



AMBIENTE ELETRÔNICO PARA ENSINO DE CÁLCULO EM ENGENHARIA

Antonio Augusto T. P. de Moraes – amoraes@sj.unisal.br, antonio@decom.fee.unicamp.br

Daniel Rinaldi de Mendonça – cientecmecatrom@ig.com.br, danielrinaldi@ig.com.br

Diretoria de Pós-Graduação e Pesquisa

Centro Universitário Salesiano – UNISAL, Campus São José

Av. Almeida Garret, 267 – Jd. Ns. Senhora Auxiliadora

CEP 13087-290 – Campinas – São Paulo

Departamento de Comunicações – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Cidade Universitária Zeferino Vaz

CEP 13081-970 – Campinas – São Paulo

***Resumo:** Este artigo discute a problemática do ensino de disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral nos cursos de graduação em engenharia, especialmente no contexto das instituições de ensino privado. A fim de enfrentar essa problemática e sob a perspectiva construtivista de ensino, apresenta-se um ambiente eletrônico baseado em softwares científicos e/ou matemáticos para auxílio ao ensino de Cálculo. O produto final é um livro “vivo” acessível via WWW, tendo como alicerce o software Mathcad, amparado por outras ferramentas como Linguagem C, Matlab, Maple e HTML. Desta forma, um ambiente completo para o ensino da teoria é proposto, com alta capacidade de visualização de conceitos, estática ou animada, bem como alto grau de interatividade. Tal recurso pode ser utilizado não somente em um curso semestral de Cálculo, mas também em monitorias, aulas de revisão, como material de consulta para alunos mais avançados ou mesmo engenheiros e como ferramenta de ensino a distância (EAD). Os benefícios de sua utilização são discutidos.*

***Palavras-chave:** Cálculo, Construtivismo, Ensino de engenharia, Livro eletrônico, Mathcad, WWW*

1. INTRODUÇÃO

Dentre as disciplinas que compõem o ciclo básico dos cursos de engenharia, Cálculo Diferencial e Integral tem se mostrado como uma das que proporcionam maiores dificuldades para os estudantes, bem como uma das que mais geram deficiências acumuladas. Fatores como uma formação matemática insatisfatória herdada do ensino médio e o alto grau de abstração e raciocínio lógico exigidos para a assimilação da teoria podem ser responsabilizados pelas dificuldades dos estudantes em Cálculo. Não obstante, trata-se de uma disciplina de fundamental importância na formação do engenheiro, sendo as deficiências acumuladas extremamente prejudiciais para o acompanhamento das disciplinas do ciclo profissional nas universidades.

Dado o contexto introduzido, pode-se dizer ainda que os problemas apresentados são consideravelmente potencializados se pensados no âmbito das instituições de ensino privado. Além do baixo aproveitamento no ensino médio em geral trazido pelo aluno, o fato de não raro haver uma interrupção nos estudos entre a conclusão do ensino médio e o ingresso no ensino superior, a concorrência do estudo com obrigações de trabalho e o stress do dia-a-dia, dentre outros, tornam disciplinas como Cálculo um desafio por vezes massacrante para os alunos, chegando a gerar bloqueios de ordem psicológica, atritos com o professor e até mesmo abandonos de curso. Situações como essas têm sido observadas. Portanto, nessas instituições, torna-se urgente a necessidade pelo desenvolvimento de métodos alternativos para se lecionar disciplinas como Cálculo.

Ao longo dos anos, o Cálculo tem sido ministrado de maneira clássica, seguindo as técnicas tradicionais do ensino de matemática. Isto é, um livro texto é normalmente adotado, aulas expositivas introduzem a teoria ao aluno, exemplos são resolvidos em sala de aula a fim aplicar a teoria apresentada e exercícios e/ou problemas são propostos com o intuito de solidificar o conhecimento. Nesse contexto, tem estado a cargo das habilidades oratórias do professor a responsabilidade de introduzir conceitos matemáticos abstratos e complexos, bem como de suas habilidades ilustrativas a responsabilidade de ilustrar conceitos que envolvam interpretações gráficas ou geométricas. Alguma evolução tem se verificado nos livros didáticos sobre o tema, saindo-se de uma abordagem formal, como em PISKUNOV (1984), DEMIDOVICH (1978) e AYRES (1972), em direção a outras mais modernas, como em LEITHOLD (1982), MUNEM e FOULIS (1992) e, mais recentemente, EDWARDS e PENNEY (1997); porém, sem que essa mudança tenha sido acompanhada de reflexo significativo no sentido da aprendizagem.

Por outro lado, a maneira de se pensar em educação evoluiu consideravelmente no decorrer do século XX e segue evoluindo. Uma abordagem objetivista tem sido questionada em favor de outras alternativas e novos paradigmas. A filosofia do ensino construtivista, segundo a qual o conhecimento é construído e não simplesmente transmitido, tem ocupado crescente espaço no cenário educacional – JONASSEN (1996). Adicionalmente, o perfil desejável para o professor caminha para estar cada vez mais distante da visão conservadora do mestre detentor e transmissor do conhecimento, aproximando-se daquela do mediador e facilitador do processo de aprendizagem, como colocam muito bem MORIN (2000) e PERRENOUD (2000).

