
O LOBO e o Caixeiro Viajante

Andre Zanki Cordenonsi¹, Felipe Martins Müller², Fábio da Purificação de Bastos³, Fabrício Viero Araújo², Tatiani Elenusa⁴

¹Departamento de Documentação – UFSM – Santa Maria – RS – Brasil

² Departamento de Eletrônica e Computação – UFSM – Santa Maria – RS – Brasil

³Departamento de Metodologia da Educação – UFSM – Santa Maria – RS – Brasil

⁴PPGEP – UFSM – Santa Maria – RS – Brasil

andrezc@inf.ufsm.br, felipe@inf.ufsm.br, fbastos@ce.ufsm.br,
vieros@terra.com.brm, telenusa@hotmail.com

Resumo. Neste trabalho apresentamos objeto da aprendizagem (LOBO-Learning Object Based on Optimization), desenvolvido através de uma metodologia que privilegie a problematização do conhecimento. Ele foi concebido para auxiliar na condução de disciplinas que trabalhem com algoritmos heurísticos e meta-heurísticos para o Problema do Caixeiro Viajante.

Palavras-chave: *Objetos de Aprendizagem, Metodologia Dialógica /Problematizadora, Heurísticas e Metaheurísticas*

1. Introdução

O conhecimento científico ou filosófico que deve ser levado ao aluno é, essencialmente, um recorte da realidade como ela se apresenta agora, podendo ser alterada constantemente durante o desenvolver do ser humano. Posto isso, é claro afirmar que os desafios dos professores também são aumentados. Para [Popper, 1983], o professor precisa trabalhar com os alunos formas de estarem preparados para a mudança das suas bases conceituais, que podem ocorrer continuamente a partir de sua partida dos bancos escolares ou até mesmo se metamorfejar em saberes completamente diversos. O *aprender a aprender* adquire novos significados e se torna premente na sociedade atual. No âmbito deste trabalho, será destacada a Educação Dialógica-Problematizadora, que interpreta que a ação pode ser construída metodologicamente através dos seguintes momentos [Angotti, Delizoicov, 1990]: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. A problematização inicial é apresentada como um desafio na forma de questões e/ou situações que devem ser discutidas e debatidas pelos alunos. No próximo momento, na organização do conhecimento, o educador deve orientar a sistematização do mesmo, para a completa compreensão do tema e do problema apresentado. Este conhecimento deverá ser usado pelo aluno para analisar o problema inicial e generalizá-lo para outras situações que são explicadas pelo

mesmo conhecimento, o que caracteriza o terceiro momento, da aplicação do conhecimento.

Em relação ao contexto que está sendo desenvolvido, convém destacar que, no ensino das áreas de Engenharia, Matemática e Ciência da Computação, a área de heurísticas e metaheurísticas com aplicação em otimização de sistemas é abordada com ênfase. Também é importante considerar que, tradicionalmente, o ensino de conteúdos das áreas de engenharia e/ou tecnologia têm sido construído através da transposição dos objetivos e estratégias de resolução, matéria-prima de formação de um engenheiro, em fórmulas e ou algoritmos que podem ser construídos, reproduzidos e confirmados por algum tipo de experiência prática. Diversos autores consideram que a engenharia é a filosofia de resultados, ou seja, a condução dos processos do fazer engenharia deve, necessariamente, levar a algo, físico ou não, que pode ser comprovado e testado de alguma forma. No entanto, um profissional da área tecnológica ou engenharia não pode ser unicamente *tarefeiro*, ou seja, ele não deve somente ser um solucionador de problemas pois, neste caso, estaríamos formando um profissional incompleto, incapaz de questionar a si ou os métodos que estão sendo empregados, deixando de ser um bacharel e se tornando apenas um técnico altamente especializado. Esta dicotomia entre o ensino de uma disciplina com forte embasamento matemático, que incute a necessidade de aprofundamento específico em uma área do saber, com a necessária generalidade que o contexto globalizado atual encerra, é um dos principais desafios para os docentes da área e o principal objetivo deste artigo, que trata do diálogo entre o *problema* e o *ensino*.

