

USO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS PARA DAR SUPORTE AO ENSINO DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Ricardo Villarroel Dávalos - E-mail: rdavalos @pa.unisul.rct-sc.br
Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL - CCEAE
Grupo de Sistemas Computacionais Inteligentes – GSCI
Campus Universitário - Tubarão
CP- 370 - 88704-900 – Tubarão - SC

RESUMO – *A simulação é utilizada em grande parte dos cursos de engenharia e seu ensino torna-se muito abrangente, sendo difícil para os professores atingirem todos os itens nela considerados, de forma satisfatória. A literatura existente, voltada ao ensino, em grande parte, apresenta pesadas deduções de fórmulas baseadas em Estatística e Probabilidades e aplicações específicas, sem o uso de recursos computacionais recentes. Se por outro lado, o uso de pacotes de simulação com interfaces gráficas cada vez mais amigáveis, possibilitam uma programação visual que favorece o ensino, quando aplicados de forma criteriosa, por outro, o uso destes sem uma orientação teórica adequada, poderá prejudicar o alcance pretendido sobre simulação. O objetivo principal deste artigo é avaliar algumas experiências para dar suporte ao ensino de simulação discreta na Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL, baseadas no uso de recursos computacionais, tais como planilhas eletrônicas, linguagens de programação, pacotes de simulação e pesquisas na internet. Além disso, para verificar as melhorias alcançadas no ensino, serão comentadas algumas aplicações já realizadas pelos alunos.*

Palavras-chave: *Simulação, Modelagem, Aplicações.*

1.0 Introdução

A simulação é uma abordagem de estudo que vem sendo cada vez mais utilizada nas mais variadas áreas de conhecimento. A crescente complexidade dos problemas com que nos defrontamos e a maior disponibilidade de recursos computacionais, são dois fatores que vêm contribuindo para esse crescimento. Entretanto, é importante comentar que a simulação sempre foi uma técnica extremamente dependente dos recursos computacionais.

Define-se a simulação como sendo o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos, com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação (PEDGEN et al., 1994).

Entretanto, a simulação computacional de sistemas consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o

funcionamento de praticamente todos os tipos de operação ou processos do mundo real. Esta tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma ferramenta técnica que permite aos analistas, dos mais diversos segmentos (administradores, engenheiros, biólogos, técnicos em informática, etc.), verificar ou encaminhar soluções com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente.

No encaminhamento de um estudo de simulação, uma das principais etapas consiste na modelagem do sistema sob estudo, sendo que nesta se pressupõe um processo de criação e descrição, envolvendo um determinado grau de abstração que, na maioria das vezes, acarreta uma série de simplificações sobre a organização e o funcionamento do sistema real. Inúmeros são os sistemas aptos à modelagem e simulação como por exemplo:

- Sistemas de Produção
- Sistemas de Transporte e Estocagem
- Sistemas Computacionais
- Sistemas Administrativos e
- Sistemas de Prestação de Serviços, Ecologia e Meio Ambiente.

Quando se fala do ensino de simulação para os cursos de engenharia e informática, a atenção se volta para a simulação probabilística a eventos discretos, normalmente caracterizada pela existência de um relógio que avança a intervalos variáveis de tempo, em função do próximo evento a ser executado. Neste caso a simulação corresponde à realização de experimentos numéricos com modelos lógico-matemáticos. Estes experimentos envolvem geralmente grande volume de cálculos repetitivos, fazendo uso intensivo do computador. Em casos muito simples, no entanto, uma simulação poderá ser feita com lápis e papel.

O ensino de simulação envolve o emprego da teoria das filas, funções geradoras de variáveis aleatórias, terminologias usadas na modelagem (eventos, entidades, atributos, etc), variabilidade dos modelos, análise e tratamento de dados e resultados, etc., sendo que para um melhor entendimento destes itens, é necessário o emprego de um conjunto de fórmulas matemáticas que se não forem ilustradas de forma aplicada, corre-se o risco de que o alcance desta técnica não seja compreendido pelo aluno.

É importante enfatizar que na literatura existente encontram-se referências que apresentam pesadas deduções de fórmulas, baseadas em Estatística e Probabilidades e aplicações específicas de engenharia, sem o uso dos recursos computacionais recentes. Também existem referências nas quais são verificados desenvolvimentos matemáticos com orientações abstratas e sem nenhuma aplicação, dificultando sua compreensão por parte de professores e alunos. Existem ainda aquelas que se atém a testes dos geradores de números aleatórios, deixando de lado outros aspectos importantes.

