
Aprendizagem Baseada em Projeto (*Project-Based Learning – PBL*) aplicada a *software* embarcado e de tempo real.

João Carlos Silva Nobre, Denis Silva Loubach, Adilson Marques da Cunha, Luiz Alberto Vieira Dias

Divisão de Ciência da Computação
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) – São José dos Campos, SP - Brasil
{jcnobre, denis, cunha}@ita.br, l_vdias@yahoo.com.br

Abstract. *This paper describes a Project-Based Learning – PBL methodology, and relates its application on teaching Real Time Embedded Systems courses to electronics and computing engineering students for graduate and undergraduate levels at the Brazilian Aeronautics Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA) during the 2nd semester of 2005. It tackles the development of a prototype comprised of the following three software configuration items: an Unmanned Aerial Vehicles – UAVs; a Ground Station – GS; and a Student Satellite – SSAT. The VANT-EC-SAT prototype has provided the students with enough experience to understand the main concepts and principles, applying them to a reported case study.*

Resumo. *Este artigo descreve uma metodologia de Aprendizagem Baseada em Projeto (Project-Based Learning - PBL) e relata sua aplicação no ensino das disciplinas de Sistemas Embarcados e de Tempo Real ministradas aos estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia Eletrônica e Computação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, no Brasil, durante o 2º semestre de 2005. Ele aborda o desenvolvimento de um Protótipo composto de três Itens de Configuração de Software: um Veículo Aéreo Não Tripulado, uma Estação de Controle e um Satélite Universitário. O protótipo VANT-EC-SAT propiciou aos alunos experiência para entender os principais conceitos e princípios e aplicá-los a um estudo de caso.*

1. Introdução

De acordo com Bereiter e Scardamalia (1999), os recursos tecnológicos podem propiciar ensino-aprendizagem quando combinados a metodologias participativas de ensino do tipo Aprendizagem Baseada em Problema ou Projeto (*Project or Problem-Based Learning – PBL*), o que vêm melhorando a qualidade dos processos de aquisição de conhecimento.

Essa melhoria da qualidade dos processos vem ocorrendo, principalmente, por envolver os alunos nas decisões referentes a aprendizagem, submetendo-os a resolução de problemas reais, e por promover o desenvolvimento de habilidades necessárias ao desempenho funcional. Contrapõe-se aos sistemas tradicionais de ensino, limitados a seguir programas pré-estabelecidos, com pouca interferência criativa e crítica dos alunos e até dos professores.

Os relatos de sucesso da aplicação de PBL em várias áreas, tais como medicina, veterinária e engenharia, motivaram a aplicação desta metodologia às disciplinas Sistemas Embarcados – CES-63 e Sistemas Embarcados de Tempo Real – CE-235, durante o 2º semestre de 2005, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, visando o desenvolvimento de sistemas de *software* críticos embarcados e de tempo real para aplicações aeroespacial.

Neste artigo, a utilização da PBL no ensino será referida no passado e a aplicação da PBL no processo de aprendizagem, no presente.

Ao propor a PBL como referencial norteador para o ensino dessas disciplinas técnicas, pretende-se contribuir, não apenas para a instrumentalização no domínio técnico das metodologias, como também para a apropriação de nova forma de ensino-aprendizagem, possível de ser coletivamente construída, atualizada e reformulada.

Deste modo, este artigo coloca-se num caminho ainda inexplorado, incompleto e motivador de novas possibilidades de apreensão, superação e transformação dos limites que formam o processo de aquisição de saber e o processo de se trabalhar em grupo.

2. O paradigma da aprendizagem via Metodologia Participativa

A Metodologia Participativa permite a atuação efetiva dos envolvidos no processo educativo sem considerá-los meros receptores, ou seja, aqueles nos quais são depositados conhecimentos e informações. No enfoque participativo, valorizam-se os conhecimentos e experiências dos participantes, envolvendo-os na discussão, identificação e busca de soluções para problemas emergentes.

Estudos, como o de Delors (2000), indicam claramente a missão dos educadores e do ensino de maneira geral para o novo milênio, considerando, basicamente, a internacionalização das economias e a necessidade de democratizar o conhecimento para reduzir as desigualdades, centram-se na necessidade de aprender a conhecer, fazer, viver juntos, e ser.

A aprendizagem baseada em projeto tem uma longa história. Ainda antes do início dos idos de 1900s, John Dewey comprovou o "aprender mediante o fazer."

