

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS APLICADA A DISCIPLINAS VOLTADAS PARA ÁREA DE SISTEMAS EMBARCADOS

Marcelo A. C. Fernandes – mfernandes@dca.ufrn.br
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Departamento de Engenharia de Computação e Automação - DCA
59078-970 – Natal – RN

Resumo: *Este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de aprendizagem baseada em projetos (Project Based Learning – PRBL) aplicada a componentes curriculares (disciplinas) voltados para área de Sistemas Embarcados. A proposta engloba projetos associados a área de controle e automação, no qual o aluno desenvolve soluções em sistemas embarcados com microcontroladores. Os projetos visam o desenvolvimento de sistemas de controle em malha fechada, para vários tipos de sistemas dinâmicos. A proposta foi aplicada durante quatro semestres (2012.1, 2012.2, 2013.1 e 2013.2) na disciplina de Sistemas Digitais do curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Resultados obtidos por pesquisas de opinião com os alunos durante os quatro semestres são apresentados objetivando a validação da proposta de PRBL. Todos detalhes associados a implementação da proposta também são apresentados visando ajudar outros docentes no ensino de componentes curriculares semelhantes.*

Palavras-chave: *Aprendizagem Baseada em Projetos, PRBL, Controle em Malha Fechada, Microcontroladores.*

1. INTRODUÇÃO

Soluções em Sistemas Embarcados (SE) estão se tornando fundamentais em diversos setores da indústria, gerando uma demanda crescente de engenheiros e técnicos para os próximos anos. Atualmente, novos cursos de pós-graduação estão sendo criados e os cursos de graduação já existentes atualizam seus componentes curriculares para cumprir as competências associadas à área de SE. Muitos dos componentes curriculares que integram a área de SE podem ser vistos como interdisciplinares e integradores, pois na prática os SE estão associados a soluções em várias áreas como automação, robótica, telecomunicações e outras (BALID *et al.*, 2012). Assim, técnicas tradicionais de aprendizagem não são apropriadas para estes tipos de componentes curriculares (LEE *et al.*, 2008) (MASKELL & GRABAU, 1998).

A metodologia de aprendizagem baseada em projetos (PRBL – Project based learning) incorpora, através de práticas, um conjunto de conceitos fundamentais que os alunos devem aprender, compreender e aplicar, para finalizar um dado projeto (BALID *et al.*, 2012) (LEE *et al.*, 2008) (MASKELL & GRABAU, 1998) (MASSON *et al.*, 2012). A metodologia de PRBL ajuda aos estudantes visualizarem os conceitos, coletar e interpretar dados, e ligar a teoria com o mundo real. Este conjunto de competências, associada a um projeto real, incentiva os alunos a aprender a aprender. Vários cursos de engenharia já incorporam a PRBL em seus currículos

utilizando uma variedade de implementações. Um ponto comum em todas as implementações do PRBL é a integração de um ou mais componentes curriculares no desenvolvimento dos projetos, o que já ocorre naturalmente na área de SE (BALID et al., 2012) (LEE et al., 2008) (MASKELL & GRABAU, 1998) (MASSON et al., 2012) (UGURLU & NAGANO, 2011).

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de PRBL aplicada a componentes curriculares voltados para área de SE. A proposta é baseada em problemas relacionados a área de automação no qual, os estudantes precisam desenvolver algoritmos de controle, do tipo PID (Proporcional-Integral-Derivativo), em sistemas embarcados para o controle em malha fechada de diversos tipos de plantas dinâmicas (OGATA, 2011). A implementação de algoritmos de controle, do tipo PID, em sistemas embarcados para microcontroladores (MCU's) tem motivado um grande número de engenheiros e pesquisadores devido ao baixo custo e baixo consumo de energia deste tipo hardware, viabilizando a utilização destas técnicas em uma faixa grande de aplicações que vão desde equipamentos de consumo as aplicações industriais (HAI-FENG et al., 2011) (HERNANDEZ-PEREZ et al., 2013).

Além de todos os conceitos associados à área de sistema embarcados, o aluno é estimulado a desenvolver o projeto utilizando várias ferramentas e técnicas já estudadas em outras disciplinas relacionadas, enfatizando a interdisciplinaridade no projeto. As disciplinas de sistemas lineares, modelagem, controle, processamento digital de sinais, comunicação de dados e desenvolvimento de software são algumas das disciplinas que integram o projeto.