2. O que é um Problema de Otimização Combinatória?

O termo *otimização combinatória* é um ramo da matemática e da ciência da computação que analisa problemas de otimização em conjuntos. Por *otimizar*, se entende encontrar um valor ótimo para um determinado problema, usualmente sob determinadas restrições. Os *conjuntos* representam agrupamentos de itens que só podem ser selecionados através de uma série de regras (*restrições do problema*), formando sub-conjuntos. Este agrupamento de itens específicos na forma de sub-conjuntos é denominado uma possível *solução do problema* e, invariavelmente, possui algum *custo* associado. Desta forma, o objetivo central da otimização combinatória é encontrar um sub-conjunto cujo custo seja mínimo.

A idéia mais simples, e ingênua, para resolver um problema de otimização combinatória é simplesmente *combinar*, ou seja, enumerar, todas as possíveis soluções. Em outras palavras, criar todos os sub-conjuntos existentes a partir do *conjunto* e das *regras de restrição* e escolher o de menor custo. No entanto, isto se torna impraticável para aplicações práticas. Entre os mais diversos tipos de problemas que a otimização combinatória trabalha, se destaca o *Problema do Caixeiro Viajante* (PCV). Este problema pode ser definido em relação a que é um *caixeiro viajante*. A profissão de caixeiro é definida como o vendedor que exerce sua atividade viajando, usualmente de cidade em cidade, vendendo suas mercadorias de porta em porta. Normalmente, eles estabeleciam uma única rota que repetiam em intervalos de tempo pré-determinados. A partir desta análise histórica, é possível definir formalmente o problema do caixeiro viajante. O vendedor deve receber um conjunto de cidades que deve visitar uma única vez, bem como um custo c_{ij} que é associado a cada par de cidades i e j deste conjunto. Usualmente, este custo representa a distância de partir da cidade i até a cidade j . No

entanto, pode haver variações e outras informações podem ser quantificadas neste custo, tais como pedágios ou condições da rodovia – por exemplo, uma rodovia sem asfalto pode ser penalizada com o acréscimo de uma distância fixa ou proporcional ao trecho. O caixeiro viajante deve partir de uma cidade inicial previamente fornecida, passar por todas as demais cidades uma única vez e retornar a cidade de partida. O objetivo do PCV é encontrar a trajetória (rota, circuito ou *tour*) de menor custo possível.

2. O Caixeiro Viajante e suas Soluções

A resolução do PCV pode abranger duas opções: (a) o desenvolvimento de algoritmos exatos; (b) o desenvolvimento e teste de heurísticas e metaheurísticas. Os algoritmos exatos, como o próprio nome implica, buscam a solução *exata*, ou seja, ótima, de um problema dado. Para o PCV, um algoritmo exato deve encontrar o *tour* de menor custo possível para um dado problema. Diversas implementações de algoritmos exatos têm sido propostas na literatura, sendo que os algoritmos baseados na busca em profundidade em grafos (*depth first search – DFS*) ou em largura (*breadth first search – BFS*) se apresentam como casos particulares dos algoritmos *Branch and Bound* [Horowitz *et al.*, 1988]. Estes algoritmos têm como princípio básico gerar todas as possibilidades de rotas, construindo uma solução completa para o problema em questão.

É fácil perceber que, ao construir *todas* as possíveis rotas de um determinado problema, a melhor rota será encontrada com facilidade. No entanto, o número de rotas que devem ser analisadas aumenta exponencialmente na seguinte razão:

$$\text{PCV simétrico: número de soluções} = \frac{(n-1)!}{2}$$

$$\text{PCV assimétrico: número de soluções} = (n-1)!$$

Para efeitos de comparação, é possível imaginar um computador arbitrário que gere e avalie 1000 rotas por segundo. Para um problema pequeno, de 25 cidades, o número de rotas possíveis seria de 310.224.200.866.619.719.680.000 e o computador hipotético levaria cerca de 98.371.448.778 séculos para terminar sua operação.

A segunda opção para resolver um PCV é utilizar heurísticas. O termo heurístico provê do grego *heuriskein* = descobrir, do mesmo radical que deu origem a palavra *heureka*, imortalizada pelo matemático e filósofo grego Arquimedes. Uma heurística é um procedimento algorítmico desenvolvido através de um modelo cognitivo, usualmente através de regras baseadas na experiência dos desenvolvedores. Ao contrário dos métodos exatos, que buscam encontrar uma forma algorítmica de achar uma solução ótima através da combinação ou busca de todas as soluções possíveis, as heurísticas normalmente tendem a apresentar um certo grau de *conhecimento* acerca do comportamento do problema, gerando um número muito menor de soluções. Os métodos heurísticos englobam estratégias, procedimentos e métodos aproximativos com o objetivo de encontrar uma *boa* solução, mesmo que não seja a ótima, em um tempo computacional razoável.