Este sentimento se reflete também no Construtivismo e no Construcionismo. Construtivismo (Perkins, 1991; Piaget, 1969; Vygotsky, 1978 apud Gant 2002) explica que os indivíduos constroem o conhecimento por intermédio das interações com seu ambiente, e a construção do conhecimento de cada indivíduo é diferente. Assim, através da condução das investigações, conversações ou atividades, um indivíduo está aprendendo a construir um conhecimento novo tendo como base seu conhecimento atual.

Construcionismo faz exame da noção da construção individual do conhecimento, passo a passo e afirma, segundo Harel e Papert (1991) apud Gant (2002), Kafai e Resnick (1996) apud Gant (2002), que os indivíduos aprendem melhor quando estão construindo uma obra que possa ser compartilhada com o outro e sobre a qual possa refletir.

A PBL está associada às teorias construtivistas, em que o conhecimento não é absoluto, e sim construído pelo estudante por meio de seu conhecimento pregresso e sua percepção global, dimensionando a necessidade de aprofundar, amplificar e integrar o conhecimento. (Brandão et al., 1998; Camp, 2006).

O ensino-aprendizagem com base nos referenciais e práticas propostas pela 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.

O processo educativo remete fundamentalmente ao compromisso de aprender, incluindo a possibilidade de construção coletiva do conhecimento e desenvolvimento de habilidades profissionais, pela adoção de outras formas de obtenção de conhecimento, pelo exercício da liberdade de escolha, e pela relação diferenciada entre educador e educando, ou facilitador e aprendiz.

A PBL organiza a aprendizagem em torno dos projetos - tarefas complexas -, que se baseiam em questões ou problemas desafiadores, e envolvem o estudante no entendimento do problema e sua resolução, na tomada de decisão ou atividades investigativas, dando-lhe a oportunidade de trabalhar autonomamente em períodos de tempo prolongados, e culmina em apresentações ou produtos realísticos. (Jones, 1997; Thomas, 1999; e Scarbrough, 2004).

3. Apresentando as disciplinas CES-63 e CE-235

As disciplinas são ministradas em conjunto e numa seqüência lógica: a CES-63, no programa de graduação em Engenharia de Computação; a CE-235, no de pós-graduação em Engenharia Eletrônica e Computação. A duração é de dezessete semanas, e o esforço semanal de estudo de três horas/aula com o professor, complementada com mais seis horas/aula de estudo independente.

Os alunos de graduação e de pós-graduação compõem grupos de até quatro participantes, gerando um esforço acadêmico semanal, de aproximadamente, trinta e seis horas, por grupo.

Para otimizar o ensino-aprendizagem, e de acordo com a metodologia PBL, o professor e os alunos passam a desempenhar papéis, vinculados a uma responsabilidade específica, conforme mostrado a seguir na Tabela 1.

Tabela 1. Papéis e Responsabilidades

Papel	Responsabilidades Vinculadas
Facilitador	Professor responsável por facilitar a apreensão de conteúdo, sem ser o principal disseminador de conhecimento.
Aprendiz	Aluno de graduação ou pós-graduação responsável pela busca ativa do conhecimento.
Tutor	Aluno(s) do programa de pós-graduação responsável(eis) por auxiliar os aprendizes nas dificuldades de conteúdo da disciplina.

Durante as duas primeiras semanas, o facilitador e os aprendizes determinam um norte sobre o conteúdo a ser assimilado referente a tecnologias, ambiente e ferramentas, métodos e processo de desenvolvimento de *software*, com base em um projeto.

Nas demais semanas, o facilitador se utiliza parcialmente do tempo que lhe é destinado para motivar, orientar e coordenar os aprendizes com relação ao Projeto, permitindo-os usar as horas restantes para discutir temas relacionados ao conteúdo da disciplina e sanar dúvidas com o tutor.

3.1. O Projeto

A escolha do projeto a ser desenvolvido nas disciplinas de sistemas embarcados e de tempo real é fundamental na aplicação da PBL, pois o projeto deve motivar e conduzir o aprendiz para novas descobertas, cobrindo, no mínimo, o conteúdo programático definido para o curso.