Todos os detalhes associados a proposta e resultados obtidos a partir de pesquisa de opinião durante quatro semestres (2012.1, 2012.2, 2013.1 e 2013.2) de aplicação no componente curricular Sistemas Digitais (SD) são apresentados neste artigo. Os resultados da pesquisa apontam que a estratégia de PRBL foi bem sucedida e indicando alguns pontos importantes que podem ser melhorados em outras implementações.

O trabalho foi dividido da seguinte forma, na Seção 2 são apresentados os detalhes do componente curricular alvo da proposta. A Seção 3 apresenta uma descrição do projeto associados a proposta de PRBL. Na Seção 4 é feita uma descrição detalhada da metodologia de aplicação da proposta. A Seção 5 apresenta os resultados obtidos da pesquisa de opinião e mostra os projetos desenvolvidos durante os semestres pesquisados. Finalmente, a Seção 6 descreve as conclusões associadas ao trabalho.

2. DETALHES DO COMPONENTE CURRICULAR

O componente curricular Sistemas Digitais (SD) é uma disciplina obrigatória do curso de Engenharia da Computação e é aplicada semestralmente com uma carga horária de 60 horas (4 créditos). O programa atual apresenta os conceitos de SD em plataformas de hardware programável, utilizando MCU's.

A Tabela 1, descreve os tópicos de aula associados a cada unidade que é implementada em um período de aproximadamente seis semanas. Os tópicos alinham-se com os programas apresentados em (BALID et al., 2012) (CHENARD et al., 2008) e (LEE et al., 2008) e baseado neles o componente curricular SD propõem aos estudantes as habilidades apresentadas na Tabela 2. E a partir destas habilidades poderão ser formadas as competências descritas na Tabela 3.

A proposta de PRBL apresentada neste artigo possui com alvo proporcionar as habilidades e competências aqui listadas. E ao mesmo tempo criar um ambiente de aprendizado

estimulante tentando valorizar aspectos importantes para qualquer profissional como criatividade e iniciativa.

Tabela 1 – Descrição dos tópicos de aula associados ao componente curricular de SD.

Unidade	Descrição dos tópicos
1	Introdução, Arquitetura e Memória.
	Definição dos registradores de uso geral e de Entrada e Saída (E/S).
	Circuitos de E/S digitais em MCU's.
	Conversores Analógico/Digitais (ADC – <i>Analog-to-Digital Converter</i>).
	Circuitos ADC em MCU's
2	Contadores e Temporizadores (C/T).
	Circuitos C/T em MCU's.
	Sistemas e circuitos de interrupção.
	Desenvolvimento de sistemas com interrupção em MCU's.
3	Protocolos de comunicação de dados: USART, SPI.
	Desenvolvimento de sistemas de comunicação de dados para MCU's.
	Padrões de projeto (<i>Design Patterns</i>) voltados para sistemas embarcados.

Tabela 2 – Descrição das habilidades associadas ao componente curricular de SD.

Habilidades	Descrição
1	Conhecer detalhadamente o funcionamento dos circuitos digitais associados aos hardwares com sistemas embarcados.
2	Desenvolver soluções em SE utilizando linguagem C.
3	Conhecer técnicas de engenharia de software voltadas para SE.
4	Criar soluções com SE associados a dispositivos externos como sensores e drivers.
5	Apresentar propostas de SE associados a técnicas de comunicação de dados com outros tipos de equipamentos.

Tabela 3 – Descrição das competências a partir das habilidades apresentadas na Tabela 2.

Competências	Descrição
1	Projetar circuitos e sistemas digitais para hardwares voltados para SE.
2	Desenvolver aplicativos voltados para SE.
3	Associar soluções de problemas reais utilizando SE.

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO

A Figura 1 ilustra o projeto de laboratório proposto para o componente curricular, no qual uma planta real (térmica, eletromecânica, hidráulica ou outra qualquer) é controlada por um sistema embarcado em um MCU. O SE tem como objetivo controlar a variável de processo, $s(t)$, que dependo da planta poderá ser uma medida de temperatura, vazão, posição, velocidade ou outra. O controle é feito por um sistema em malha fechada, através da implementação do algoritmo PID (OGATA, 2011), que a partir de um sensor, S_1 , captura o sinal $s(t)$, processa-o e gera o sinal de controle, $d(t)$. O acionamento da planta é realizado por um driver, D_1 , a partir do sinal de controle. O SE deve ser gerenciado por um sistema computacional remoto chamado

SRCAD (Sistema Remoto de Configuração e Aquisição de Dados). O SRCAD comunica-se com SE através do protocolo USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*), fazendo aquisição do sinal, $s(t)$. O SRCAD também deve possibilitar a alteração em tempo real dos parâmetros do PID (k_p , k_i e k_d) (OGATA, 2011).