3. O Ensino superior de Heurísticas e Metaheurísticas

O desenvolvimento dos conteúdos agregados ao ensino de heurísticas e metaheurísticas ocorrem nos mais diversos momentos e disciplinas dos currículos básicos da graduação

e pós-graduação. Usualmente, esta disciplina recebe nomes tão diversos como *Metaheurísticas*, *Pesquisa Operacional*, *Inteligência Computacional para Otimização*, *Otimização Combinatória*, *Introdução à Pesquisa Operacional*, *Seminários de Otimização*, *Otimização de Sistemas* e *Inteligência Artificial*. Todas estas disciplinas ocorrem dentro dos cursos de graduação em Ciência da Computação, Engenharia da Computação ou Sistemas de Informação, bacharelados ligados a área do saber relacionada à computação. Os currículos dos cursos de Matemática também oferecem, em alguns casos, tópicos relacionados à otimização de sistemas e heurísticas, principalmente no que concerne a resolução de problemas através de algoritmos heurísticos [Souza, Pereira, 2005].

Conforme o exposto, o ensino superior na área de heurísticas e metaheurísticas se encontra enraizado nas matrizes curriculares de diversos cursos de graduação e pós-graduação das áreas tecnológicas e administrativas, o que o torna um campo profícuo para a experimentação de novas metodologias e tecnologias acessórias para o processo de ensino-aprendizagem. Apesar do grande número de disciplinas sendo cursadas versando sobre o tema, há pouco material específico sobre a ótica do ensino desta área, concentrando-se normalmente na definição e comparação de algoritmos e suas complexidades. Além disso, mesmo se tratando de um tema que pode facilmente estimular os alunos, a reprodução de práticas tradicionais tem contribuído negativamente para o alargamento da área através da inclusão de novos adeptos a pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Este problema, em específico, será tratado na próxima seção.

3.1 Problemas e dificuldades

O ensino na área das ciências exatas e tecnológicas não se caracteriza como um desafio atual. Já em [Tullio, 1995] se constatava que o método predominante no ensino das engenharias era o expositivo, apoiado no quadro-negro e uso do retroprojeto, caracterizando o professor como centro do processo de ensino-aprendizagem. Em [Linsingen *et al.* 1999 *apud* Flemming, Luz 2000], a formação específica de engenheiros é destacada em relação a dois pontos específicos que, segundo os autores, comprovariam a formação de profissionais ultrapassados pelas universidades. O primeiro ponto está centrado nas práticas bancárias do professor centralizador [Freire, 1987], onde o aluno *escuta aulas* e *armazena* conhecimentos. O aluno como depósito oco a ser preenchido tem sido uma análise constante nos mais diversos trabalhos

Em conseqüência deste problema, os alunos dificilmente são orientados no sentido de aprender a *aprender*, substituindo o pensamento crítico pela visão sistêmica e única do professor. Desta forma, o aluno desconhece a pesquisa como uma ferramenta poderosa de aprendizagem e renovação do seu próprio conhecimento. É importante retirar as falsas impressões acerca dos problemas educacionais brasileiros de nível superior, onde normalmente a falta de recursos financeiros é inserida como percalço principal e intransponível. Por outro lado, onde há abundância de recursos, uma forte pressão por resultados se interpôs no processo, ocasionando uma migração em massa na forma da simples transposição dos materiais impressos para os eletrônicos, sem nenhuma preocupação sobre as metodologias de ensino que continuaram a ser empregadas de forma tradicional [Petro, 1999]. Em [Baiocchi, 2005], o autor discursa

sobre a situação atual e as perspectivas do ensino de engenharia nos Estados Unidos da América. As principais dificuldades relatadas estão citadas a seguir:

- pouco interesse nos estudantes nas áreas de matemática e ciências;
- alunos chegam despreparados ao ensino superior;
- diversidade pobre em relação aos alunos que chegam, enfatizando principalmente o pouco número de mulheres e membros das minorias étnicas e sociais;
- custo elevado nos equipamentos necessários para o ensino de engenharia;
- troca rápida e constante da tecnologia;
- falta de comunicação entre a academia e a sociedade.