Projetos que envolvem a construção de sistemas de *software* para aviões, satélites, veículos automotivos, equipamentos de uso militar, aparelhos móveis de comunicação, são bons candidatos, visto que propiciam a interdisciplinariedade e a investigação de tópicos como qualidade, confiabilidade e segurança (*safety*) do *software*, gerência de projetos, métodos, processos e ferramentas de desenvolvimento, boas práticas de engenharia de *software* e habilidades inter-pessoais.

Indica-se a realização de *workshops* com a presença dos aprendizes, visando apresentar-lhes dois ou três projetos com suas respectivas particularidades para facilitar e motivar a escolha e adoção, pelos aprendizes, de um ou mais projetos.

3.2. A Formação das Equipes de Desenvolvimento

Para Collofello e Hart (1999), a formação das equipes deve envolver quatro ou cinco membros, conforme as experiências de outras universidades em cursos de Engenharia de *Software* e relatos sobre a aplicação de PBL, como em Woods (1995).

A formação das equipes deve ser de livre iniciativa dos aprendizes. Contudo, o facilitador deve evidenciar a possibilidade de utilização de uma técnica que facilite a formação, como por exemplo, a técnica de seleção do fraco-forte, conforme reportado em Oudshoorn e Maciunas (1994), de modo que haja uma compensação.

3.3. Avaliação

A avaliação faz parte do processo educacional, e é necessária a professores e alunos, com o objetivo de determinar o progresso e as dificuldades que devem ser superadas para que o processo de ensino seja adequado à realidade do aluno, segundo Turra (1980).

O sistema de avaliação para as disciplinas passou por uma revisão, visando melhorar: compreensão do processo de ensino-aprendizagem; as formas de aprendizagem; as metodologias de ensino, de culturas e de conhecimentos, de modo que a avaliação qualifique a aprendizagem, e não o aluno. Os elementos que compõem a avaliação são apresentados na Figura 1.



Figura 1. Elementos compositores da avaliação

3.3.1. Listas de Exercícios – ListEx(s)

A aplicação de Listas de Exercícios, ListEx(s), visa estimular o raciocínio e a argumentação crítica dos alunos, de forma a possibilitar a aplicação dos conceitos na resolução dos problemas intrínsecos do Projeto, bem como exercitar as várias habilidades necessárias ao desempenho profissional.

A cada 4 semanas, aplica-se uma ListEx, totalizando-se 4. A primeira é desenvolvida individualmente. Já as demais contam com a participação do grupo de alunos que se aglutinam a cada integração do *software* em desenvolvimento.

As listas de exercícios servem para avaliar as habilidades, para modelar as funcionalidades de uma dada especificação do projeto de *software* e produzir a documentação do *software* baseada nas melhores práticas.

3.3.2. Prova Prática

O emprego de provas práticas visa proporcionar aos aprendizes a compreensão necessária sobre as ferramentas utilizadas no desenvolvimento dos sistemas de *softwares* embarcados e de tempo real.

Elas são realizadas uma a cada bimestre. Nelas, cada aprendiz responsabiliza-se por exercitar e mostrar os principais passos executados nos tutoriais referentes às ferramentas, de forma a compreender o ambiente de desenvolvimento.

3.3.3. Projeto Final

A confecção de um projeto final para a disciplina visa desenvolver a capacidade de sintetizar o conhecimento absorvido e descrever o processo de construção do sistema de *software*.

Cada aprendiz produz um relatório evidenciando sua participação no projeto, a partir de uma unidade básica até a integração no sistema de *software* do Projeto.

3.3.4. Apresentação do Produto

Essa apresentação visa ampliar as habilidades inter-pessoais dos aprendizes.

Cada equipe de desenvolvimento é solicitada a apresentar para os professores e demais estudantes, em apenas vinte minutos, as unidades básicas do *software* que lhe couberam, bem como os processos de integração que culminam no sistema de *software*, sendo possível, nessa ocasião, questionar-se sobre os aspectos relacionados ao projeto.

4. Projeto VANT-EC-SAT: Um Estudo de Caso

O Estudo de Caso abordado teve como objetivo a elaboração de um de Sistema de *Software* de Computador – SSC englobando um Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT, uma Estação de Controle – EC, e um Satélite Universitário – SAT, denominado Projeto VANT-EC-SAT, desenvolvido durante dezessete semanas, no segundo semestre acadêmico de 2005. Esse Projeto contou com a participação de quinze alunos do Programa de Graduação e dezenove alunos do Programa de Pós-Graduação.

