivaram o grupo para que a metodologia ABP seja adotada, aprimorada e difundida dentro do IFPB.

Ainda em relação à metodologia ABP, mais estudos e aprofundamentos sobre o tema estão sendo realizados, como por exemplo, uma avaliação estendida ao final do semestre para todos os alunos e a realização de *workshop* sobre a metodologia à comunidade acadêmica do IFPB, para que seja divulgada em uma forma ampla.

Com relação à parte prática do trabalho proposto neste artigo, apesar do aspecto puramente didático-pedagógico do trabalho apresentado, estão sendo realizados aprimoramentos para aprofundar o tema de visão computacional, no âmbito do IFPB, através de trabalhos de iniciação científica e monografias de final de curso, fazendo com que o grupo de pesquisa LINSICA avance em pesquisas na área. Também, atingiu-se o objetivo da disciplina de Instrumentação Eletrônica, do curso de Engenharia Elétrica do IFPB, que era o desenvolvimento de um protótipo funcional, na forma de utilização da metodologia de ensino ABP (Aprendizagem Baseada em Problema), além da integração multidisciplinar com a disciplina de Sistemas de Automação Industrial, também do mesmo curso.

Como trabalhos futuros, serão implementados algoritmos de controle PID e controle inteligente (lógica *fuzzy* e redes neurais) para o posicionamento do braço robótico, além do estudo e implantação de algoritmos robustos para a identificação de peças.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos revisores do artigo por suas contribuições ao aprimoramento do mesmo, e pelas sugestões que serão incorporadas aos próximos trabalhos.

7. Referências Bibliográficas

- Costa, A. H. R. *et al* (2007). Visão Robótica. In: Enciclopédia de Automática: Controle & Automação – Vol. 3. São Paulo, Blucher.
- Fernández-Samacá, L. *et al* (2012), Project-based Learning Approach for Control System Courses. Revista Controle & Automação, v.23, n. 01, p. 94-107, jan./fev.

- Fraden, J. (2010), Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs, and Applications. New York, Springer.
- Freitas, R. A. M. M (2012), Ensino por problemas: uma abordagem para o desenvolvimento do aluno. Revista Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 38, n. 02, p. 403-418, abr./jun.
- Gomes, F. J. et al (2011), Módulo Laboratorial de Baixo Custo, Baseado em FOSS, para Educação em Engenharia de Controle de Processos Industriais. Anais: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Cobenge. Blumenau, FURB.
- Gomes, F. J. and Silveira, M. A. (2007), Experiências Pedagógicas. In: Enciclopédia de Automática: Controle & Automação – Vol. 1. São Paulo: Blucher.
- Hsu, L. and Lizarralde, F. (2007), Robôs Manipuladores. In: Enciclopédia de Automática: Controle & Automação – Vol. 3. São Paulo, Blucher.
- Jack, K (2007), Video Demystified – A Handbook for the Digital Engineer. Burlington, United States, Elsevier/Newnes.
- Lewis, F. L. *et al* (2004), Robot Manipulator Control – Theory and Practice. New York, Marcel Dekker.
- Lukac, R. (2009), Single-Sensor Imaging Methods and Applications for Digital Cameras. Boca Raton, United States, CRC Press.
- Máximo, P. H. M. et al (2011), Desenvolvimento de um Kit Didático para Utilização em Aulas de Laboratório de Controle e Automação. Anais: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Cobenge. Blumenau, FURB.
- Paul, R. P. (1981), Robot Manipulators – Mathematics, Programming, and Control. MIT Press.
- Ribeiro, L. R. C. (2005), Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL): Uma Implementação na Educação em Engenharia na Voz dos Atores. Tese (Doutorado em Educação) – São Carlos – SP, Universidade Federal de São Carlos.
- Rosario, J. M. (2005), Princípios de Mecatrônica. São Paulo, Pearson/Prentice Hall.
- Siciliano, B. and Khatib, O (2008), Handbook of Robotics. Berlin, Germany, Springer.
- Solomon, S. (2010), Sensors Handbook. New York, McGraw-Hill.
- Spong, M. W. *et al* (1993). Robot Control – Dynamic, Motion Planning and Analysis. IEEE Press.
- Spong, M. W. *et al* (2006), Robot Modeling and Control. Hoboken, United States, Wiley.