Este trabalho apresenta algumas experiências do ensino de simulação discreta na UNISUL, baseadas no uso de recursos computacionais, tais como planilhas eletrônicas, linguagens de programação, pacotes de simulação e pesquisas na internet. Além disso, serão avaliadas as melhorias alcançadas no ensino mediante algumas aplicações já realizadas pelos alunos.

2.0 O Ensino de Simulação

Educadores, pedagogos e psicólogos há tempos propõe novos paradigmas para o processo de ensino-aprendizagem. Os estudos de Papert e a Teoria das Múltiplas Inteligências, de Gardner, são dois importantes exemplos dessas mudanças. Nessa nova visão o professor deixa de ser o centro irradiador de conhecimento, passando o aluno a ser o centro de construção desse conhecimento.

Nos cursos de engenharia e informática é comum o uso de práticas de laboratório e desenvolvimento de projetos como forma de complementação do conteúdo teórico. Essas

práticas costumam apresentar bons resultados justamente por atenderem alguns princípios como motivação, participação e personalização. O emprego de recursos computacionais pode complementar algumas dessas práticas e possibilitar o atendimento dos requisitos e conceitos aqui apresentados no ensino de simulação, onde os objetivos procurados são normalmente mais difíceis de ser atingidos pelos meios convencionais de ensino.

O ensino de simulação deve dar ao estudante uma visão geral da simulação aplicada a diferentes sistemas mediante o uso de conceitos relacionados com esta técnica e à aplicação de outros conhecimentos adquiridos na formação acadêmica, tais como Pesquisa Operacional, Probabilidade e Estatística, Linguagens de Programação, etc.

O plano de ensino proposto na UNISUL tem uma duração de 60 horas/aula e a metodologia aplicada está definida por aulas expositivas, seminários, trabalhos de pesquisa, exercícios teóricos e práticos, assim como o atendimento paralelo aos alunos.

O conteúdo programático é definido conforme o projeto pedagógico da Universidade, onde são consideradas as necessidades de atualização, boa formação teórico-acadêmica e evolução gradual para enfoques aplicados e específicos, conduzindo, naturalmente ao estabelecimento dos seguintes Blocos:

Bloco I

Os tópicos apresentados a seguir têm por objetivo proporcionar ao aluno uma revisão de conceitos gerais e a utilização de recursos computacionais básicos para a aplicação destes conceitos em modelos de simulação propostos. Este Bloco tem uma duração de 50% das horas/aulas designadas para o ensino da simulação, estruturado da seguinte forma:

- Conceitos básicos, funções, técnicas e testes de geração de variáveis aleatórias e teoria das filas;
- Uso de Planilhas Eletrônicas para a simulação;
- Análise e implementação de sistemas via Planilhas e
- Análise e implementação de sistemas mediante linguagens de programação (Delphi e Pascal).

Neste Bloco é dada grande importância à teoria e à sua aplicação prática mediante o uso das planilhas eletrônicas.

Bloco II

Este Bloco tem por objetivo dar ao aluno uma visão geral sobre o uso de recursos computacionais específicos, utilizados na simulação de sistemas e à aplicação mais criteriosa dos conceitos estudados no Bloco anterior. A duração deste Bloco é de, aproximadamente, 25% das horas/aula. A seguir são apresentados os tópicos mais importantes abordados neste Bloco:

- Pesquisa de outros pacotes de simulação e execução de seus demos;
- Uso do pacote de simulação Arena;
- Análise e implementação de sistemas no Arena e
- Estudo de um pacote de simulação desenvolvido na UNISUL utilizando o método das três fases e a linguagem Pascal.

Implementa-se aqui o processo de simulação que considera a coleta e preparação dos dados, estabelecimento de objetivos, construção e formulação de modelos, tradução do modelo, experimentação, análise e interpretação dos resultados mediante o estudo de caso de vários exemplos.

Bloco III

O objetivo principal deste Bloco é mostrar as aplicações da simulação em sistemas reais que se vem realizando e implementar sistemas com características reais no Arena, assim composto:

- Pesquisa de aplicações de sistemas reais;
- Experiências relatadas pelo professor;
- Visitas técnicas realizadas à empresas;
- Projeto de implementação de um sistema real no Arena.

Neste Bloco, a participação do aluno é importante e o projeto final é criteriosamente orientado pelo professor.

