

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“AS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS COMO FERRAMENTAS PARA O ENSINO DE ENGENHARIA: PROJETO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA”

*Bruno M. Brentan (1), Edevar Luvizotto Jr. (2), Ricardo de Lima Isaac (3),
Lubienska C.J.Ribeiro (4), Ana Luíza Marques (5)*

- (1) FEC-Unicamp, Av. Albert Einstein, 981, Campinas, SP, BR, 19 3281-2354, brunocivil08@gmail.com
(2) FEC-Unicamp, Av. Albert Einstein, 981, Campinas, SP, BR, 19 3281-2354 edevar@fec.unicamp.br
(3) FEC-Unicamp, Av. Albert Einstein, 981, Campinas, SP, BR, 19 3281-2354 isaac@fec.unicamp.br
(4) FT-Unicamp, Rua Paschoal Marmo, 1888, Limeira, SP, BR, 19 2113-3368 lubi@ft.unicamp.br
(5) FEC-Unicamp, Av. Albert Einstein, 981, Campinas, SP, BR, 19 3281-2354 anamarques@gmail.com

RESUMO

Os avanços na modelagem matemática e nos algoritmos computacionais e o aumento da velocidade dos computadores possibilitaram melhorias em diversos ramos da ciência e, em particular na engenharia. As simulações computacionais decorrentes destes avanços, ao contrário de teorias que idealizam sistemas, permitem lidar com condições do mundo real sem as limitações dos modelos experimentais. Este trabalho apresenta o resultado de experiências educacionais desenvolvidas pelo Laboratório de Hidráulica Computacional da FEC-UNICAMP em temas relacionados aos sistemas de abastecimento de água, empregando simulações computacionais. Os resultados indicam que estas ferramentas devam fazer parte do currículo da engenharia, desempenhando papel relevante como estratégia pedagógica.

Palavras chaves: Simulação, Ensino de Engenharia, Sistemas de Abastecimento de Água.

ABSTRACT

The advances in mathematical modeling and in computer algorithms, have prepared the way to unprecedented improvements in engineering and other science fields. Unlike most theories which posits restricted, idealize systems, the computer simulations resulted by these advances allow us to deal with real conditions. By this way, this paper presents the result of educational experiences developed by the Laboratory of Computational Hydraulic of FEC-UNICAMP, notoriously related to water supply systems themes using computer simulation. The results indicate that the computer simulation should not be limited to some parcel of the abilities of the engineer students but to be an essential part of the base curriculum, where it is relevant as a pedagogical strategy.

Key-words: Simulation, Engineering teaching, Water Supply Systems.

SOBRE O AUTOR PRINCIPAL

Autor 1: Engenheiro Civil, mestrando do Programa de Engenharia Civil da FEC-Unicamp, na área de concentração de Recursos Hídricos, participante do programa de estágio docente, membro do LHC-FEC Unicamp.

INTRODUÇÃO

Nos últimos 70 anos um assombroso desenvolvimento tecnológico reduziu o tempo para uma descoberta científica tornar-se uma inovação tecnológica. Essa afirmação valida-se nas gerações dos computadores digitais. O primeiro computador eletrônico foi concluído em 1946, na Universidade da Pensilvânia - EUA, o ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator). Empregava cerca de 18000 válvulas, tinha 30m de comprimento, 1m de largura e 3m de altura. Consumia algo em torno de 140 KW de energia e custou cerca de 500.000 dólares. A partir desta invenção, os computadores sofreram rápida evolução decorrente do avanço da eletrônica, que transformou a válvula (1ª geração), em transistor (2ª geração); este em circuito integrado - CI (3ª geração). O *chip* (circuito integrado com alta tecnologia de miniaturização) caracteriza a atual e 4ª geração de computadores.