Com relação aos processos de ensino aprendizagem, o autor argumenta que é necessário uma readequação, incentivando a diversidade de necessidades acadêmicas, manutenção dos valores éticos e sociais, valorização dos conhecimentos científicos básicos, incorporação rápida das novas descobertas e das tecnologias de ponta, implementação de formas de modificar currículos em estruturas rápidas e eficientes, e criação de canais de comunicação entre professores/alunos e universidades/empresas de forma crítica e inclusiva. Além disso, novas habilidades e objetivos devem ser estimados e planejados em todas as etapas da formação do aluno.

É interessante notar que várias das observações feitas pelo autor condizem com a realidade brasileira, apesar do distanciamento econômico entre as duas nações, principalmente no que concerne ao despreparo dos alunos quando ingressam em um curso superior. Além disso, mesmo para instituições que possuem um grande aporte financeiro, a questão do custo dos equipamentos e a troca rápida da tecnologia se tornam obstáculos consideráveis. Aspectos importantes também aparecem no desenvolvimento dos processos de ensino aprendizagem que o autor estabelece, incluindo a criação de canais de comunicação mais profícuos para que o diálogo se estabeleça entre professores e alunos, instituições acadêmicas e empresas. É notório que, no modelo pedagógico centralizado no professor – o que sabe *tudo* –, qualquer forma de diálogo é estrangida pela própria postura do mestre em relação a seus “discípulos”. Se, por outro lado, o diálogo torna-se elemento precursor e necessário do processo, uma nova concepção metodológica deve ser apreciada.

Outros estudos apontam para direções semelhantes, como em [Collis, Carleer, 1993], onde os resultados foram obtidos de forma massificada em 15 mil alunos do Canadá, Estados Unidos da América, Irlanda, Holanda, Israel e Inglaterra. Os autores frisaram a dificuldade dos professores em utilizar a tecnologia, necessidade de uma constante remotivação de alunos e professores, além de problemas apontados pelos docentes que consideravam a avaliação através de meios eletrônicos muito difícil de documentar.

No entanto, algumas considerações devem ser feitas em relação ao tema específico deste trabalho, o ensino de heurísticas e metaheurísticas:

- uma heurística nada mais é do que uma *boa* idéia aplicada a um problema difícil e que leve a uma *boa* solução. Desta forma, usualmente não são necessários equipamentos especiais ou máquinas de grande monta para a realização de experimentos ou mesmo desenvolvimento de pesquisas científicas de ponta. O desenvolvimento dos modelos matemáticos exige

muito mais criatividade e concentração do que propriamente recursos financeiros;

- como qualquer outra área ligada a engenharia e tecnologia, a falta de alunos é um problema constante.

Outras considerações devem ser realizadas sobre o tema específico. Apesar de extremamente relevante no que concerne à aplicabilidade, o ensino de heurísticas e metaheurísticas é, pedagógica e tecnologicamente, normalmente apresentado de forma desinteressante e dependente da fórmula *giz + quadro-negro* (método bancário definido por FREIRE, 1987). O ensino de heurísticas e metaheurísticas, que usualmente apresenta um embasamento matemático forte e necessita um grande número de passos para que o processo faça sentido, torna-se desestimulante se realizado através de um processo didático tradicional.

Quando se fala no ensino de heurísticas e metaheurísticas, a atenção se volta, principalmente, para a modelagem, solução e análise de problemas decisórios, sendo que um estudo de caso completo corresponde à realização de experimentos numéricos com modelos lógico-matemáticos. Estes experimentos envolvem geralmente grande volume de cálculos repetitivos, fazendo-se necessário o uso intensivo do computador. Também se torna necessário o emprego de um conjunto de fórmulas e técnicas matemáticas que, se não forem ilustradas de forma aplicada, corre-se o risco de que o alcance destas não seja compreendido pelos alunos (DÁVALOS, 2002).