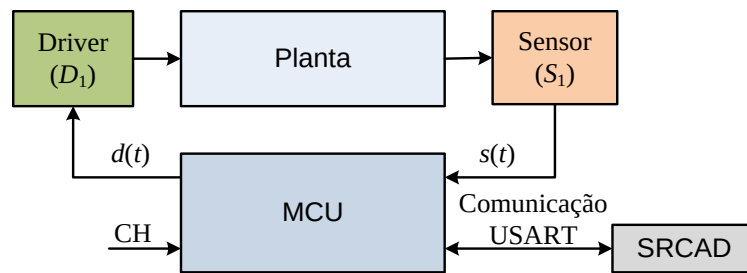


Figura 1 – Estrutura em digrama de blocos do projeto de laboratório proposto para a proposta de PRBL.

Os alunos devem desenvolver o SE em um chip ATmega 328p (ATMEGA 328p, 2009) associado ao kit Arduino Uno (ARDUINO, 2013). O ATmega 328p é um MCU de 8 bits que trabalha a velocidade de 1 MIPS/MHz e possui 32 KBytes de memória de programa e 2 KBytes de memória RAM (ATMEGA 328p, 2009). O Arduino Uno é um kit de desenvolvimento que agrega em um único hardware, um chip ATmega 328p e um circuito gravador, facilitando assim o processo de desenvolvimento.

O SE deve ser desenvolvido em linguagem C utilizando o ambiente de desenvolvimento Atmel Studio 6 (ATMEL, 2013), ambiente este disponibilizado pela empresa Atmel fabricante do chip ATmega 328p. A Tabela 4, descreve os Requisitos Funcionais (RF) mínimos que o projeto deve atender.

Tabela 4 – Requisitos funcionais associados ao projeto.

RF	Descrição dos requisitos funcionais
1	O SE deve ser subdividido em quatro módulos chamados de M_0 , M_1 , M_2 e M_3 .
2	A configurações relativas aos registradores devem ser implementadas no módulo M_0 .
3	O módulo M_1 deve ser responsável por receber os dados (via protocolo USART) do SRCAD e atualizar os parâmetros de controle.
4	O módulo M_2 deve fazer a transmissão, em tempo real, da informação da variável de processo, $s(t)$.
5	O módulo M_3 deve implementar o algoritmo de controle (PID).
6	Os algoritmos referentes aos módulos M_1 e M_2 são executados no loop principal do SE (ver Figura 2).
7	O módulo M_3 dever ser executado em uma interrupção interna (utilizando o contador TIMER1) para garantir o funcionamento do sistema de controle independente do sistema de comunicação de dados, gerenciado pelos módulos M_1 e M_2 (ver Figura 2).
8	O tempo de interrupção, t_i , deve ser suficiente para executar M_3 e ao mesmo tempo deve ser pelo menos 10 vezes menor que o tempo de resposta mais crítico da planta.
9	A cada instante o SRCAD envia um código de um 1 Byte para MCU. Caso o código seja 255 o SRCAD não envia mais nenhuma informação e o MCU retorna o valor de $s(t)$ (normalizado em 1 Byte) através do módulo M_2 (ver Figuras 3a e 3b).

10	Para valores de código diferentes de 255, o SRCAD também envia o valor de um dos parâmetros de configuração.
11	Todos os valores relativos aos parâmetros devem ser normalizados em um 1 Byte

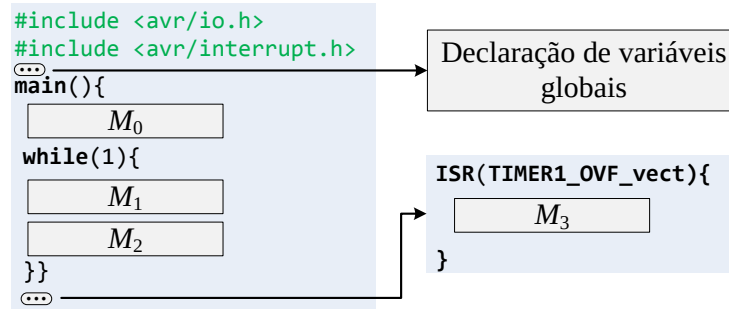


Figura 2 – Ilustração do posicionamento dos módulos na codificação do SE.