Até a década de 60 os computadores foram utilizados em grande parte pelas universidades, institutos de pesquisa e órgãos governamentais (principalmente militares). A verdadeira revolução ocorre a partir da década de 70. Em 1975 a revista "Popular Electronics" apresentou o projeto e anunciou a venda do "kit" do primeiro microcomputador pessoal, o Altair 8800, baseado no microprocessador 8008 da Intel (como curiosidade, para este microcomputador Paul Allen e Bill Gates venderam um de seus primeiros produtos: um interpretador Basic). A quarta geração de computadores marcou o desenvolvimento dos computadores pessoais que se tornaram cada vez mais velozes em função dos avanços nos microprocessadores. De fato, em 1981 é lançado o microcomputador IBM-PC baseado no 8088 microprocessador de 8 bits desenvolvido em 1979. Oito anos depois (1989) já era lançado o Microprocessador 80486 DX de 32 bits com clock de 25 MHz e, com um desempenho 50 vezes superior ao 8088. A evolução do desempenho dos microprocessadores pode ser observada na figura 1, com a evolução de 40 anos dos microprocessadores da Intel (1971-2011).

Os avanços das últimas décadas produziram mudanças significativas em diversas atividades humanas e, notadamente na engenharia. Nos primeiros três quartos do século 20 a régua de cálculo era a principal ferramenta dos engenheiros e um símbolo da profissão. Não eram muito precisas e, sem cuidados e experiência podiam produzir uma enorme imprecisão ao final de cálculos repetitivos. Os cursos de engenharia ofereciam disciplinas específicas para o uso correto desta ferramenta. Os

futuros engenheiros aprendiam complexas técnicas para extrair o máximo de suas régua de cálculo.

O fim desta época foi prenunciada em uma propaganda veiculada em 1952. Nela uma empresa fabricante de computadores expressava o fato de sua máquina ter a mesma capacidade de cálculo que um grupo de 150 engenheiros. Sem dúvida, com o avanço da computação nos anos 60 e 70, cálculos que eram inviáveis, tornaram-se possíveis. A precisão e os detalhes nos projetos aumentaram produzindo reflexos na economia de processo e de materiais.

A era da computação digital iniciada em 1946 democratizou-se apenas há cerca de 40 anos. Este tempo corresponde ao período médio de atividade profissional de um engenheiro e, portanto, toda esta revolução ocorreu sobre uma geração de profissionais. Cabe lembrar que os avanços da computação trouxeram consigo outros, relacionados a tecnologia da informação (informática), com evidentes impactos sobre a engenharia. Como pensar a formação do engenheiro neste contexto? Como explorar adequadamente as novas tecnologias sem que se perca a essência da formação deste profissional? Estas são questões suscitam reflexões nos que trabalham com o ensino de engenharia.

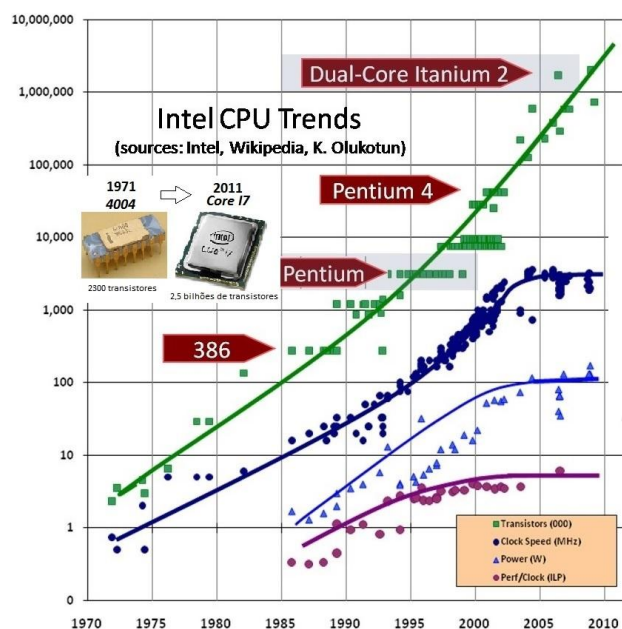


Figura 1. Evolução dos processadores.

ASPECTOS DO ENSINO E APRENDIZAGEM

O processo de ensino antecede ao da aprendizagem, como resultado da relação fenomenológica causa-efeito. A palavra ensinar deriva do latim "insignire" que quer dizer distinguir, assinalar, marcar. Tem a

mesma origem de signo e de **significado**. Aprender deriva do latim "apprehendere", que significa apanhar, apropriar, adquirir, prender, **apossar-se de**. Tem a mesma origem das palavras presa, aprisionar, prisioneiro. A relação entre o ensino aprendizagem parece então estabelecer a forma da relação professor-aluno, o primeiro deve dar significado para despertar o desejo do segundo em apossar-se de. Este processo pode ser compreendido com o auxílio do ciclo de POCE (figura 2), que é um modelo utilizado para a solução de problemas relacionados a técnicas de ensino. Ele prevê um processo estabelecido nos passos: Por que (P); O que (O); Como (C); E se (E). Estes passos são ordenados e, cada um, depende da execução do anterior.