4.1. Cenário

O projeto proposto no Estudo de Caso abordado propiciou, por meio de representação da realidade, o desenvolvimento de um protótipo de projeto de SSC para o VANT-EC-

SAT construído durante o semestre letivo, dividido em três Itens de Configuração de *Software* de Computador – ICSC. A Figura 2 apresenta, respectivamente, os ICSCs do VANT, da EC e do SAT. Cada um formado a partir de Componentes de *Software* de Computador - CSCs e, por sua vez, compostos de Unidades de *Software* de Computador - USCs.

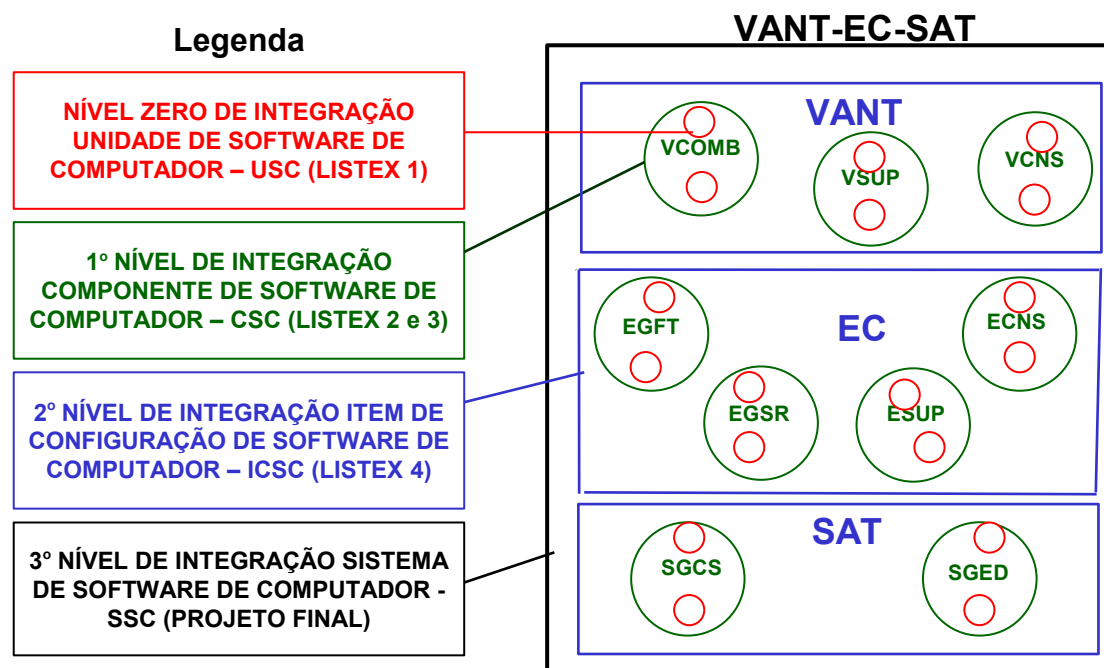


Figura 2. Configuração do Projeto VANT-EC-SAT

4.2. Aplicação da Metodologia PBL no Estudo de Caso

No início, foram apresentados aos aprendizes três projetos previamente selecionados, de forma independente, que foram, depois, aglutinados num só projeto híbrido denominado VANT-EC-SAT. Nele, os aprendizes puderam escolher livremente os elementos para compor as equipes de desenvolvimento, observando a técnica forte-fraco, devendo cada participante da equipe estar vinculado a uma USC do mesmo CSC.

Após a formação dos grupos, os aprendizes foram orientados quanto ao conteúdo programático mínimo, necessário e suficiente a ser compreendido nas disciplinas CES-63 e CE-235. Nessas disciplinas, destacaram-se a utilização: do Processo Unificado da Rational (Rational Unified Process – RUP) (Kruchten, 2003); da Linguagem de Modelagem Unificada (Unified Modeling Language – UML) (Booch et al., 2006; e Cunha, 2005); de ferramentas para a construção de *software* embarcado e de tempo real; de ferramentas para a gerência de projetos; de conceitos intrínsecos das disciplinas.

Os aprendizes passaram a desenvolver suas pesquisas e tarefas, sempre sobre a coordenação e supervisão do facilitador das disciplinas, sendo apresentados nas Linhas Base Funcional, Alocada e de Produto do RUP, os respectivos resultados do desenvolvimento do *Software*, e sua aprendizagem, conforme ilustrado na Figura 3.