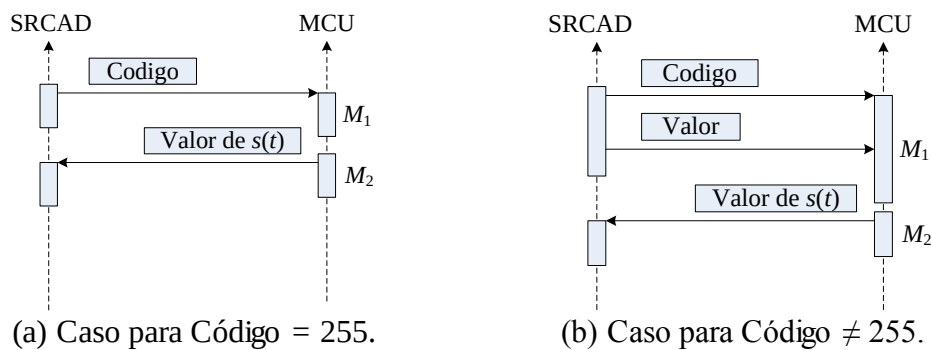


Figura 3 – Fluxo de dados entre o SRCAD e o MCU.

4. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

Tomando como base os tópicos de aulas, as competências e habilidades descritas na Seção 2, a proposta de PRBL apresentada neste artigo propõe o desenvolvimento do projeto apresentado na Seção 3. O projeto é apresentado a turma no início da segunda unidade e os alunos (em grupos de até quatro participantes) devem apresentá-lo ao final da terceira unidade, tendo um período de trabalho de aproximadamente três meses para finalização do projeto. Além da apresentação os grupos devem entregar um relatório técnico e em cada unidade também existe uma prova individual que tenta englobar assuntos não contemplados ao projeto.

O projeto deve ser implementado em duas partes, sendo a primeira parte formada pelos requisitos RF1 a RF8 e a segunda formada pelos requisitos RF9 a RF11, de acordo com a Tabela 4. Esta ordem segue a sequência de apresentação dos tópicos de aula apresentados na Tabela 1. As avaliações das partes 1 e 2 são realizadas nas unidades 2 e 3, respectivamente. A Tabela 5, apresenta a composição e ponderação das notas associadas a proposta de PRBL. A primeira unidade é composta apenas de uma prova escrita e na segunda e terceira o projeto e a prova escrita são avaliados. No caso do projeto, a escrita do relatório também é avaliada. O projeto a partir de seus requisitos, apresentados na Tabela 4, aborda as habilidades e competências pré-definidas na seção 2.

Tabela 5 – Composição das notas associadas a cada unidade.

Unidade	Prova escrita	Projeto	
		Implementação	Escrita
1	100%	0%	0%
2	50%	40%	10%
3	50%	40%	10%

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Objetivando validar a proposta de PRBL aqui apresentada foram realizadas pesquisas de opinião com as turmas dos semestres de 2012.1, 2012.2, 2013.1 e 2013.2. Essas pesquisas foram realizadas de forma anônima e voluntária com os alunos através da ferramenta de formulários eletrônicos do Google.

5.1. Metodologia da Pesquisa de opinião

Com base na metodologia aplicada nos trabalhos apresentados em (ALI & SAMAKA, 2013), (KUC *et al.*, 2004), (CORRELL *et al.*, 2010) e (DOGMUS *et al.*, 2014) o formulário eletrônico foi composto de 5 afirmações (apresentadas na Tabela 6) cujas respostas foram escalonadas em cinco graus de concordância. Este tipo formato é chamado de escala de resposta psicométrica é normalmente utilizada em questionários, na qual o entrevistado deve classificar itens quanto ao seu grau de importância. A Tabela 7 apresenta o formato da resposta associada a cada uma das afirmações apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Afirmações enviadas aos alunos.

Número	Afirmação
1	O laboratório prático realizado ajuda a obter habilidades de desenvolvimento de software em sistemas embarcados.
2	Foi importante construir a planta, os circuitos de drivers e os sensores a partir do zero, pois desta forma posso entender melhor o projeto de um sistema real como um todo.
3	Eu como aluno fiquei satisfeito com os projetos práticos realizados em laboratório.
4	Eu entendi a estrutura e as funções associadas ao microcontrolador ATmega.
5	Estou apto para realizar projetos em sistemas embarcados.

Tabela 7 – Formato da resposta associada a cada uma das 5 afirmações enviadas.