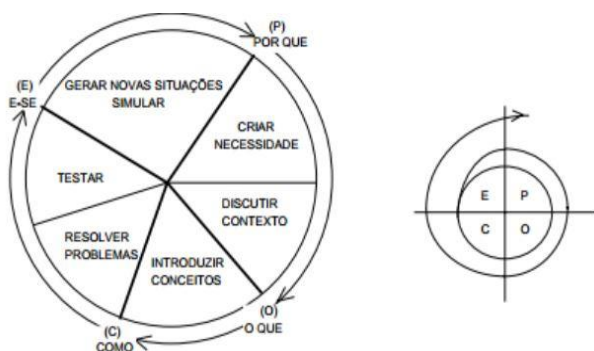


Figura 2. Ciclo de POCE - Belhot (1995)

Segundo Belhot (1995), para que ocorra movimento no ciclo é necessário escolher os métodos, as técnicas de ensino e os recursos instrucionais específicos e, adequados para cada passo. O autor afirma que; “*pode haver incompatibilidade entre o estilo de aprendizagem comum aos alunos (forma de como “aprisionar”) e o estilo tradicional de ensino dos professores (de dar o significado). Em consequência os alunos tornam-se desatentos em classe, mostram-se aborrecidos, demonstram baixo aproveitamento, desencorajamento pelo curso, currículo e, em alguns casos, chegam inclusive abandonar o curso. Por outro lado, os professores confrontam-se com notas baixas, falta de interesse dos alunos, hostilidade e baixa cooperação*”. O mesmo autor citando Stice, identifica diferentes tipos de alunos cujas preferências os professores devem identificar e trabalhar para que sua parte no processo de aprendizagem seja plena (o restante do processo estará a cargo do aluno). Quanto a estes estilos afirma: “*Existem alunos criativos e inovadores que têm facilidade de reconhecer problemas e gostam de saber o valor do que irão aprender (por que), os alunos que estão mais interessados na lógica e no conceito que irão aprender (o que). Existe ainda outro tipo de aluno, o que gosta de integrar teoria e prática, para resolver*

problemas reais (como). E finalmente existem alunos que aprendem com ensino, tentativa e erro, extrapolam condições iniciais, demonstram independência e sua questão favorita é (e se)”.

Conjugando os aspectos relacionados aos avanços tecnológicos, delineados na introdução, que favorecem novas tecnologias, como as simulações computacionais, com os aspectos de ensino e aprendizagem sintetizados, surgem indagações como:

- Como utilizar as simulações como ferramentas de ensino, e em particular nas disciplinas relacionadas aos sistemas de abastecimento de água?
- Qual o papel efetivo da simulação no processo de aprendizado?
- Qual conteúdo deve ser simulado? Qual o ambiente de simulação? Como deve ser implantado?

A estes questionamentos mesclam-se reflexões como as apresentadas por Wankat et. al., (2002), “*mudanças educacionais estão ocorrendo mais rapidamente no ensino de tecnologia que no de engenharia. A missão da educação tecnológica é a produção de técnicos e operadores para trabalhar com a tecnologia corrente, enquanto que a educação em engenharia é (entre outras coisas) produzir engenheiros para desenvolverem a próxima geração de tecnologia. Embora relacionada à engenharia, em muitos aspectos, a tecnologia usa uma abordagem mais prática e menos matemática em sua instrução*”. Também afirmam, com base na frase de Theodore Von Karman: “*Um cientista descobre o que existe. Um engenheiro cria o que nunca foi*”, que, “*o projeto é a essência da engenharia*”. Ao se adotar as estratégias apresentadas neste trabalho todas estas questões foram refletidas e discutidas no âmbito do LHC-FEC-Unicamp.