Existe um vácuo tecnológico e pedagógico que precisa ser preenchido para que o ensino das técnicas de heurísticas e metaheurísticas se torne mais acessível para o corpo discente. Estas técnicas usualmente são discutidas dentro dos cursos de engenharia, administração e informática. No entanto, a simples exposição de cada técnica não provê ao aluno a aprendizagem significativa necessária para a real compreensão do fenômeno que está sendo investigado. Para que uma técnica seja eficientemente explorada e compreendida pelo aluno, ele precisa verificar como seu funcionamento altera as soluções encontradas no decorrer do processo, assim como os parâmetros alteram as mesmas. No entanto, as questões envolvendo a implementação das diferentes técnicas inviabilizam que todas as mesmas possam ser desenvolvidas por completo pelos alunos.

3.2 A Escolha do Problema do Caixeiro Viajante

A escolha do problema, ou problemas, que podem ser utilizados como suporte as aulas de heurísticas e metaheurísticas é crucial para o bom desenvolvimento da disciplina. A escolha do problema a ser resolvido pelos alunos deve ser bastante criteriosa. Se, por um lado, é importante que o mesmo seja o mais realista possível, para que os participantes se sintam naturalmente atraídos pela situação que, possivelmente lhes é familiar, o professor também deve ter em mente que o problema deve, necessariamente, ter soluções viáveis. Como a área de heurísticas e metaheurísticas é bastante ampla e a gama de problemas que pode ser resolvido é extremamente densa e rica, a primeira tarefa do professor é o estabelecimento de uma meta ou problema objetivo, que vai ser discutido durante toda a disciplina. Mesmo que, aparentemente, a exploração de um único problema possa condensar sobremaneira o séquito de problemas possíveis dentro da área de pesquisa operacional, a intenção de uma disciplina introdutória de heurísticas e metaheurísticas deve prover meios dos alunos repensarem suas próprias idéias acerca

de conceitos básicos como *melhor escolha* ou *melhor rota* em um dado problema. O aprendizado de pesquisa operacional não pode estar centrado no conhecimento de um ou outro algoritmo, e sim nos obstáculos e preceitos básicos que permeiam todas as situações, independente do problema que está sendo atacado. Desta forma, é possível que um aluno consiga generalizar os conhecimentos construídos para resolver os mais diferentes problemas.

Considerando as asserções apresentadas acima, a decisão do grupo de pesquisa foi de utilizar um único problema para as aulas de heurísticas e metaheurísticas, sendo que o escolhido foi o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). O PCV é, provavelmente, o mais conhecido e estudado dos problemas de otimização. Sua fácil aplicação nos mais diversos campos do saber o levaram a um patamar diferenciado dos demais, pois inúmeros pesquisadores, das mais diferentes áreas, convergiram seus esforços para a resolução adequada do mesmo. Apesar da complexidade bem conhecida do mesmo, sua formulação, mesmo matemática, é simples e intuitiva, o que o torna um problema ideal para estudantes de graduação que o reconhecem imediatamente como uma questão a ser resolvida, apesar de muitos não enxergarem, em um primeiro momento, a explosão combinatória de soluções possíveis e sua conseqüente influência no tempo computacional gasto para resolver os problemas na otimalidade.

4. O LOBO

Definidos a área e a metodologia, faltam as ferramentas. Neste capítulo, apresentamos as principais características do LOBO (*Learning Object Based on Optimization*), que foi desenvolvido com o objetivo de propiciar aos professores e alunos uma base comum para as experimentações necessárias à condução das atividades didáticas que envolvem o ensino na área de heurísticas e metaheurísticas. Como apresentando anteriormente, a didática nesta área do saber é carente de ferramental e pesquisas que envolvam especificamente os aspectos tecnológicos e didáticos do fazer e aprender dos professores e alunos. Como forma de apresentar tanto um objeto *de aprendizagem* como uma ferramenta de auxílio a condução das disciplinas que explorem a área de heurísticas e metaheurísticas para problemas combinatórios, foram definidos duas formas, ou modos, para a utilização do objeto: o modo tutoriado e o modo *expert*.