3.0 Uso de Planilhas Eletrônicas e Linguagens de Programação

Uma planilha eletrônica pode ser considerada como uma tabela, constituída por células, sendo que os dados inseridos nela são administrados, processados e representados graficamente. Os aplicativos atualmente disponíveis estão destacados pelas *interfaces* amigáveis (que facilitam seu uso) e pela não exigência do conhecimento de uma linguagem específica, a não ser as operações básicas utilizadas. De fato, vem crescendo sua utilização em outras áreas da Pesquisa Operacional como Programação Matemática, Análise do Risco, Previsão da Demanda, tirando proveito da grande aceitação que as planilhas têm no meio empresarial, com estimativas de que existem atualmente 30 milhões de usuários.

A Figura 2.1 ilustra uma simulação realizada para um pequeno supermercado com somente um atendente, sendo que os clientes chegam no caixa aleatoriamente, em intervalos de tempo que variam de um à oito minutos com igual probabilidade e o tempo de serviço, varia de um à seis minutos, com probabilidade diferente para cada valor. Estes tempos foram definidos e avaliados utilizando-se funções e lógicas fornecidas pela planilha eletrônica.

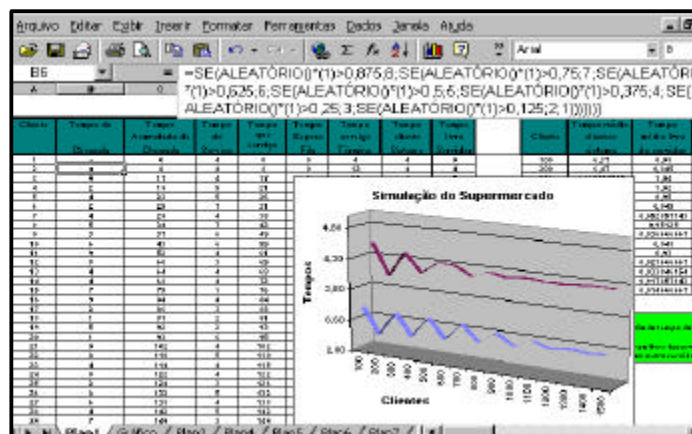
Figura 2.1 Um Exemplo de Simulação via Planilhas Eletrônicas

Montou-se uma tabela para simular o sistema considerando 1500 clientes e logo

determinou-se as variáveis que permitiram realizar a análise do desempenho (tempo médio de espera na fila, tempo livre do servidor, tempo médio dos clientes no sistema, etc) e também a variação destas foram representadas e analisadas graficamente em função da variação do número de clientes.

Neste exemplo são discutidos princípios estabelecidos pela teoria através da implementação do modelo. Utilizando recursos mais avançados das planilhas foi implementado o exemplo anterior, considerando dois atendentes (até n) e alguns exemplos da teoria das filas e estoques.

As vantagens observadas no uso das planilhas eletrônicas para dar suporte são muitas:



- Facilidade de compreensão por utilizar apenas fórmulas padrões, permitindo aos seus usuários um entendimento de sua lógica, sem exigir o conhecimento de uma linguagem de programação específica;
- Facilidade de customização ou de alterar e incluir características ao sistema, de forma a adequá-lo às necessidades específicas dos alunos e
- Alta conectividade, o que se refere a capacidade da *interface* de estabelecer conexões entre diferentes bases de dados, facilitando a importação e exportação de dados.

Como desvantagem, pode-se citar as situações estáticas mostradas pelo modelo gerado através de fórmulas matemáticas, quando a simulação deveria refletir a evolução dinâmica do sistema ao longo do tempo. Outra desvantagem é a dificuldade de construção e alteração de lógicas mais detalhadas. Para contornar estas dificuldades é aventada a possibilidade de utilização de linguagens de programação.

A análise e implementação de sistemas mediante o uso de linguagens de programação (Delphi, Fortran, Pascal, etc.) é importante para a compreensão da evolução dinâmica e o manuseio mais criterioso de lógicas incorporadas em processos de simulação.

A Figura 2.2 ilustra um programa que gera números aleatórios entre dois valores que são especificados pelo usuário, sendo estes números representados por um histograma, com a indicação dos valores médio, máximo e mínimo da amostra.