AS SIMULAÇÕES EM HIDRÁULICA E SANEAMENTO

A Engenharia Hidráulica tem sido um campo com um grande número de aplicações bem sucedidas de computadores associados a modelos numéricos. Como mencionado por Abbot (1993), a hidráulica entrou em uma relação simbiótica com a máquina digital. O autor introduziu o termo “Hidráulica Computacional” para expressar esta simbiose e, mais tarde introduziu o termo de Hidroinformática para expressar a simbiose entre a tecnologia de informações com a hidráulica (Barbosa et. al., 1996).

Tomando como exemplo o problema particular do cálculo do regime permanente em uma rede de distribuição de água, pode-se observar um progresso significativo desde a aplicação do método manual de Hardy-Cross; ao método de Newton-Raphson, ao da Teoria Linear e ao Método Gradiente. Antes do advento dos computadores digitais, a análise de uma rede de distribuição de água era baseada essencialmente no método de Hardy-Cross, no qual as estimativas iniciais eram corrigidas sucessivamente e em cada malha individualmente, a cada iteração. Por sua vez, as abordagens mais recentes, que apresentam convergência mais rápida e maior precisão, as correções são feitas simultaneamente, em toda a rede a cada iteração. Entretanto, estas técnicas somente são adequadas para a aplicação em computador digital, pois necessitam resolver um grande número de equações simultâneas. Por outro lado, o avanço das técnicas numéricas e das linguagens de programação com ambientes gráficos, tornou possível o desenvolvimento de interfaces “homem-máquina” eficazes e propícias ao desenvolvimento de ambientes para simulações, que abrem o caminho para uma nova interlocução e, estimula o aprendizado e a compreensão de fenômenos complexos ligados a engenharia.

Para Magma et. al. (2010), simulações computacionais tornaram-se um elemento para experiências de aprendizagem que proporcionam aos alunos de engenharia a capacidade de fazer coisas que eles não poderiam fazer no mundo real. Fazendo referência a outros autores afirmam que as simulações são “*programas que incorporam um modelo interativo*” (que pode ser repetidamente modificado e recalculado) com objetivo de compreender o fenômeno físico descrito pelo modelo, seja por descoberta, experimentação, demonstração ou outros métodos. Com base nessas premissas definem *simulações computacionais como representação de estado(s) da realidade, usada em treinamento, pesquisa e educação para representar a fenomenologia física, dispositivos e/ou processos, por meio de modelos matemáticos e técnicas de solução numérica utilizando computadores.*

Os sistemas de abastecimento de água são uma importante área da Engenharia Hidráulica e Sanitária a que as simulações adequam-se notoriamente ao ensino. Como obra de infraestrutura urbana, demandam uma grande quantidade de recursos financeiros e naturais em sua implantação e exploração e, alguns aspectos importantes de projeto e de operação são difíceis de serem ensinados apropriadamente, dada a complexidade dos fenômenos envolvidos. Nestes casos os métodos

tradicionais de ensino não são suficientes para um aprofundamento destas questões e, a tecnologia da informação tem refletido positivamente no desenvolvimento de metodologias modernas de educação.

Fan (2012) menciona que “*computadores assim como, “softwares” e outros “hardwares” podem ser utilizados em sala de aula e laboratórios proporcionando um método mais efetivo e eficiente de ensino e aprendizagem, permitindo que uma grande quantidade de problemas de engenharia, de matemática complexa, possam ser compreendidos*”.

Para incrementar o uso destes recursos o LHC, Laboratório de Hidráulica Computacional da FEC-Unicamp, adotou como estratégias; a construção do Laboratório de Hidrotrônica (Luvizotto e Andrade, 2002), o desenvolvimento de “softwares” didáticos, a promoção de convênios com empresas de “softwares” comerciais e a prospecção de “softwares” de domínio público, com objetivo de obter ferramentas de ensino para disciplinas de graduação e pós-graduação em engenharia civil, nomeadamente: Sistemas de Abastecimento de Água, Transitórios Hidráulicos, Sistemas de Transporte Fluido, Bombas e Adutoras. A tabela 1 mostra o elenco de ferramentas atualmente adotadas.

A abordagem empregada, sob os aspectos do projeto e da operação de redes de distribuição de água e dos sistemas de recalque, com o emprego de algumas das ferramentas listadas será apresentada.