	1	2	3	4	5	
Não concordo						Concordo

5.2. Resultados da Pesquisa de Opinião

As Tabelas 8 a 12 apresentam os resultados da pesquisa de opinião realizada exclusivamente para a análise da proposta de RPBL. O formulário de pesquisa foi enviado para um universo de 75 alunos diferentes matriculados nos três semestres (2012.1, 2012.2, 2013.1 e

2013.2) nos quais 33 alunos (44%) responderam. É importante observar que os formulários foram enviados para todos os alunos independentemente de seu sucesso na disciplina.

Tabela 8 – Resultados associados a afirmação número 1.

Escala	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.1	0	0	2	0	5
Quantidade 2012.2	0	0	0	2	9
Quantidade 2013.1	0	0	1	0	4
Quantidade 2013.2	0	0	1	3	6
Total	0	0	4	5	24
Porcentagem	0,00%	0,00%	12,12%	15,15%	72,73%

Tabela 9 – Resultados associados a afirmação número 2.

Escala	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.1	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.2	0	0	1	2	4
Quantidade 2013.1	1	0	0	1	9
Quantidade 2013.2	1	0	0	2	2
Total	2	0	1	7	23
Porcentagem	6,06%	0,00%	3,03%	21,21%	69,70%

Tabela 10 – Resultados associados a afirmação número 3.

Escala	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.1	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.2	1	1	1	3	1
Quantidade 2013.1	1	0	0	2	8
Quantidade 2013.2	0	1	0	3	1
Total	3	2	3	10	15
Porcentagem	9,09%	6,06%	9,09%	30,30%	45,45%

Tabela 11 – Resultados associados a afirmação número 4.

Escala	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.1	0	1	2	1	3
Quantidade 2012.2	0	0	1	2	8
Quantidade 2013.1	0	0	0	1	4
Quantidade 2013.2	0	1	3	0	6
Total	0	2	6	4	21
Porcentagem	0,00%	6,06%	18,18%	12,12%	63,64%

Tabela 12 – Resultados associados a afirmação número 5.

Escala	1	2	3	4	5
Quantidade 2012.1	0	0	2	1	4
Quantidade 2012.2	0	0	0	3	8
Quantidade 2013.1	0	0	0	3	2

Quantidade 2013.2	0	1	1	4	4
Total	0	1	3	11	18
Porcentagem	0,00%	3,03%	9,09%	33,33%	54,55%

5.3. Análise dos Resultados

A afirmação 1 (resultados apresentados na Tabela 8) é associada as habilidades 1, 2 e 3, apresentadas na Tabela 2. Nestas afirmações as escalas de importância 4 e 5 obtiveram mais de 87% das respostas. Já afirmação 2 (resultados apresentados na Tabela 9) apresenta respostas relativas ao aprendizado das habilidades 4 e 5, neste caso as escalas de importância 4 e 5 obtiveram mais de 90% das respostas. Estes resultados mostram que a proposta PRBL obteve um bom desempenho na inserção das habilidades programadas para o componente curricular.

As afirmações, 3 e 4 (resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11) estão associadas a visão do aluno em relação ao seu aprendizado. Nestas afirmações as escalas 4 e 5 obtiveram em torno de 75% em ambas. Observa-se que o resultado não foi tão bom como os resultados das afirmações 1 e 2, mais foram bastante significativos (levando também em consideração a escala 3 o valor das respostas vai para 84% nas duas afirmações).

Já a afirmação 5 (resultados apresentados na Tabela 12) tenta resumir a opinião do aluno associada a toda metodologia aplicada. Neste caso 87,88% dos alunos responderam na escala 4 e 5 (levando também em consideração a escala 3 o valor das respostas vai para 96,97%). Finalmente, analisando as respostas obtidas em todas afirmações, conclui-se que proposta foi bem avaliada dado que na maioria das afirmações as escalas 4 e 5 obtiveram mais de 80% das respostas.

Nos semestres pesquisados o componente curricular SD obteve uma taxa de aprovação média de 64,03%, uma taxa de reprovação média de 14,23%, uma taxa de reprovação por falta média de 13,15% e uma taxa de trancamento média 8,60%. Apesar dos dados relativos a pesquisa de opinião serem bastante motivadores, os resultados associados as taxas de insucesso (taxas de reprovação por média, por falta e trancamento) ainda são altas. A Figura 3 apresenta o comportamento das taxas de sucesso e insucesso durante os semestres 2012.1, 2012.2, 2013.1 e 2013.2.