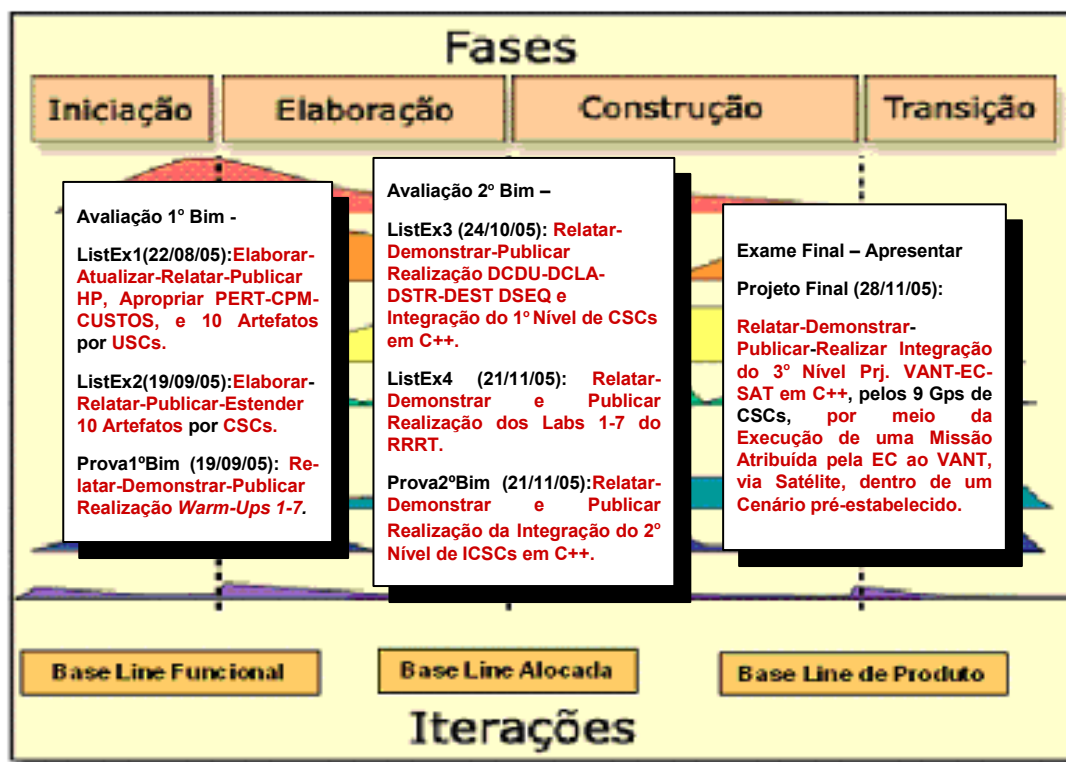


Figura 3. Sistemática das Avaliações com base nas Linhas Base, Alocada e Funcional do RUP

4.3. Missão Atribuída para Validação do Desenvolvimento do SSC e da Metodologia PBL

Para uma avaliação quanto à qualidade (conformidade com requisitos), optou-se por testar o desenvolvimento do *software* em diferentes níveis de integração, verificando-se e validando-se o SSC do Projeto VANT-EC-SAT como um todo. Quanto à confiabilidade (qualidade no tempo) e à segurança (*safety* - confiabilidade no uso), optou-se pela adoção da metodologia PBL, mediante a atribuição de missões a serem cumpridas pelos ICSCs, dentro de um cenário fictício de Jogos de Guerra.

Esse cenário encontra-se ilustrado na Figura 4, onde a EC solicita ao SAT o imageamento de uma determinada área, de latitude e longitude conhecidas. O SAT, por sua vez, adquire uma imagem de baixa resolução da área solicitada, e a envia para a EC. Após uma análise apropriada da imagem recebida, a EC atribui uma primeira missão de reconhecimento, a um VANT.

Esse VANT recebe a solicitação da EC e dirige-se para um ponto de latitude e longitude definidas, numa altitude pré-determinada, para o cumprimento da primeira missão de reconhecimento. Após a imagem ter sido transmitida do VANT para a EC, e apropriadamente analisada, os operadores da EC atribuem uma segunda missão, a um segundo VANT, desta vez de ataque ao alvo reconhecido, no ponto de latitude e longitude pré-definidas.