Projeto de sistemas de abastecimento de água

Nos cursos introdutórios de engenharia os alunos apreendem conceitos de hidráulica e de mecânica dos fluidos necessários à modelação em regime permanente, período extensivo e regime transitório. No caso do regime permanente e período extensivo são capacitados a obterem as equações que permitem analisar o escoamento na rede de distribuição em termos de cargas nos nós e/ou vazão pelos elementos. A solução é encaminhada aos métodos de Newton-Raphson, da Teoria Linear e do Método Gradiente, para que possam avaliar as características de cada um destes modelos, seus pontos fortes e deficiências. Empregando ambientes destinados a experimentos matemáticos tais como; Freemath, Octave (distribuição gratuita), Matlab e Mathematica (comerciais) solucionam pequenos problemas da hidráulica de redes, fortalecendo os aspectos teóricos aprendidos. Nesta etapa é possível rever e aplicar conhecimentos de disciplinas básicas de métodos numéricos, cálculo, além da hidráulica e mecânica dos fluidos. São revistas técnicas para

resolver sistemas lineares e não lineares de equações, obtenção de zeros e ajustes de função, etc.

Google Earth é possível obter as curvas de nível do local selecionado com boa aproximação, para o exercício de projeto. O resultado deste processo é

Tabela 1. Algumas ferramentas computacionais empregadas pelo LHC -Unicamp

Ferramenta	Destinada a	Natureza	Aplicação
Freemat	Modelagem numérica	Software livre	Desenvolvimento básico
Wxmaxima	Modelagem numérica	Software livre	Desenvolvimento básico
Euler	Modelagem numérica	Software livre	Desenvolvimento básico
Octave	Modelagem numérica	Software livre	Desenvolvimento básico
MatLab	Modelagem numérica	Comercial	Desenvolvimento básico
Mathematica	Modelagem numérica	Comercial	Desenvolvimento básico
EPANET	Modelagem hidráulica/qualidade	Software livre	Projeto e operação
WaterCAD/Gems	Modelagem hidráulica/qualidade	Comercial	Projeto e operação
Whamo	Modelagem hidráulica (transitório)	Software livre	Projeto e operação
Hamer	Modelagem hidráulica (transitório)	Comercial	Projeto e operação
Google Earth	Modelo de terreno	Software livre	Projeto
Google Sketchup	Modelo de terreno	Livre/Comercial	Projeto
CodeBlook	Linguagem de programação	Software livre	Desenvolvimento de aplicativos
Python/Spyder	Linguagem de programação	Software livre	Desenvolvimento de aplicativos
WxDev-Cpp	Linguagem de programação	Software livre	Desenvolvimento de aplicativos
Visual Studio	Linguagem de programação	Software livre	Desenvolvimento de aplicativos
Lazarus/FreePascal	Linguagem de programação	Software livre	Desenvolvimento de aplicativos
Spring	Modelagem de Terreno/SIG	Software livre	Projeto e operação
TerraLib	Modelagem de Terreno/SIG	Software livre	Projeto e operação
SQL/Access		Livre/comercial	Banco de dados

Avaliam condições adversas que resultam em sistemas mal condicionados, observando falhas que podem ocorrer nas simulações numéricas computacionais. Confrontam os resultados obtidos, com os modelos desenvolvidos, com os obtidos por aplicativos disponíveis (EPANET, WATERCAD, etc), para os quais recebem treinamento prévio. Sob o aspecto do ensino cumpre-se, nesta fase, um ciclo completo do círculo de POCE (Por que, O que, Como, E se).