Paralelamente, o desenvolvimento da computação eletrônica, especificamente o surgimento de softwares científicos e matemáticos com alta capacidade de cálculo numérico e algébrico, de resolução de problemas e apresentação de resultados em alta qualidade visual, tem auxiliado de forma relevante profissionais de engenharia e pesquisadores em suas atividades. Todavia, o potencial desses softwares ainda não tem sido amplamente explorado no que diz respeito a sua aplicação ao ensino. Especialmente, a capacidade de tais softwares para visualização, simulação e comprovação de resultados pode contribuir muito para o

processo de ensino de Cálculo. Parece então ser uma idéia promissora pensar em adaptar essas ferramentas a fim de minimizar as dificuldades enfrentadas pelos estudantes no aprendizado dessa disciplina.

Este artigo discute as dificuldades no ensino de Cálculo nos cursos de engenharia nas universidades privadas brasileiras e apresenta um ambiente baseado no software Mathcad, auxiliado pelas Linguagens C, Matlab, Maple e HTML para auxílio ao ensino dessa disciplina. Propõe-se um ambiente integrado para estudo da teoria, enriquecido com visualização estática ou animada de conceitos, simulação e resolução de exercícios, objetivando-se substituir uma abordagem conservadora e formal no ensino de Cálculo por outra voltada à filosofia do construtivismo e que torne o aprendizado mais fácil e proveitoso para os alunos.

2. O ENSINO DE CÁLCULO

A natureza abstrata e simbólica das ciências matemáticas faz com que seu aprendizado passe por um processo mental de decodificação de simbolismos em entidades abstratas e de conexão de raciocínios complexos que combinam essas entidades em busca da síntese de novas abstrações. Por outro lado, a natureza filosófica desta ciência fundada na lógica agrega à mesma um caráter exato, exigindo que tais raciocínios obedeçam a princípios e regras bem definidos sobre os quais ela se apóia e, portanto, os quais não pode contrariar. Sendo assim, o caminhar na matemática deve ser acompanhado de um formalismo e um rigor cuidadoso no trato com as idéias a fim de evitar raciocínios enganosos que levem a conclusões incorretas.

Devido a esses aspectos, a metodologia do ensino superior das ciências matemáticas não tem se modificado consideravelmente no decorrer da história. É adotada uma ênfase no formalismo e rigor dedutivo na apresentação da teoria a fim de conduzir o aluno através dos raciocínios que deram origem à mesma, convencendo-o e assim provocando a assimilação do conhecimento. A fixação do conhecimento é promovida através da resolução de exemplos e exercícios, os quais reafirmam a teoria apresentada e por vezes vislumbram aplicações da mesma em situações concretas.

No que tange ao Cálculo Diferencial e Integral, essa a ênfase foi fortemente adotada, principalmente na antiga escola soviética. Essa escola caracteriza-se por uma abordagem teórico-dedutiva com intensa verticalização no sentido da complexidade, como pode ser observado em obras como PISKUNOV (1984) e DEMIDOVICH (1978). O formalismo e precisão das demonstrações e deduções e os exercícios de difícil resolução são característicos dessas obras. Foram amplamente adotadas em cursos de Cálculo nas décadas de 70 e 80, bem como outras que se aproximavam dessa linha, como AYRES (1972) e LANG (1973). Acompanhando essa tendência, professores costumavam ser exigentes e alunos de engenharia passavam por uma formação semelhante àqueles dos cursos superiores de física e matemática.

Uma modificação importante nos livros didáticos de Cálculo foi a introdução de abordagens apoiadas na geometria analítica, a fim de que uma assimilação mais fácil fosse obtida via uma linguagem gráfica precisa. Nesse contexto, LEITHOLD (1982) foi uma obra marcante, seguida por outras que adotaram a mesma estratégia, como SIMMONS (1988). Outros autores optaram por uma ênfase nas aplicações do cálculo em outras áreas de conhecimento. É o caso de GOLDSTEIN et al (1981).

Seguindo em direção a uma apresentação menos formal, MUNEM e FOULIS (1992) adotaram uma síntese da teoria, enriquecida com ilustrações gráficas de alta qualidade, acompanhada de exemplos e exercícios, além de ênfase nas aplicações. Este tem sido o estilo assumido pela maioria dos autores. Mais recentemente, alguns têm introduzido um ou outro elemento, como é o caso de EDWARDS e PENNEY (1997) com a utilização de recursos

computacionais, STEWART (2001) ao adotar a proposição de projetos e THOMAS e FINNEY (2002) ao disponibilizarem recursos via Internet.

A evolução verificada nos livros didáticos tornou sua leitura mais confortável, porém a abordagem dentro de sala de aula não pôde fugir muito daquela descrita anteriormente. O professor como ator lança mão de suas habilidades para tentar trazer o abstrato para o concreto ou na maioria das vezes transportar o aluno, espectador passivo, para o abstrato, conduzindo-o ao conhecimento. Todavia, vivemos em um mundo concreto, lidamos com coisas palpáveis e realidades facilmente observáveis em nosso dia-a-dia, por isso não utilizamos nossa capacidade de abstração freqüentemente. Portanto, entrar em uma sala de aula e imergir no abstrato não é uma obrigação fácil, exigindo um esforço por parte de professor e alunos muitas vezes insuficiente para atingir o nível de compreensão desejado. O ideal seria transportar o Cálculo para o mundo concreto dos alunos estabelecendo um paralelo entre ambos, mas nem sempre é possível. Melhor ainda, se isso pudesse ser feito com aplicações na realidade prática, da engenharia.