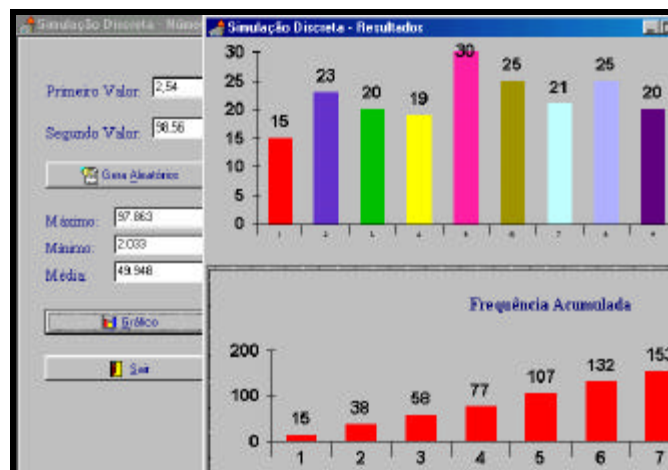


Figura 2.1 Programa que gera números aleatórios

Este exercício é feito pelos alunos para a revisão dos conceitos relacionados com outras disciplinas (i.e. estatística, linguagens de programação, etc) e para a realização de experiências com variáveis aleatórias. São analisados e implementados exemplos já codificados em diferentes linguagens de computação existentes na literatura, como a simulação das filas de um banco, cruzamento de duas ruas, barbearia, etc. (NORBERTO e DACHS, 1988).

A utilização de conceitos básicos na implementação de sistemas utilizando uma linguagem de programação é importante para o ensino de simulação, pois o raciocínio lógico é entendido através da experimentação da evolução dinâmica do sistema. São avaliadas as dificuldades inerentes a estas implementações e é discutida a possibilidade do uso de outros recursos como, por exemplo, o pacote de simulação que será apresentado na próxima Seção.

4.0 Uso de Pacotes de Simulação

Os softwares de simulação podem ser de uso geral ou voltados para aplicações específicas, tais como manufatura, serviços, telecomunicações, reengenharia e outros. Os principais pacotes de simulação de uso geral são o Arena, AutoMod, Extend, GPSS H, Micro Saint, ProModel, Taylor, VisSim, dentre outros (SALIBY, 98).

Algumas características marcantes destes pacotes são comuns à maioria dos produtos que disputam este rico mercado, entre as quais citamos a busca de um ambiente de trabalho que seja o mais amigável possível, com facilidades para a modelagem, depuração, visualização da execução, análise estatística de resultados e geração de relatórios. Mas, sem dúvida os mais procurados atualmente são os recursos de animação, que vão desde simples implementações até recursos de animações em 3-D que, obviamente, consomem considerável espaço de memória e encarecem o produto.

Uma característica marcante destes produtos diz respeito à etapa de modelagem/programação, onde se dispõe de uma vasta biblioteca de objetos e comandos, que são posicionados e conectados via *mouse*. Proporcionam interfaces com linguagens de programação para poder contornar algumas dificuldades encontradas na implementação de sistemas.

No ensino de simulação discreta, na UNISUL, apresenta-se uma introdução à linguagem de simulação Arena, podendo ser amplamente empregada para a modelagem, programação e simulação dos diversos exemplos, exercícios e estudos de casos propostos.

Os comandos básicos ensinados têm como base os manuais do software, fornecidos juntamente com o CD de instalação, e sua manipulação apresenta apenas algumas características básicas que permitem ao aluno iniciar seu aprendizado da linguagem, o que, com algum esforço pessoal, será possível acompanhar o conteúdo principal do pacote.

Para lidar com o ARENA 3.0 são abordados quatro temas básicos a partir do painel Common: interface básica do ambiente, introdução à construção de modelos, execução e animação de simulações (KELTON, et ali., 98).

É realizada, mediante o Input e Output Analyzer deste pacote, uma análise e tratamento de dados e resultados, sendo importante o uso deste recurso para a compreensão da coleta, identificação da distribuição estatística, estimação dos parâmetros e testes de aderência, elementos que permitem a construção do modelo completo de um sistema.

A Figura 4.1 apresenta o ambiente de trabalho do ARENA e um modelo de simulação da sala de emergência de um hospital, onde os pacientes chegam e passam por vários tipos de atendimento, conforme o estado em que se encontram.