A fase seguinte é de desenvolvimento de um projeto prático de um sistema de abastecimento. O projeto é desenvolvido por equipes de alunos. Uma das dificuldades desta fase residia na criação de cenários e locais diversificados (um para cada equipe). Repetições de locais e cenários costumavam gerar pouco desafio ao longo do tempo (os projetos tornavam-se repetitivos com o transcorrer dos semestres e, uma “tentação” ao plágio!). Por outro lado, a ideia de um projeto novo, a cada semestre, conduzia a necessidade de informações nem sempre fáceis de serem obtidas, principalmente as plantas de arruamento e de cotas de nível para o traçado em planta e perfil, da rede de distribuição e das adutoras. Os recursos atuais de informática permitem adotar pequenas localidades escolhidas livremente pelos alunos. O aplicativo adotado para este fim é o *Google Earth*. Cada grupo de projeto escolhe uma localidade (cidade ou um bairro), em alguma parte do globo terrestre. São mantidos alguns limites (de área, de relevo, etc). Empregando o aplicativo *Google Sketchup* em conjunto com o

então exportado na forma de arquivo de imagem, que serve de base para o traçado da rede a ser projetada. A figura 2 ilustra o resultado do procedimento descrito.

Na sequência os grupos fazem estudos populacionais para alocação de demandas, consultam fornecedores de equipamentos e de serviços para composição de preços e obtenção de catálogos técnicos. O conjunto dos grupos gera um banco de dados compartilhado, que será utilizado para o dimensionamento e especificações da instalação. Consultam normas para avaliar as condições limites impostas e, a serem tomadas como restrições para o modelo de otimização empregado para o dimensionamento econômico. Aplicam fundamentos de matemática financeira para composição dos custos de implantação e de exploração da instalação no horizonte de projeto. Esta fase permite trabalhar a espacialidade, relevo, zonas topográficas, dinâmica populacional, interferências e desenho base para a “esqueletização” da rede de distribuição.



Figura 3. Obtenção das curvas de nível

As atividades subsequentes empregam ferramentas de simulação hidráulica, como: o EPANET, EPANET-Toolkit (de domínio público) e o WATERCAD ou WATERGEMS (comerciais). Os aplicativos comerciais são disponibilizados aos alunos da FEC-Unicamp graças ao programa acadêmico firmado com a Bentley (Bentley Academics) desde 2010. No caso de dimensionamento da rede de distribuição, os alunos aprendem noções de otimização baseada em algoritmos genéticos, para aplicação do modelo “Darwin Designer”, disponível nos aplicativos WATERCAD e WATERGEMS (figura 4), ou através de implementação empregando o EPANET-Toolkit. Também nesta etapa os alunos são orientados a avaliarem cenários futuros (intermediários e de final de projeto), simulando condições de crescimento populacional (com seus reflexos sobre as demandas e coeficientes de hora e dia de maior consumo), envelhecimento de tubulações e de adição de consumos pontuais decorrentes grandes consumidores (industriais, comerciais, etc), que possam vir a ocorrer. Aprendem a definir estratégias de reabilitação para a adequação do sistema e avaliar a vulnerabilidades através de simulações operacionais de diferentes cenários.

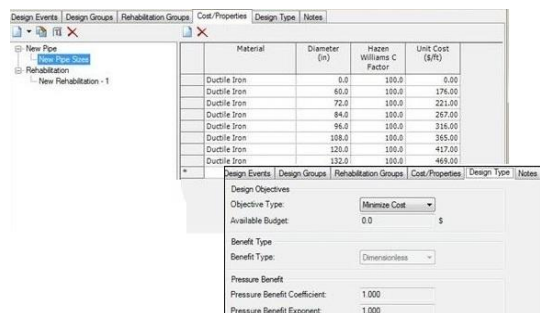


Figura 4. Darwing Designer, WaterCad - Bentley

Operação dos sistemas de abastecimento

As simulações computacionais são ferramentas muito eficazes de avaliação operacional dos sistemas de abastecimento de água. São empregadas em diferentes situações tais como; análises de eficiência energética, detecção de fugas e/ou redução destas, controle operacional otimizado (definição de manobras ótimas para múltiplos objetivos) e avaliação da qualidade da água. A simulação em período extensivo é a usualmente empregada para este propósito. Os programas EPANET, EPANET Toolkit, WaterGems e WaterCAD, são empregados como os ambientes de simulação, cada qual se adequada melhor, como ferramenta de ensino e aprendizado, para uma dada finalidade. Como exemplo, o aplicativo EPANET, é utilizado pela sua simplicidade, para guiar os primeiros passos no aprendizado das simulações computacionais de operação. Permite o estudo de condições definidas por controles lógicos, tais como, ligar/desligar bombas, ou abrir/fechar válvulas caso uma determinada condição operacional seja atingida, ou se a operação for prevista para uma determinada hora no período de simulado. O Epanet-Toolkit permite, por sua vez, o desenvolvimento de aplicativos para finalidades específicas como calibração, detecção de fugas, pesquisa operacional para definição de manobras otimizadas, estudos de eficiência energética, etc... Para tanto, os alunos aprendem a encadear (lincar) as bibliotecas dinâmicas do Toolkit a outras bibliotecas, como as de otimização, por exemplo, criando novas aplicações. Neste processo utilizam linguagens de programação como, C, C++, Visual Basic, Pascal, Matlab, Python ou mesmo uma simples planilha Excel.