Desta forma, Cálculo sempre foi caracterizada como uma disciplina problemática no ensino superior. Adicionalmente, quando se encontra no contexto das universidades privadas essa problemática toma uma dimensão ainda maior. O perfil histórico-educacional e social dos alunos contribui para que as dificuldades sejam potencializadas.

3. EXPERIÊNCIA DIDÁTICA EM CÁLCULO

Descreve-se aqui uma experiência ocorrida em 2002 como professor da disciplina Cálculo II para os cursos noturnos de Engenharia Mecatrônica e Engenharia de Telecomunicações do Centro UNISAL – Campinas, bem como relatos da monitoria dessa disciplina no mesmo período.

O programa consistiu basicamente do Cálculo Diferencial e Integral para funções de mais de uma variável. Optou-se por uma abordagem expositiva e por não adotar um livro texto a fim de que se pudesse focalizar os aspectos que se desejava enfatizar. Em adição, apresentou-se o conteúdo na lousa de forma a prover aos estudantes um registro bem organizado para estudo e que correspondesse ao conteúdo visto em sala de aula, dado o pouco tempo que os mesmos dispunham para estudar fora de classe. Após cada tópico apresentado, eram resolvidos exemplos em sala a fim de fixar a teoria. Como complemento, foram oferecidas listas de exercícios aos alunos cuja resolução era entregue uma ou duas semanas após. Apesar de não se ter adotado uma referência como livro texto, sugeriu-se MUNEM e FOULIS (1992) como leitura preferencial.

Pode-se dizer que se partiu de uma abordagem clássica, mas com um esforço em sala de aula no sentido de substituir o formalismo por uma argumentação mais convincente e de trazer na medida do possível os conceitos abstratos para a realidade concreta.

3.1 Os alunos

Ministraram-se aulas para 4 turmas, cada qual com cerca de 30 alunos. Puderam ser localizados três perfis marcantes nessas turmas. Foram encontrados alunos oriundos do ensino técnico e que trabalham em empresas exercendo atividades como técnicos em manutenção e/ou eletrônica. Também, havia aqueles que estavam retomando os estudos depois de um longo período afastados devido suas necessidades de auto-sustentação. Por fim, complementavam aqueles que se dedicavam exclusivamente aos estudos.

No primeiro caso, observou-se uma forte tendência em se tentar atribuir sentido prático ao conteúdo apresentado e um desconforto com relação a aspectos de caráter mais teórico. No segundo, foi notória a dificuldade em retomar a matemática do ensino médio quando a mesma

foi necessária. Em ambos os casos os estudos concorrem com as obrigações de trabalho, normalmente os alunos se deslocam diretamente de seus ambientes de trabalho para a universidade e estão em busca de complementar sua formação a fim de galgar melhores posições em suas empresas. Finalmente, no terceiro perfil observou-se um maior interesse pelos resultados das avaliações do que pela assimilação do conteúdo.

Os alunos dos cursos de engenharia têm aulas todas as noites durante os dias úteis e aos Sábados pela manhã também. Assim, dado o perfil dos mesmos, a maioria só dispunha dos finais de semana para realizar tarefas e estudar fora de classe.

3.2 Ecos da sala de aula

No decorrer das aulas pôde-se perceber que os estudantes tinham muitas dificuldades em acompanhar o curso. Rapidamente, notou-se as deficiências que os alunos carregavam acumuladas. Era comum se justificar uma falta de compreensão no presente com outra no passado, principalmente por aqueles que haviam passado por uma interrupção nos estudos. Com relação à matemática do segundo grau, queixavam-se de não possuírem alguns conceitos básicos, como os de logaritmos, simplificação de expressões e produtos notáveis. Em adição, houve reclamações quanto aos conceitos vistos em Cálculo I. Muitos disseram não terem assimilado esses conceitos quando da tentativa de estendê-los ao Cálculo II. Em não conseguindo ultrapassar esses obstáculos, alguns eram tomados pelo desânimo.

Somadas a isso, as dificuldades no entendimento da linguagem matemática e na interpretação gráfica de conceitos dificultavam a assimilação e contribuíam para aumentar o abatimento. Estas podem ser vistas em parte como devidas a uma falta de convivência com a matemática. A formação técnica encontrada em um dos perfis da turma pode também ser responsabilizada, pois há uma certa pré-disposição em não teorizar, não abstrair. Acostumou-se a buscar um significado rápido e direto em tudo e quando a procura é mais rebuscada acaba-se desistindo no meio do caminho. Adicionalmente, o cansaço mental dos alunos após um dia de trabalho também é um fator relevante.

Os alunos estão mais preocupados em aprender a resolver exercícios do que estudar a teoria proposta. Acredita-se que isto é parcialmente conseqüência de não conseguirem acompanhar o nível de teorização necessário para a compreensão dos conceitos apresentados. Além disso, o esforço mental é menos cansativo quando se resolvem exercícios, adquire-se a falsa impressão de aprendizagem do conteúdo quando se consegue acompanhar a resolução por parte do professor e, principalmente, existe uma preocupação constante com a contribuição da resolução de exercícios para as avaliações.