O modo tutoriado apresenta uma série de telas informativas ao usuário, fornecendo dicas e informações acerca da implementação do LOBO, bem como explicações mais detalhadas dos algoritmos implementados e a teoria do desenvolvimento de heurísticas e metaheurísticas. O modo *expert* não apresenta estas informações, transformando o LOBO, deste modo, em uma ferramenta de experimentação pura, onde os resultados são interpretados pelos próprios usuários. As funcionalidades do LOBO são: (a) utiliza uma área de simulação gráfica para a visualização das rotas construídas pelos algoritmos; (b) utiliza da simulação passo-a-passo para que o aluno possa acompanhar cada variação da seqüência algorítmica; (c) implementa cinco heurísticas e duas metaheurísticas, de forma a contemplar diferentes aspectos da resolução do PCV; (d) apresenta um modo tutoriado para que o aluno consiga navegar na interface e na definição dos problemas e algoritmos na forma informada; (e) apresenta cinco conjuntos de problemas já prontos para serem testados e permite carregar ou criar novos dados; (f) disponibiliza, dentro de si mesmo, o próprio

código fonte da aplicação, para que os alunos possam utilizar de todo o arcabouço gráfico no desenvolvimento de seus próprios algoritmos; e (g) apresenta dados estatísticos relativos a aplicação dos algoritmos para fins de comparação de técnicas.

Os modelos pedagógicos normalmente utilizados para o desenvolvimento de objetos de aprendizagem são centralizados no aluno, onde este é considerado o principal sujeito da construção do seu próprio conhecimento. O LOBO é plenamente condizente com este aspecto, pois o sistema fornece ao usuário uma gama rica de opções e possibilidades de interação, trazendo informações relevantes sobre cada aspecto das simulações que podem ser desenvolvidas. O professor pode fornecer instruções sobre quais problemas resolver ou direcionar a utilização do objeto através de conjuntos de dados específicos mas, em última análise, o aluno está sob seu próprio julgamento ao trabalhar com o simulador podendo, inclusive, desligar o modo *tutoriado* e utilizar o sistema sem qualquer tipo de auxílio.

A experimentação e a interação social são os principais instrumentos para o funcionamento adequado de um modelo pedagógico que utiliza um sistema computacional como mediador. A primeira característica pode ser definida como o próprio cerne do desenvolvimento do LOBO, cujo objetivo central está na condução de experimentos com os algoritmos de otimização combinatória. A própria liberdade que é fornecida ao aluno, como comentado anteriormente, está coerente com esta expectativa. Muito mais que os acertos, os erros cometidos pelos alunos – aqui traduzidos como simulações com resultados ruins – trazem valiosas experiências e maturidade para o pensamento científico acerca do que está sendo observado, principalmente no que concerne à construção de heurísticas novas ou modificações nos algoritmos já consagrados. O professor pode auxiliar neste processo, trazendo problemas instigantes e que conduzam a resultados ora satisfatórios e ora frustrantes, com o intuito de inculcar nos seus alunos os pontos positivos e negativos de cada heurística ou metaheurística estudada. Dificilmente, nesta área do conhecimento, há a definição de métodos heurísticos que conduzam a um desempenho satisfatório para a imensa gama de problemas e sub-problemas definidos na literatura. Usualmente, algoritmos que trazem ótimos resultados para uma classe de problemas podem ter desempenho pífio em outra ligeiramente diferente. Desta forma, é muito mais importante que os alunos reconheçam as limitações e os aspectos positivos das heurísticas e metaheurísticas como um todo do que simplesmente decorar o funcionamento de um ou mais algoritmos. É neste ponto específico que um simulador pode atuar de forma mais intensiva, fornecendo um ambiente único e controlado que pode ser experimentado pelos usuários e testado a exaustão, fornecendo detalhes e dados que poderão ser analisados de forma criativa pelos professores e alunos.

Em relação a interação social entre os alunos e seus colegas ou mesmo entre os alunos e o(s) professor(ers), o LOBO não possui nenhuma ferramenta ou funcionalidade específica para o mesmo. No entanto, sua utilização pode ser fundamentada através de um ambiente que o cerque, utilizando o objeto como ponto de apoio para as discussões. Professores podem fornecer dados e/ou algoritmos que devam ser implementados no LOBO e listas de discussão acerca dos detalhes técnicos ou dos resultados atingidos podem ser abertas, gerando uma gama de conhecimento que pode extrapolar até mesmo os objetivos iniciais. Alunos usuários do LOBO podem compartilhar suas experimentações e até mesmo estabelecer *campeonatos* de algoritmos, tentando