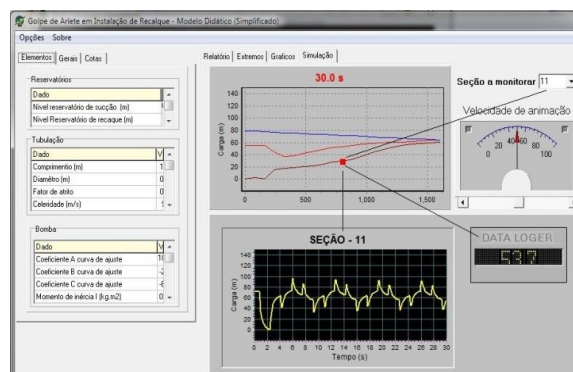


Figura 5 - Aplicativo para simulação de transitórios em instalações de recalque

Outro tema importante abordado na operação dos sistemas de abastecimento relaciona-se aos fenômenos transitórios. Tais fenômenos decorrem

das manobras efetuadas sobre os elementos ativos do sistema. Este tema é tratado em curso eletivo na graduação e em disciplina específica de pós-graduação. Os alunos aprendem a teoria do fenômeno, a modelação rígida e a elástica, desenvolvem pequenos aplicativos para simulação de ocorrência de situações transitórias para instalações simples. As aplicações, desenvolvidas em uma das linguagens de desenvolvimento apresentadas na Tabela 1, tem por objetivo familiarizar o aluno com o fenômeno e permitir a compreensão de aspectos relacionados às técnicas numéricas envolvidas na solução das equações que governam o fenômeno, como a discretização no espaço-tempo, convergência, etc... A figura 5 ilustra uma aplicação desenvolvida para simular a parada de bomba em uma instalação de recalque. A evolução dinâmica da linha piezométrica, da pressão no registrador gráfico e, a simulação do registro em um data-logger de pressão, que pode ser localizado em várias posições da instalação, permitem ao aluno um ambiente de aprendizado bastante fiel à realidade e, sem o risco de causar um desabastecimento por uma manobra inadequada (em um sistema real). Neste aplicativo de simulação também é possível explorar outros conteúdos, como o conceito de envoltória de cargas extremas, como indicado na figura 6.

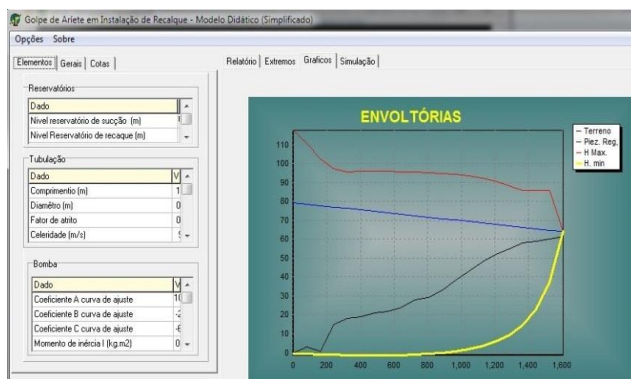


Figura 6 – Envoltória de cargas piezométricas

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora a experiência de utilização integrada de recursos de simulação computacional nas disciplinas de Abastecimento de Água seja recente, na FEC-Unicamp (cerca de 4 anos), pode-se constatar um maior envolvimento dos alunos com as disciplinas afins e, uma maior assimilação dos conceitos abordados. Nota-se um crescente número de alunos em busca de temas relacionados para o desenvolvimento de trabalhos de iniciação científica e de final de curso. Tal interesse também é

observado na pós-graduação. Outra constatação, resultante de relatos de ex-alunos, é a facilidade que estes encontram no mercado de trabalho em decorrência desta “formação especial” e domínio de aplicativos empregados comumente nas empresas de saneamento.