Muitos estudantes em engenharia questionam onde as ferramentas de Cálculo são aplicadas na prática. Colocou-se que *“Talvez a falta de exercitar problemas de aplicação cause a falta de incentivo para o estudo de Cálculo e muitos alunos por esse motivo estudam apenas para tirar a nota”*. Na medida do possível, procurou-se mostrar a importância de uma boa formação em Cálculo Diferencial e Integral a fim de se construir uma base sólida para o restante da educação, que é natural uma ansiedade em imergir rapidamente na engenharia, mas que só se poderia vislumbrar as aplicações que estivessem ao alcance do conhecimento ora presente, que outras disciplinas viriam trazer outras aplicações. O questionamento por aplicações pode também ser interpretado como trazendo uma mensagem subliminar de apelo para distanciamento dos aspectos mais teóricos e abstratos.

Os alunos não se sentem à vontade para fazer perguntas ao professor. A quantidade de dúvidas que aparecem em um grupo de estudo é bem superior àquelas que são colocadas em sala de aula. Em seu íntimo, o aluno reconhece que existem deficiências trazidas de seu histórico-educacional anterior. Surge assim uma timidez em externar ao professor as dúvidas provenientes dessas deficiências. Exteriorizar esse reconhecimento geraria um desconforto

perante o professor e os colegas, agredindo a auto-estima do aluno. Por vezes é preferível transferir o problema para questionamentos sobre mais exercícios, aplicações e outros. Não obstante, deve-se considerar e analisar cuidadosamente todas as possibilidades.

Inconformados com a situação, muitos sugerem ao professor mudanças que são avaliadas e não são efetivadas. “*Pagamos a universidade para aprender!*”. A relação aluno-professor se desgasta e problemas são levados a instâncias administrativas. A experiência vivenciada sugere que novas alternativas devem ser investigadas.

4. NOVOS CONCEITOS SOBRE EDUCAÇÃO

A visão de educação e do perfil do educador tem mudado ao longo da história. As mudanças sociais, culturais e novas concepções sobre o comportamento humano fazem com que o processo educativo tenha que ser constantemente repensado e readaptado. Paralelamente, a evolução tecnológica tem trazido facilidades ao nosso cotidiano que também abrem portas para a exploração de novos caminhos para a educação.

4.1 Construtivismo

Tradicionalmente, o conhecimento tem sido repassado de uma forma objetiva, segundo a qual é considerado um objeto estável, fixo e replicável, possuído pelo mestre detentor do saber que o transmite aos aprendizes a fim de que passem a possuí-lo também. Nesse contexto, a aprendizagem é baseada em princípios e regras abstratas universalmente aceitos, extraída de um conteúdo rígido e bem estruturado sobre esquemas pré-condicionados. A absorção do conhecimento passa pela codificação, retenção e recuperação da informação, o que é feito de forma independente e competitiva pelos aprendizes. A aula é expositiva e centrada no professor, que exerce o papel de simplificador do conhecimento, partindo do elementar para o global complexo.

Em contraposição à filosofia objetivista surge o construtivismo, com base nos pressupostos teóricos dos psicólogos Jean Piaget (<http://www.piaget.org/>) e Lev Vygotsky (<http://www.marxists.org/archive/vygotsky/>). Segundo esta filosofia, o conhecimento é construído e não transmitido. Emerge das experiências do sujeito, da interação dele com o meio na tentativa de justificar essas experiências. O significado é construído através de processos relacionais entre experiências ligadas ao conhecimento atual e ao anterior. O conhecimento é flexível, subjetivo e contextualizado, aplicável e não replicável, reinventado no processo de aprendizagem. A aprendizagem é baseada em experiências autênticas e atraentes, na solução de problemas, em articulações e reflexões. O professor não é transmissor do conhecimento, mas apenas cria a situação favorável ao aprendizado, atua ao mesmo tempo no processo. A aula é centrada nos alunos, que absorvem o conhecimento colaborativa e cooperativamente – JONASSEN (1996).

4.2 O professor deve mudar

Em 1999, o filósofo francês Edgar Morin, a convite da UNESCO, organizou um conjunto de reflexões sobre a educação do futuro, estruturadas na forma de sete saberes que deveriam nortear a conduta dos educadores. O ser humano deve antes de tudo compreender a si mesmo e suas limitações, sua falibilidade. Por isso, deve ser capaz de lidar com os erros advindos de sua natureza humana, as cegueiras e incertezas do conhecimento, o inesperado. É preciso saber distinguir o conhecimento pertinente, ser capaz de particularizá-lo para a sua realidade e reorganizá-lo para se adaptar a novas situações. O educador deve, pois, ser capaz de prover essa compreensão.

Paralelamente, o humano deve ter consciência de sua complexidade física e de sua condição humana, compreender como está inserido no contexto social e cultural em que vive, saber situar-se no contexto universal e no terreno.

O educador precisa ensinar como enfrentar as incertezas oriundas da natureza incerta do mundo e do conhecimento. Ensinar a compreensão intelectual, baseada na inteligibilidade e na explicação, e a compreensão humana, que vai além da explicação. O saber lidar com os obstáculos à compreensão, como o egocentrismo, é fundamental. Ensinar a ética do gênero humano é também do educador – MORIN (2000).