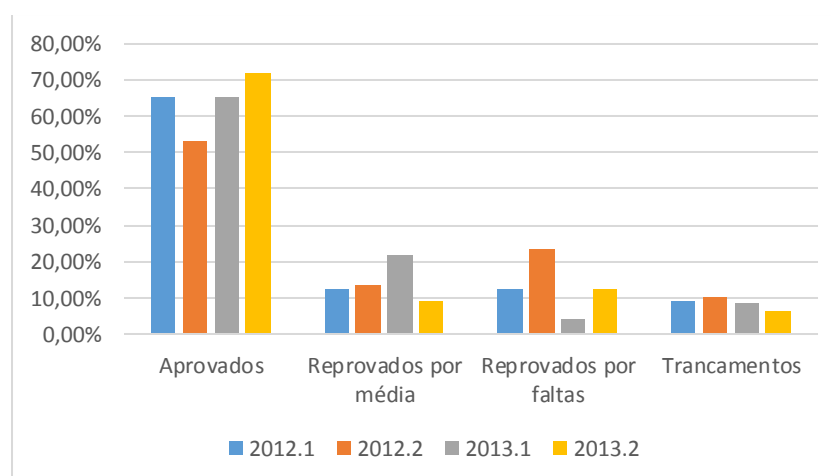


Figura 3 – Taxas de sucesso e insucesso durante os semestres da pesquisa.

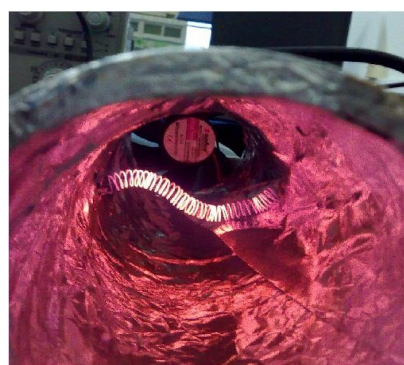
Com base nos dados apresentados na Figura 3, observa-se que a taxa de reprovação (por média e por falta) ficou fixa em torno de 10%, apesar da subida em 2013.1 que foi compensada pela queda em 2013.2. Por outro lado, observa-se uma pequena tendência de queda, nos trancamentos e uma tendência de alta nas aprovações, que subiu para mais de 70%. Estes dados mostram que de alguma forma a metodologia de PRBL vem apresentando resultados.

É importante destacar que do período de 2012 até o momento foram gerados vários trabalhos e artigos extra classe dos projetos desenvolvidos pelos alunos. Entre eles estão dois artigos completos um publicado em 2013 no COBENGE (Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia) (SOUZA *et al.*, 2013) e outro aceito para ser apresentado e publicado em 2014 no INTERCON (International Conference on Electrical Eng., Electronics Eng. and Computer Science) (GAMA *et al.*, 2014). E uma série de trabalhos de conclusão de curso apresentados em 2013.

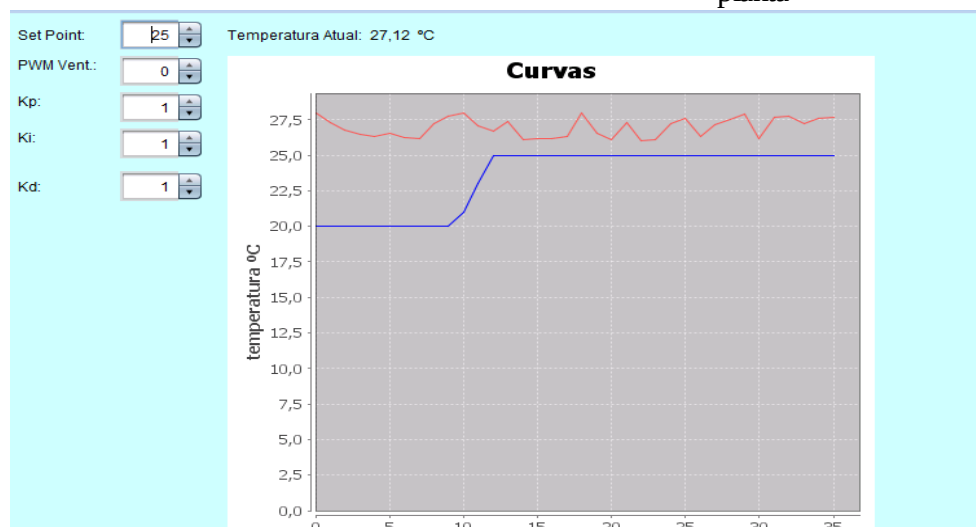
As Figuras 4 e 5, ilustram imagens de projetos desenvolvidos pelos alunos nos semestres 2012.2 e 2013.2, respectivamente. Para 2012.2 (ver Figura 4) o projeto foi o controle de temperatura (variável de processo, $s(t)$) de um secador industrial. No caso de 2013.2 (ver Figura 5) o projeto foi o controle de fluxo de ar (variável de processo, $s(t)$) de um sistema de ventilação.