A preocupação com a perda do conteúdo teórico, quando da implantação desta experiência de ensino, não se justificou. Ao contrário, o que se pode observar foi que, desafiados por questões que surgiram das simulações, os alunos buscaram a teoria e bases que os permitissem enfrentar tais questões.

As aulas tornaram-se mais dinâmicas e participativas, com os alunos entendendo o seu papel de agentes e não espectadores de sua formação acadêmica. Os projetos em equipe fomentam discussões e geram questionamentos que muitas vezes norteiam o desenvolvimento de pesquisas. Diferentes soluções e pontos de vista podem ser debatidos, durante as etapas de projeto, até que a solução de consenso da equipe seja definida. Este processo é muito rico sob o ponto de vista do ensino e aprendizagem e sem dúvida um exercício de trabalho coletivo, bastante valorizado nas grandes empresas de engenharia.

CONCLUSÃO

Os atuais recursos computacionais e de informática podem ser poderosos auxiliares no processo de ensino e aprendizagem de engenharia. Este trabalho descreveu as experiências com o emprego destes recursos, notoriamente das simulações computacionais, aplicadas ao ensino e aprendizado de disciplinas de graduação e de pós-graduação relacionadas ao projeto e a operação de sistemas de abastecimento de água, na Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, promovidas pelo Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC).

Os resultados das aplicações propostas evidenciam um maior envolvimento dos alunos nas disciplinas ao entenderem o papel ativo que desempenham na aprendizagem. Sem dúvida, isso é proporcionado pelo ambiente de simulação que é propício para estabelecer o ciclo; porque, o que, como e se. Observa-se, como decorrência desta experiência didática, um crescente número de alunos de graduação, através de programas de iniciação científica e, de alunos de mestrado e doutorado, através de programas de capacitação docente, que se voluntariam para as tarefas de implantação e acompanhamento de atividades, como o desenvolvimento de aplicativos e de treinamento.

Cabe ressaltar que, a adoção de ferramentas, como as descritas, demanda do professor constante atualização, tempo para o aprendizado dos aplicativos e, para a elaboração de uma sistemática de ensino que seja capaz de estabelecer o importante “significado” da “autoaprendizagem” proporcionado pelos ambientes de simulação e de extrema importância em um ambiente de acelerada evolução tecnológica.

Disciplinary Styles in the Scholarship of Teaching and Learning: Exploring Common Ground. AAHE/Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, Washington <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Scholarship_chapter.pdf>

AGRADECIMENTO

O autor (1) agradece a CAPES, pelos recursos concedidos através do programa de mestrado no país, que permitem a sua participação no desenvolvimento de pesquisas no LHC-Unicamp.

BIBLIOGRAFIA

Barbosa, P.S.F, Koelle, E., Andrade, J.G.P, Luvizotto Jr., E., (1996), “Challenges on Teach Modern Hydraulic and Water Resources in Brasil” ASEE Anual Conference Proceedings, Session 2660.

Belhot, R. V., (1995) , “A informática no ensino” Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, Recife - PE. XXIII COBENGE, v. 2. p. 533-542.

Fan, L., (2012), “Using Computer Simulation to Improve Teaching and Learning Effectiveness on DC/DC Converter” Advances in Computer Science and Education – Springer-Verlag Berlin Heiderberg, pp 7-11.

Luvizotto Jr. E.; Andrade, J.G.P.; (2002), “Laboratório de Hidrotrônica: Uma nova perspectiva para o ensino e pesquisa em sistemas de abastecimento de água” II SEREA – Valência – Espanha.

Magana, A.J., Brophy, S. and Bodner G. (2010), “The transparency paradox: computational simulations as learning tools for engineering graduate education” Presentation at the Annual AERA Meeting: Understanding complex Ecologies in a Changing World. April 30-May 4. Denver, Colorado.

Wankat, P.C; Felder, R. M., Smith, K.A., Oreovicz, F.S. (2002), “The scholarship of teaching and learning engineering” Chapter 11 of M.T. Huber and S. Morreale, eds.,