encontrar a combinação ou a implementação de heurísticas e metaheurísticas que gere o melhor resultado para um ou mais problemas escolhidos. Neste caso, o professor pode sugerir novos problemas, particularmente difíceis, disponíveis na literatura [Reinelt, 1991]. Outro aspecto importante versa sobre a necessidade dos objetos de aprendizagem serem desafiadores, promovendo a motivação necessária para a investigação. O LOBO apresenta cinco problemas e uma coleção de algoritmos que podem ser utilizados para sua solução. Além da aplicação direta das heurísticas sobre os problemas selecionados, o objeto é fornecido para os professores e alunos na sua forma não compilada, ou seja, seu código fonte. De posse deste, é relativamente fácil para alunos familiarizados com a linguagem Java produzirem extensões do LOBO, criando ou implementando heurísticas clássicas da literatura. A vantagem da utilização do código fonte do objeto está na utilização de uma estrutura pronta e bem definida, assim como a disponibilidade de processos de simulação e visualização. Desta forma, os alunos não precisam se deter em aspectos acessórios, como a leitura dos dados do sistema ou a forma de visualizar a construção de uma solução. Todo este processo já está implementado no LOBO, poupando tempo e deixando a cargo dos alunos a possibilidade de se concentrar no objetivo central do trabalho a ser desenvolvido. Como mencionado anteriormente, é possível criar verdadeiros *campeonatos* de algoritmos, estimulando grupos de alunos a competir entre si através dos resultados alcançados pelos seus algoritmos. Com a facilidade de visualizar graficamente e a qualquer momento a solução que está sendo construída, assim como seu custo, é possível motivar os alunos a explorarem as possibilidades e interagir com o ambiente de forma mais produtiva.

Ainda em relação a este aspecto, é importante salientar que o material introdutório ao Problema do Caixeiro Viajante, contido no próprio objeto, traz aspectos importantes acerca do problema que podem ser utilizados como um fator motivacional adicional. Através do entendimento das aplicações práticas do problema teórico, condizentes com seu universo, os alunos tendem a considerar com especial interesse o assunto em questão. “A relação entre prática e teoria, que deve levar em conta a realidade do aluno (seja seu ambiente de trabalho, comunidade, família) tem por objetivo transformá-lo, capacitando-o para atuar também como profissional responsável e transformador de seu meio (empresarial, social, ambiental)...Os desafios (ou situações-problema) pretendem ser, em última instância, dispositivos facilitadores dos processos de aprendizagem e da construção do conhecimento, entendendo aprendizagem como a aquisição em função da experiência e se desenvolvendo no tempo, diferentemente da percepção e da compreensão instantânea, que são processos imediatos”[Reichert, Costa, 2005]. Assim, a dissociação entre a teoria acadêmica (algoritmos heurísticos) e a aplicação (problemas e soluções) inibe a possibilidade da construção de conhecimentos significativos, pois o vácuo entre as duas fronteiras permeia os alunos em um limbo pseudo-acadêmico que, por um lado, não fornece de modo adequado as possibilidades do aluno pensar cientificamente, gerindo e expandindo seu conhecimento e, por outro, não o capacita para atuar profissionalmente.

Finalmente, em relação a disponibilidade do objeto de aprendizagem, ou seja, a possibilidade da interação com o mesmo em qualquer lugar e de qualquer modo, o LOBO atinge parte destes propósitos. Desenvolvido com a tecnologia Java, ele pode ser simulado em qualquer computador que provenha esta tecnologia, independente do *hardware* e sistema operacional. No entanto, a tecnologia baseada no JWS ainda não

permite sua migração para dispositivos portáteis como celulares ou computadores de mão.

5. Conclusões

O processo de ensino-aprendizagem de heurísticas e metaheurísticas pode ser realizado totalmente através da metodologia problematizadora, pois o próprio cerne das questões levantadas sob o aspecto dos algoritmos desenvolvidos e as teorias matemáticas que os embasam foram construídos através de problemas muito bem definidos. Desta forma, o casamento entre os conteúdos e a educação dialógica-problematizador é perfeitamente realizável. No entanto, não é a simples exposição de problemas que garante o efetivo aprendizado do aluno nem a eficácia desta metodologia. A correta aplicação da metodologia dialógica-problematizadora decorre, também, da condução das etapas através do dirigente do processo, o professor. A discussão das teorias e idéias dos alunos só tem significado científico dentro de um processo curricular através da *sistematização* daquilo que foi construído coletivamente, ou seja, pelo desenvolvimento da *melhor solução educacional no momento*.