(a) Detalhe do kit Arduino e Drivers.

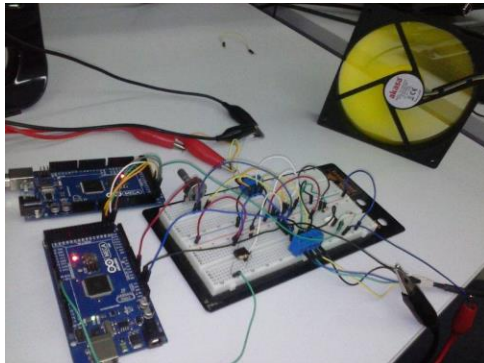


(b) Detalhe do funcionamento da planta

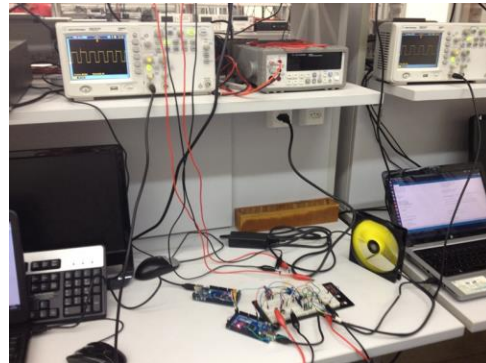


(c) Detalhe do SRCAD.

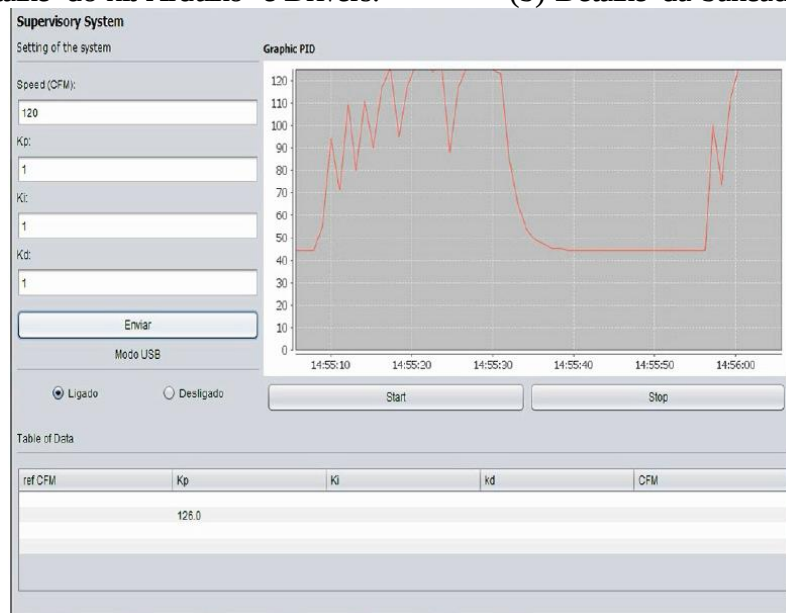
Figura 4 – Ilustração do projeto desenvolvido pelos alunos no semestre 2012.2.



(a) Detalhe do kit Arduino e Drivers.



(b) Detalhe da bancada.



(c) Detalhe do SRCAD.

Figura 5 – Ilustração do projeto desenvolvido pelos alunos no semestre 2013.2.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma proposta de aprendizagem baseada em projetos aplicada a componentes curriculares voltados para área de sistemas embarcados. O artigo utilizou como base a disciplina de Sistemas Digitais Aplicada do curso de Engenharia da Computação da UFRN. Resultados obtidos de pesquisa de opinião com alunos dos semestres de 2012.1, 2012.2, 2013.1 e 2013. 2, mostram informações bastante promissoras e significativas associados a proposta. Os dados também apresentam pontos importantes que precisam ser melhor analisados objetivando maximizar a taxa de aprovação e reduzir a taxa de insucesso relativa aos alunos. Todos os detalhes associados a implementação da proposta são apresentados para que outros docentes possam aplicar em componentes curriculares semelhantes voltados para área de sistemas embarcados.