Os pensamentos de Morin refletem um deslocamento de uma postura conservadora da educação em direção à outra mais flexível e humana, global e integradora, em busca de agregar valores éticos, consciência e independência no pensar ao homem. Isto impõe ao educador a necessidade de mudar.

Assim como Edgard Morin, o sociólogo suíço Philippe Perrenoud (<http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php.htm>) também apresenta várias propostas para o perfil do professor do futuro. Perrenoud sugere 10 novas competências, sendo que as mais relevantes no contexto deste trabalho são o envolvimento dos alunos em suas aprendizagens e em seu trabalho, o trabalho em equipe, a utilização de novas tecnologias e o enfrentamento dos dilemas éticos da profissão – PERRENOUD (2000).

4.3 A tecnologia no auxílio do ensino

A aplicação científica dos computadores sofreu um grande impulso na década de 60, com o projeto Apolo, culminando com a viagem do homem à lua. A partir desse momento, desencadeou-se um desenvolvimento tecnológico contínuo e acelerado. Hoje em dia, pode-se fazer pesquisa científica em qualquer lugar, bastando para isso um microcomputador equipado com software adequado e acesso à Internet. Para o futuro espera-se uma crescente integração da tecnologia de computadores com a de telecomunicações, o que proporcionará a implementação de sistemas de comunicação interativos de alta qualidade para auxílio às atividades científicas.

Por outro lado, a tecnologia não tem sido tão explorada no auxílio à educação quanto na ciência. Nas escolas, até início dos anos 90 os computadores eram basicamente utilizados na preparação de documentos e apresentações e em atividades de laboratório. Com o surgimento da Internet, as buscas da informação passaram a ser utilizadas. JONASSEN (1996) propõe uma ampla utilização da tecnologia no auxílio ao ensino, fazendo referência à exploração intencional da Internet, meios ambientes de aprendizagem interativa, aprendizado colaborativo com apoio do computador e ferramentas cognitivas, dentre outros. PERRNOUD (2000) sugere a utilização de novas tecnologias como nova competência para o educador, observando a exploração do potencial didático dos softwares, o uso de multimídia e da comunicação à distância.

Paralelamente, o avanço tecnológico tem proporcionado um crescente espaço para outra modalidade de educação, a educação à distância.

4.4 Educação à distância (EAD)

A origem da educação à distância remontam às cartas de Platão e às epístolas de São Paulo. De maneira mais estruturada, iniciou-se nas experiências de educação por correspondência no final do século XVIII, passando por um grande desenvolvimento nos séculos XIX e XX, neste último com a introdução do rádio e televisão como meios de comunicação – KEEGAN (1991). Na entrada do século XXI, com as facilidades oferecidas pelas novas tecnologias, especialmente a alta capacidade de armazenamento e processamento

de informação dos computadores e a Internet, vislumbra-se um cenário crescente em termos de aplicações para essa área. Uma das que vem ganhando força recentemente é o ensino superior, principalmente no contexto das instituições de caráter privado que visam dar suporte às deficiências de seus alunos e também atingir a uma fatia do mercado latente até então.

Como benefícios a EAD traz a não redução da qualidade e a redução do custo em decorrência do aumento número de alunos, a universalização do ensino e a permanente atualização do conhecimento (http://www.intelecto.net/ead_textos/ivonio1.html).

5. A PROPOSTA

Diante da experiência observada, das novas tecnologias e de reflexões sobre os novos rumos que a educação deve seguir, nasceu a necessidade desta proposta. Intenciona-se uma maneira eficiente de compensar as deficiências dos alunos de engenharia das universidades privadas. Para isso, concluiu-se que os alunos deveriam sair de uma postura passiva e interagir com o tema, de maneira a quebrar o formalismo e abrir espaço para uma construção natural do conhecimento.

Pensou-se em um ambiente eletrônico para o ensino de Cálculo, dotado de características construtivistas e de um grande poder de visualização em alta qualidade. O software Mathcad parece ser o mais adequado a essas características. Possui um alto poder de visualização e sua utilização é muito simples. Escreve-se neste software livremente, como se escreve em um quadro negro, com a diferença de que a matemática é interpretada pelo mesmo e o conteúdo é constantemente atualizado. O software “percebe” uma alteração no valor de uma variável, por exemplo, e modifica todo o conteúdo associado a essa variável de acordo. Essa característica será bastante explorada como convite à interatividade.

Outro aspecto importante do Mathcad é a possibilidade de formatação dos documentos como hipertexto, inclusive acessíveis através da WWW. Essa característica também é explorada na proposta a fim de dilatar o tempo de contacto com a disciplina para além da sala de aula. Em adição, isso torna possível a utilização do curso em futuras iniciativas de EAD.

Ainda, é explorada a capacidade de interação com outros softwares. Através do Mathcad pode-se acessar rotinas em C, Matlab e Maple a fim realizar algum processamento para o qual o mesmo seja limitado. Além disso, revela-se uma outra faceta da proposta, a capacitação dos alunos também nestas ferramentas, as quais são amplamente utilizadas na engenharia.

O resultado final é um livro “vivo” para o ensino construtivista de Cálculo, dotado de animações, simulações, exemplos e exercícios, interativo e acessível via Internet.