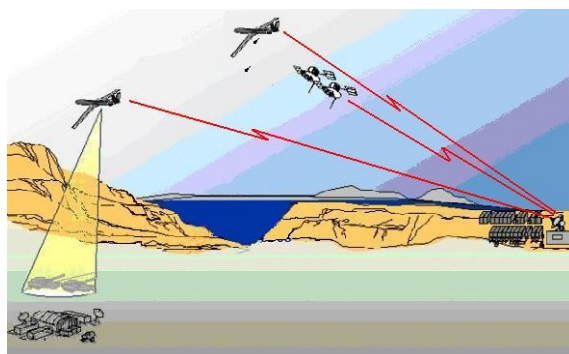


Figura 4. Cenário da Missão Atribuída

5. Principais Resultados Obtidos e Dificuldades Encontradas

Dentre os principais resultados obtidos, a adoção da PBL propiciou aos aprendizes:

- 1) o desenvolvimento da habilidade de identificar os aspectos relevantes do problema em estudo, garantindo discussões oportunas e auto-estudos dentro do contexto do projeto;
- 2) o desenvolvimento de uma base de conhecimento suficiente para definir e administrar os problemas do domínio que contextualiza a carreira do aprendiz;
- 3) o reforço do desenvolvimento de um processo de raciocínio efetivo, incluindo a síntese;
- 4) a geração de hipóteses;
- 5) a avaliação crítica da informação acerca do problema;
- 6) a análise dos dados; e
- 7) a tomada de decisão.

Destacam-se como dificuldades superadas integralmente ou parcialmente no transcorrer do curso: aspectos relacionados a uma nova postura dos alunos frente ao seu aprendizado; o planejamento de estudo individualizado; a largura e a profundidade do conteúdo a ser pesquisado, em virtude do perfil e objetivos de cada aprendiz.

A aplicação da PBL, quanto ao desenvolvimento do Projeto do VANT-EC-SAT, propiciou aos Engenheiros de *Software*:

- 1) o mapeamento do contexto para um modelo do negócio;
- 2) o mapeamento do modelo do negócio para especificações de requisitos;
- 3) a identificação e modelagem de quarenta e cinco Casos de Usos;
- 4) o desenvolvimento e a implementação de cento e seis Cápsulas;
- 5) a produção e os testes de cinquenta e três Máquinas de Estado;
- 6) a implementação e os testes de setenta e sete mil linhas de código em linguagem C++; e
- 7) a utilização eficiente de um Ambiente Integrado de Ferramentas de Engenharia de *Software* Ajudada por Computador (*Integrated Computer Aided Software Engineering Environment – I-CASE-E Tools*).

Considerando o lado profissional, algumas dificuldades encontradas referem-se a inexperience em trabalhar em grupo que, por vezes, prejudicou negociações e decisões relativas ao projeto, bem como a falta de líder ou a inabilidade de representar o grupo durante o processo de integração do protótipo.

Os principais resultados puderam ser comprovados pela implementação de um Protótipo de Sistema de *Software* Crítico, Embarcado e de Tempo Real, de média complexidade, por meio de um experimento acadêmico realizado em sala de aula e laboratório, e que pode ser reaproveitado por empresas públicas e privadas interessadas.

6. Conclusões

A Metodologia PBL descrita e o Estudo de Caso do Projeto VANT-EC-SAT relatados neste artigo representaram um caso de sucesso do ensino-aprendizagem com metodologia participativa. Este Estudo de Caso propiciou o desenvolvimento iterativo e incremental de um Protótipo de Sistema de *Software* para o Projeto VANT-EC-SAT.

No período de realização do Projeto, pôde-se destacar a viabilidade da utilização da metodologia proposta, retratando a realidade profissional na sala de aula e no laboratório, constatando-se a realização das principais atividades práticas por Engenheiros de Computação em ambientes reais do mercado de trabalho, mediante equipes distribuídas, atuando simultaneamente.

Não obstante ter sido proporcionado aos alunos relacionar os conteúdos teóricos e práticos integrantes das duas disciplinas num só Projeto Final, durante a realização dessa atividade, eles se depararam com problemáticas do cotidiano profissional e se envolveram nas decisões relacionadas com a aprendizagem, transformando-se em agentes ativos e principais responsáveis pelo processo de aprendizagem.