Agradecimentos

Este trabalho agradece a todos os alunos dos semestres 2012.1, 2012.2, 2013.1 e 2013.2 do componente curricular Sistemas Digitais do Curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) que de forma anônima responderam aos formulários de pesquisa e contribuíram com os resultados apresentados neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. Arduino is an open-source electronics prototyping platform. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>> Acesso em: 24 jun. 2013.

ATMEGA 328p. 8-bit AVR Microcontroller ATmega328P Datasheet. Rev. 8161D-AVR-10/09. Atmel Corporation. 2009.

ATMEL. Atmel Studio 6 - The Studio to Design All Embedded Systems. Disponível em: <http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6> Acesso em: 24 jun. 2013.

BALID, W.; ALROUH, I.; Hussian, A.; ABDULWAHED, M., Systems engineering design of engineering education: A case of an embedded systems course, Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), 2012 IEEE International Conference on, vol., no., pp.W1D-7,W1D-12, 20-23 Aug. 2012.

CHENARD, J-S; ZILIC, Z.; PROKIC, M., "A Laboratory Setup and Teaching Methodology for Wireless and Mobile Embedded Systems," Education, IEEE Transactions on, vol.51, no.3, pp.378, 384, Aug. 2008.

GAMA, F.; MARTINS, J.; MIRANDA, T.; TOMÉ, WILLY; FERNANDES, MARCELO A.C., Controle de Fluxo de Ar em Ventiladores Utilizando Sistemas Embarcados em Microcontroladores. In: XXI INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS ENG. AND COMPUTER SCIENCE (INTERCON 2014), 2014, Arequipa, Perú.

HAI-FENG, Z.; AI-LING, Z.; JUN, H. Design of Fumigation Temperature Control System Based on Single-Chip Microcontroller, Procedia Engineering, Volume 15, 2011, Pages 246-250.

HERNANDEZ-PEREZ, J.N.; EBERT GIRAL-SALAS, J.; MORALES-CAPORAL, R.; ORDONEZ-FLORES, R.; MORALES-FLORES, M.A., "Speed and current control of a permanent-magnet DC servo motor using a real-time microcontroller," Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), 2013 10th International Conference on, vol., no., pp.369,374, Sept. 30 2013-Oct. 4 2013.

LEE, C.; SU, J.; LIN, K.; CHANG, J.; LIN, G., A project-based laboratory for learning embedded system designs with support from the industry, Frontiers in Education Conference, 2008. FIE 2008. 38th Annual, vol., no., pp.F1B-1,F1B-6, 22-25 Oct. 2008.



MASKELL, D.L.; GRABAU, P.J., "A multidisciplinary cooperative problem-based learning approach to embedded systems design," Education, IEEE Transactions on , vol.41, no.2, pp.101,103, May 1998.

MASSON, T. J.; MIRANDA, L. F.; MUNHOZ, A. H.; PORTO, A. M.; Metodologia de ensino: aprendizagem baseada em projetos (PBL). Anais: XL – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Belém: UFPA, 2012.

OGATA, K., Engenharia de controle moderno. 5. ed. Pearson Prentice Hall, 2011.

SOUZA, I. T.; NATAN, S.; NEVES, D. G.; NEVES, D.; SILVEIRA, L. F. Q.; FERNANDES, MARCELO A.C., Aprendizagem Baseada em Projetos Aplicada ao Ensino de Sistemas Embarcados. In: XLI CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2013), 2013, Gramado, RS.

UGURLU, Y.; NAGANO, T., Project-based learning using LabVIEW and embedded hardware, System Integration (SII), 2011 IEEE/SICE International Symposium on , vol., no., pp.561,566, 20-22 Dec. 2011.

PROJECT BASED LEARNING FOR TEACHING EMBEDDED SYSTEMS

Abstract: *This article aims to present a proposal for a Project Based Learning for teaching Embedded Systems. The proposal includes projects associated with the area of control and automation, in which the student develops solutions in embedded systems with microcontrollers. The projects aim at the development of feedback control systems, for various types of dynamical systems. The proposal was applied for four semesters (2012.1, 2012.2, 2013.1 and 2013.2) Digital Systems Class of the Computer Engineering School of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). Results of surveys with students during the four semesters are presented aiming at the validation of the proposed PRBL. All details associated with implementation of the proposal are also presented aimed at helping other teachers in similar curriculum components.*

Key-words *Embedded Systems, Project Based Learning, PRBL, Feedback Control Microcontroller.*