Outro fator importante a observar está no fato de que alguns alunos não estão prontos para esta mudança, por medo ou acomodação. Afinal, sempre foi mais *fácil* estudar alguns dias antes para uma dada prova formal do que desenvolver um trabalho mais complexo durante um semestre inteiro, participando diligentemente do processo. Nestes casos, cabe ao professor dirigir o processo, explicando as vantagens da construção do conhecimento pelo fazer e pensar do que simplesmente pelo decorar. Não faltam exemplos na sociedade moderna, dita sociedade da informação, que corroboram a tese do que *aprender a aprender* é muito mais importante do que saber alguma técnica ou metodologia de cor. Por outro lado, as discussões em sala de aula podem se tornar abrangentes demais e, da mesma forma, cabe ao professor, dirigente do processo – apesar de não ser mais o único detentor do conhecimento – trazer novamente os alunos para o foco da disciplina. Desta forma, há espaço para discussão e debates de idéias novas e, potencialmente, profícuas, mas também há a necessidade de se consolidar um determinado conteúdo que faz parte de uma disciplina de graduação.

Um aspecto crucial nesta metodologia, é que o professor, ou grupo de professores, continua sendo essencial para o desenvolvimento das aulas. Apesar de não ser o centralizador do conhecimento, pois ele já o partilha desde o início, deixando que os próprios alunos possam construí-los e desenvolvê-los a partir de suas idéias individuais e coletivas, o professor deve dirigir as aulas, conduzindo os alunos ao conteúdo que está sendo desenvolvido.

6. Referências

- Angotti, J. A. P., Delizoicov, D. N. “Met. do Ensino de Ciências”. São Paulo: Cortez, 1990.
- Baiocchi, Orlando R. “Engineering Education in the United States”. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE, Campina Grande, PB, 2005.
- Collis, B., Carleer, G. “The effects of technology-enriched school intervention: a multiple case-study analysis”. Computer and Education, Oxford, v. 21, n.1 e 2. p.151-162, 1993.
- Damásio, António R. “O Mistério da Consciência”. São Paulo : Companhia das Letras, 2000.
- Dávalos, R.V. “Uma Abordagem do Ensino de Pesquisa Operacional Baseada no Uso de Recursos Computacionais”. In: ICETE. 6. Proceedings... Santos. Brasil, 1999.

-
- Flemming, D.M., Luz, E.F. "A educação à distância nas engenharias: relatos de uma experiência". In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 28. Ouro Preto, 2000.
- Freire, Paulo. "Pedagogia do Oprimido". Rio de Janeiro: Paz e Terra, 17 edição, 1987.
- Horowitz, E., Sahni, S., Rajasekaran, S. "Comp. Algorithms C++", Comp. Science Press, 1998.
- Petro, M.L. "Políticas públicas educacionais: dos materiais didáticos aos multimídias". In: Reunião Anual da Associação de Pós-Graduação em Educação, 1999.
- Popper, K. "Verdade, racionalidade e a Expansão do Conhecimento Científico". In: Conjecturas e Refutações (Popper, K. (org.)). Ed. Universidade de Brasília, 1983.
- Linsingen, I. "Formação do Engenheiro: Desafios da atuação docente, tendências curriculares e questões contemporâneas da educação tecnológica". Florianópolis: UFSC, 1999.
- Reichert, Clovis Leopoldo. "Metodologia dos Desafios: problematização e sentido em Ambientes Virtuais de Aprendizagem". In: RENOTE. v. 3. n.1, maio, 2005.
- Reinelt, G. "TSP-LIB – A Traveling Salesman Library". ORSA Journal of Computing, n.3, p. 376-384, 1991.
- Souza, Analucia C.P., Pereira, Mariângela. "Tendências em Educação Matemática em um Curso de Extensão Universitária". In: XXVIII CNMAC. São Paulo, 2005.
- Tullio, A.A. "A prática pedagógica do professor de Engenharia Agrônômica". In: Ciencia agrícola, n. 52(3). p.594-603. Piracicaba, set/dez. 1995.