O desenvolvimento do projeto conta com a participação de um aluno como bolsista de Iniciação Científica, o qual cursou as disciplinas de Cálculo e exerceu monitoria nas mesmas. Desta forma, além de estar envolvido diretamente nas implementações, por possuir a visão do professor e estar bem embasado nas necessidades dos alunos o bolsista também contribui para as abordagens pedagógicas.

Apresenta-se aqui uma pequena amostra do modo de aprendizagem que o estudante encontraria ao mergulhar no ambiente eletrônico. Utiliza-se como exemplo dois conceitos de difícil assimilação pelo aluno, o de representação gráfica de funções e o de limite.

A associação entre a representação analítica (fórmula) e sua correspondente representação gráfica é fundamental para o estudo do comportamento das funções, além de que a linguagem gráfica é muito utilizada em engenharia. Adicionalmente, sem essa compreensão torna-se inviável a assimilação de conceitos subseqüentes, como os de limite e derivada. Em princípio deve-se entender que um ponto no plano cartesiano está bem definido por dois valores tomados em relação à origem desse plano, um na direção do eixo x (abscissa) e outro na direção do eixo y (ordenada). Sendo assim, o conjunto de todas as combinações de x e y possíveis preenche o plano.

Por outro lado, uma fórmula do tipo $y = f(x)$ restringe os valores de uma variável y àqueles determinados por esta lei aplicada sobre os valores da variável x , existindo pois uma dependência entre x e y . Podemos tomar um valor de x e seu correspondente valor de y e os utilizarmos para definirmos um ponto no plano cartesiano. Caso façamos isso para todos os valores possíveis de x , obteremos um conjunto de pontos que ocupam um lugar no plano cuja forma é definida por $y = f(x)$, pois estão restritos a essa condição. A esse “lugar” chamamos de representação gráfica de $y = f(x)$.

Isso é o que o aluno deve assimilar, que classicamente é transmitido como “a representação gráfica de uma função $y = f(x)$ é o lugar geométrico dos pontos $P(x,y)$ no plano cartesiano que obedecem à lei $y = f(x)$ ”. No entanto, assim colocado, o conceito não é visível, é abstrato. É difícil para o aluno que ainda está assimilando o conceito de função despendendo um esforço em abstrair necessário para a compreensão, mesmo com a ajuda do professor. Por outro lado, se puder visualizar a construção do lugar geométrico a partir dos pontos obedecendo a lei $y = f(x)$, se puder livremente construir, explorar e estudar a forma das representações gráficas de diversas funções, construirá assim a associação entre a lei $y = f(x)$ e seu gráfico, construindo portanto o conhecimento.

A Figura 1 ilustra como animações são utilizadas no ambiente proposto para que o aluno acompanhe e interaja com a construção de representações gráficas. São mostrados 4 quadros da construção ponto-a-ponto para uma função senoidal. O controle sobre a animação é livre, podendo o estudante avançar e retroceder acompanhando os valores de x e y associados a cada ponto e também alterar a fórmula da função.

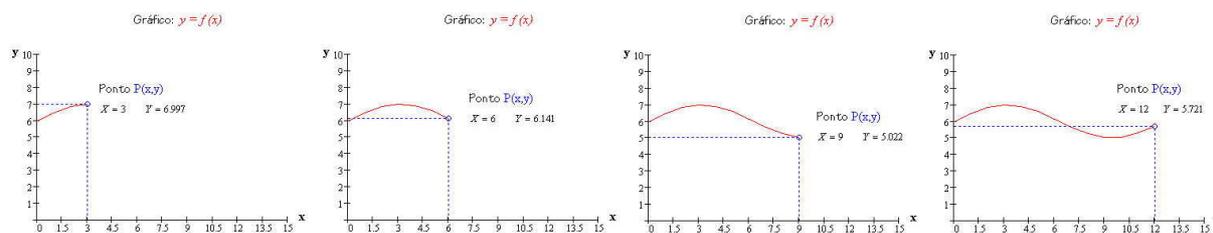


Figura 1 - Animação para compreensão de representação gráfica de funções.

Assimilado o conceito precedente, segue-se em direção à construção do conceito de limite. Neste caso, utiliza-se um exemplo clássico, um dos paradoxos propostos pelo filósofo grego Zênão: “Para ir de um ponto a outro, primeiramente deve-se percorrer a metade do caminho. Para percorrer a metade restante, deve-se percorrer a sua metade, isto é, um quarto da distancia total, e assim sucessivamente. Desta forma, nunca se chegaria no segundo ponto, sendo o movimento, portanto, impossível!” – RAY (1993). Apresenta-se então tal situação para a classe, conforme ilustrado na Figura 2. Em seguida propõe-se a reflexão e discussão sobre a veracidade da proposição de Zênão. O professor realiza inserções no debate a fim de não permitir que a discussão fuja do escopo desejado.

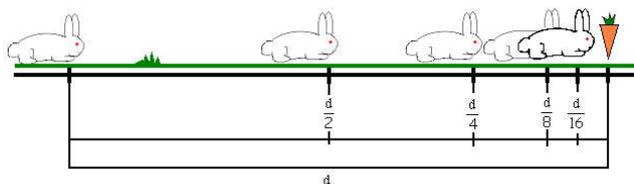


Figura 2 – Proposição do paradoxo de Zênão.