Seguindo a metodologia proposta, foi possível gerenciar e coordenar o trabalho de trinta e quatro profissionais envolvidos num experimento acadêmico, acompanhando-os como alunos, individualmente e em conjunto, por meio de resultados e indicadores obtidos ao final de cada etapa do Projeto, conforme mostrado na Figura 3.

A realização de um Projeto desta natureza representa para as comunidades acadêmica, científica e tecnológica a aplicação prática do estado da técnica e do estado da arte em termos tecnológicos, podendo ser seguido por outros estabelecimentos de ensino superior do país e replicado em outros domínios de conhecimento, onde o processo de Aprendizagem Baseada em Projeto (*Project-Based Learning – PBL*) também poderá ser aplicado.

Referências Bibliográficas

- BEREITER, C.; SCARDAMALIA, M. (1999). Process and product in PBL research. Toronto: Ontario Institutes for Studies in Education/University of Toronto.
- BOOCH, Grady; JACOBSON, Ivar; RUMBAUGH, James. (2006). UML - Guia do Usuário (Tradução da 2.ed.). 2.ed. Rio de Janeiro: Campus.
- BRANDÃO, Carlo Rodrigues; LESSADRINI, Cristina Dias; LIMA, Edvaldo Pereira. (1998) Criatividade e novas metodologias. 2. ed. São Paulo: Fundação Petrópolis, 1998. v. 4.
- CAMP, G. (2006) Problem – Based Learning: a Paradigm Shift on a Passing Fad? Disponível em: <<http://www.med-ed-online.org/f0000003.htm>>. Acesso em: 5 jan. 2006.

-
- COLLOFELLO, J. S.; HART, M. (1999). Monitoring team progress in a *software Engineering Project class*. In: 29^a ASEE/IEEE Frontiers in education conference, 1999, San Juan, Puerto Rico. Proceedings. 1999.
- CUNHA, Adilson Marques da. et al. (2005). A Strategy for Teaching Real Time Embedded Systems at the Brazilian Aeronautical Institute of Technology – ITA. In: 3rd International Conference on Education and Information Systems: Technologies and Applications, 2005. Florida, USA. Proceedings. 2005.
- DELANEY, Declan; MITCHELL, George G. (2002). PBL Applied to Software Engineering Group Projects. In: International Conference on Information and Communication in Education, 2002. Badajoz, Spain. Proceedings. pages 1093-1098,.
- DELORS, Jacques; et al. (2000). Educação: um tesouro a descobrir. Relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o século XXI. 8 ed. São Paulo: Cortez, Brasília: Mec, UNESCO, 1998. p.89-101.
- GRANT, Michael M. (2002). Getting a grip on project-based learning: Theory, cases and recommendations. A Middle School Computer Technologies Journal. NC State University, Raleigh, NC Volume 5, Issue 1. Disponível em: <<http://www.ncsu.edu/meridian/win2002/514/project-based.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2006.
- JONES, B. F. ; RASMUSSEN, C. M. ; MOFFITT, M. C. (1997). Real-life problem solving.: A collaborative approach to interdisciplinary learning. Washington, DC: American Psychological Association. 1997.
- KRUCHTEN, Philippe. (2003). Introdução ao Rup - Rational Unified Process. Rio de Janeiro: Ciência Moderna.
- OUDSHOORN, M.J.; MACIUNAS, K.J. (1994). Experience with a Project-Based Approach to Teaching Software Engineering. In: Southeast Asian Regional Computer Confederation 5th Annual Working Conference on Software Engineering Education, 1994, Dunedin, New Zealand. Proceedings. Dunedin, 1994. p. 220-225.
- SCARBROUGH, Harry. et al.(2004) The Processes of Project-based Learning: An Exploratory Study. Management Learning. v. 35, n. 4, p. 491-506.
- THOMAS, J. W.; MERGENDOLLER, J. R.; MICHAELSON, A. (1999). Project-based learning: A handbook for middle and high school teachers. Novato, CA: The Buck Institute for Education. 1999.
- TURRA, Clódia Maria Godoy; ENRICONE, Délcia; SANT'ANNA, Flávia Maria; ANDRÉ, Lenir Cancelli (1980). Planejamento de ensino e avaliação. 11. ed. Porto Alegre: Sagra Luzatto, 1980. p. 304.
- WOODS, D. R. (1995). Problem-Based Learning: Helping your students gain the most from PBL. 1. ed. Waterdown, Ont: D.R. Woods. 1995.