Esgotada a discussão, apresenta-se então a solução do dilema com o auxílio de uma animação com efeito “zoom”. Como pode ser visto na Figura 3, da maneira como proposto por Zênon, realmente nunca se chegaria ao destino final. Evidentemente o movimento é possível e existe um erro sutil nas conclusões de Zênon, o que também pode ser discutido em classe. O importante é que com base na discussão e nas justificativas constroem-se os conceitos de infinitamente pequeno, de “tender-se” indefinidamente para um ponto e, em consequência, o de limite.

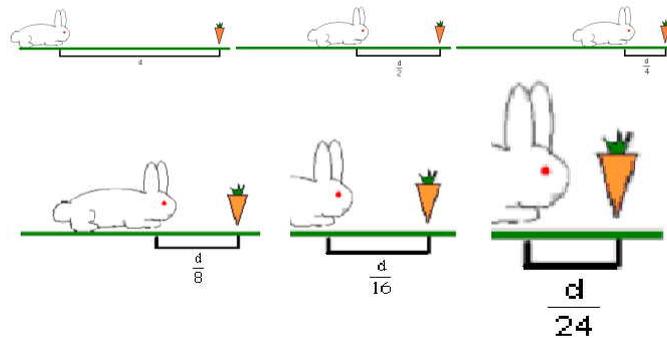


Figura 3 – Explicação do paradoxo de Zênon. Conceitos de infinitamente pequeno e de limite.

Com a noção intuitiva de limite bem sedimentada, pode-se transportá-la para o contexto das funções. A animação ilustrada na Figura 4 mostra a convergência dos valores de uma função para um valor limite quando a variável independente “tende” para um determinado valor. Aqui são construídos os conceitos de vizinhança em torno de um ponto e de limite de uma função.

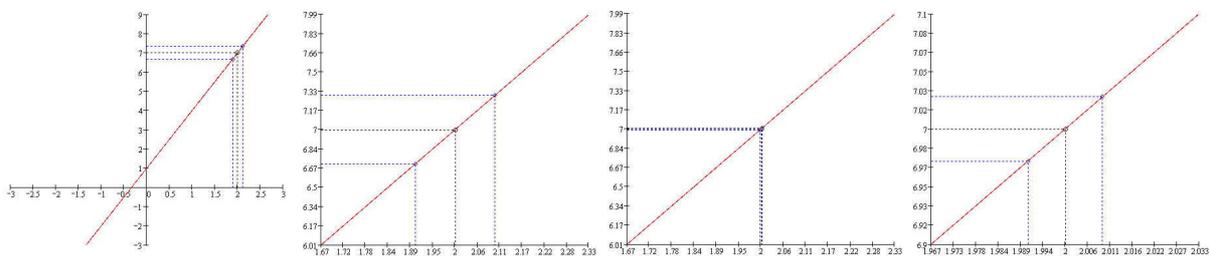


Figura 4 – Vizinhança em torno de um ponto e limite de uma função.

Os exemplos apresentados ilustram o potencial do ambiente eletrônico em termos de aprendizagem. Não obstante, além de animações, o mesmo é dotado de teoria, exercícios enriquecidos com a matemática “viva” do Mathcad e simulações. Quando concluída, a proposta proporcionará um ambiente completo para o aprendizado de cálculo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de Cálculo pouco evoluiu através dos tempos, afastando-se modestamente de uma abordagem conservadora e formal. Ao lado disso, os alunos das instituições de ensino superior privadas apresentam-se com graves deficiências herdadas de sua formação anterior e com limitações para acompanhamento dos estudos impostas por obrigações de trabalho.

A análise da evolução do ensino de Cálculo ao lado da experiência didática descrita leva a concluir que a abordagem clássica falha neste caso. Contudo, a saída não passa somente pela introdução de mais exercícios e aplicações, nem se pode substituir totalmente a linguagem

matemática pelo diálogo informal, até por que o aluno precisa dominar essa linguagem. Se assim fosse estaria sendo formado um aluno treinado, robotizado, acostumado a repetir procedimentos segundo um padrão. Não é isso que se quer, deve-se construir um profissional livre e independente, capaz de pensar, criar e agir por conta própria.

Por outro lado, tão pouco se pode ceder à cultura nociva do “*eu paguei, eu não consigo aprender, então me passa*”, que favoreça o interesse pessoal de um aluno ansioso por concluir seu curso em detrimento do nível de qualidade desejada para o engenheiro, o que seria desastroso para a construção do conhecimento e dos valores éticos de um profissional em formação. É preciso encontrar um ponto de equilíbrio ético no problema. O aluno precisa aceitar suas deficiências e o professor deve ampará-lo no sentido de superá-las, entender que seu aprendizado é consequência de um esforço também seu e não somente do professor, apaixonar-se por seu curso aprendendo motivado por desejo e não por obrigação. O educador, como formador dos sucessores e herdeiros do conhecimento, deve entender que é em parte sua missão trabalhar no sentido de semear e fazer brotar essa paixão.

Nesse contexto, a filosofia construtivista por priorizar a construção natural do conhecimento em detrimento da exposição formal revela-se como saída promissora. O poder dessa abordagem aliado a uma linguagem gráfica de alta qualidade pode superar as dificuldades apresentadas. Paralelamente, o mercado impõe o perfil de um profissional não apenas com conhecimento teórico, mas capacitado a utilizar modernas ferramentas de software no exercício de suas atividades. Neste sentido, a presente proposta apresenta-se como bivalente, pois além de prover um aprendizado natural da teoria também capacita o aluno em algumas das mais modernas ferramentas utilizadas em engenharia.

Além disso, outra faceta importante deste trabalho é a iniciação científica do aluno envolvido na proposta. Estudando a teoria de Cálculo e implementando, experimentando o curso e provendo informação retroativa, realizando consultas junto aos alunos, o bolsista vivencia uma experiência rica em pesquisa e desenvolvimento no contexto interdisciplinar da educação, matemática e computação.

A estratégia adotada aqui como solução para o Cálculo pode ser adaptada e aplicada em qualquer área, com as mesmas perspectivas de sucesso. A solução apresentada não pode ser vista como única e definitiva. O professor deve investigar continuamente novas formas de ensinar, adequadas ao novo perfil de aluno, que visem ultrapassar as dificuldades que impedem o aprendizado por parte deste aluno, que otimizem o seu desempenho e o dele, pois não existe solução garantida para os problemas discutidos.

Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho não seria possível sem o apoio do Programa BICSAL do Centro UNISAL, bem como sem a utilização dos recursos da UNICAMP. Não se pode deixar de mencionar o aluno Braz Maurício da Silva, o qual participou como bolsista no início das atividades de pesquisa. As ilustrações de Vanessa de Moraes contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES, F. Jr. **Cálculo Diferencial e Integral**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1972.
- BAJPAI, A., MUSTOS, L., WALTER D. **Matemática para Engenharia**. São Paulo: Hemus, 1980.
- DEMIDOVICH, B. **Problemas e Exercícios de Análise Matemática**. Moscou: MIR, 1978.
- EDWARDS, PENNEY. **O Cálculo com Geometria Analítica, Vol. I, II e III**. Rio de Janeiro: PHB, 1997.



- GOLDSTEIN, L. J., LAY, D. C., SCHNEIDER, D. I. **Cálculo e suas Aplicações**. São Paulo: Hemus, 1981.
- JONASSEN, D. O Uso das Novas Tecnologias na Educação a Distância e a Aprendizagem Construtivista. **Em Aberto**. Brasília, v. 16, n. 70, abr/jun, p.70-88, 1996.
- KEEGAN, D. **Foundations of Distance Education**. Londres: Routledge, 1991.
- LANG, S. **Cálculo**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S/A, 1973.
- LEITHOLD, L. **O Cálculo com Geometria Analítica, Vol. I e II**. São Paulo: Harbra, 1982.
- Maple Application Center. <http://www.mapleapps.com>.
- Maplesoft - Command the Brilliance. <http://www.maplesoft.com>.
- Mathcad Calculation and MathML software. <http://www.mathcad.com>.
- Mathsoft Engineering and Education, Inc. <http://www.mathsoft.com>.
- MORAES, A. A. **Curso de Cálculo II, notas de aula**. Campinas: UNISAL, 2002.
- MORIN, E. **Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro**. São Paulo: Cortez, 2000.
- MUNEM, M. A., FOULIS, D. J. **Cálculo, Vol. I e II**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1992.
- O que é a educação à distância. http://www.intelecto.net/ead_textos/ivonio1.html.
- PERRENOUD, P. **10 Novas Competências para Ensinar**. Porto Alegre: ARTMED, 2000.
- Page d'accueil - Perrenoud. <http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php.html>.
- PISKUNOV, N. **Cálculo Diferencial e Integral Vol. 1 e 2**. Moscou: MIR, 1984.
- RAY, C. **Tempo, Espaço e Filosofia**. Campinas: Papirus, 1993.
- SIMMONS, G. F. **Cálculo com Geometria Analítica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- STEWART, J. **Cálculo**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.
- The MathWorks: Developers of MATLAB and Simulink for Technical Computing. <http://www.mathworks.com>.
- The Jean Piaget Society. <http://www.piaget.org/>.
- The Vygotsky Internet Archive. <http://www.marxists.org/archive/vygotsky/>.
- THOMAS, G. B., FINNEY, R. L. **Cálculo Diferencial e Integral Vol. 1 e 2**. São Paulo: Addison Wesley, 2002.

ELECTRONIC ENVIRONMENT FOR TEACHING CALCULUS IN ENGINEERING

Abstract: *This article discusses the difficulties in teaching Calculus for undergraduate engineering courses, focusing specially on the context of Brazilian private universities. In order to face those difficulties an electronic environment based on scientific/mathematics software is presented for teaching Calculus, under the constructivism point of view. The final product is a "live" book accessible through WWW, which is based on the Mathcad software and is also supported by C Language, Matlab, Maple and HTML. Therefore, a complete environment for teaching the Calculus theory is proposed, with high capacity for static and animated concept visualization as well as high degree of interactivity. Such a resource can be used not only in a one semester Calculus course, but also by teaching aids, in review classes, as reference material for advanced level students or practicing engineers, and in distance learning. The benefits of using this proposal are discussed in this work.*

Key-words: *Calculus, Constructivism, Engineering teaching, Electronic book, Mathcad, WWW*