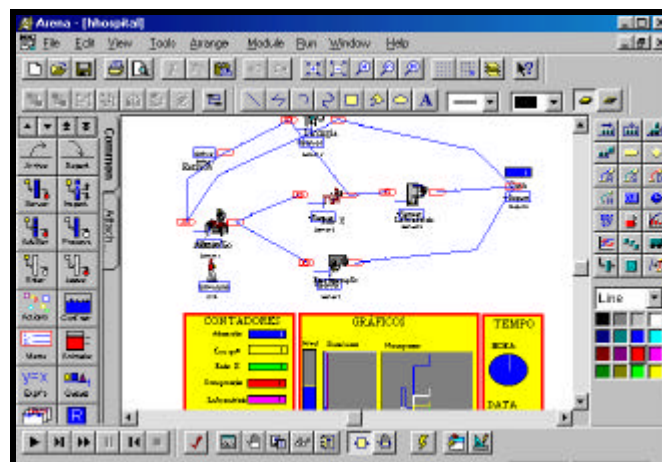


Figura 4.1 O Ambiente de trabalho do Arena

A interface gráfica deste pacote facilita a modelagem de sistemas mais complexos que os implementados mediante as linguagens de programação e planilhas eletrônicas explicadas na

Seção anterior. Para aprimorar os conceitos estudados recomenda-se comparar criteriosamente o uso destes recursos computacionais em função das dificuldades encontradas experimentalmente. Além disso, deve ser reconhecido o aprendizado do desenvolvimento lógico adquirido anteriormente. Caso contrário, se corre o risco de não utilizar este pacote de forma criteriosa e bem orientada.

É importante pesquisar na internet outros pacotes de simulação e debater mediante os programas “demos” as aplicações que se vem realizando em diferentes sistemas e países. Desta forma o aprendizado se torna mais amplo e geral, implicando em uma maior motivação por parte dos alunos.

5.0 Aplicações Realizadas

Como trabalho final da disciplina os alunos apresentam um projeto de implementação de um sistema com características reais no Arena, onde o objetivo é aplicar os conhecimentos adquiridos na disciplina e propor algumas alternativas para um melhor funcionamento do sistema a ser aplicado. A seguir são descritos dois trabalhos, de forma sucinta, eleitos dentre outros.

A Figura 5.1 apresenta um modelo de simulação aproximado do fluxo de informações na rede de computadores que considera cinco laboratórios de informática da UNISUL. O objetivo é verificar onde se dá o maior tráfego e avaliar a quantidade. A modelagem do sistema se baseia em um estudo das operações da rede Internet e Intranet.

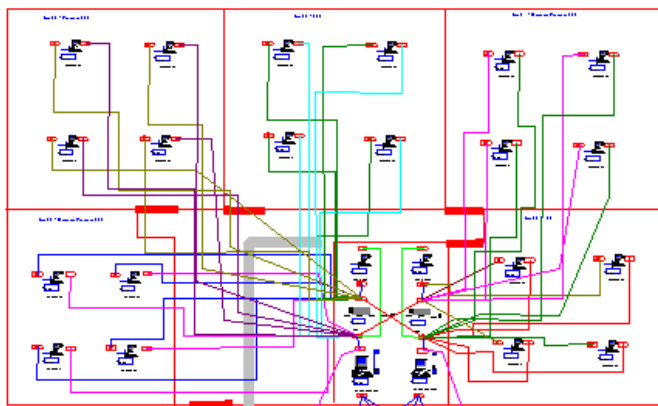


Figura 5.1 Modelo de Simulação do Tráfego das Informações

O estudo é desenvolvido utilizando-se a linguagem de simulação ARENA. A animação do sistema está definida pela própria estrutura dos laboratórios, que por sua vez, devido ao grande número de componentes e aliada a sua complexidade de operação, tem seu fim voltado principalmente para o ensino e compreensão das funções básicas, limitando-se assim a aplicação de vários componentes existentes em uma rede de computadores. Por outro lado, através de uma análise dos resultados verificou-se em que laboratório será necessária a ampliação (*upgrade*) para uma tecnologia mais avançada, possibilitando uma melhor estrutura da rede.

Este trabalho, divulgado em um Congresso, atualmente serve de base para estudos que se vêm realizando sobre simulação de redes de computadores e outros sistemas computacionais (LEMON e VILLARROEL, 1999).

A Figura 5.2 apresenta um modelo de simulação do acesso dos veículos procedentes da BR 101 à cidade de Tubarão, nos trevos Humaitá, Morretes e Acesso Sul. Os veículos, na sua maioria, têm duas procedências: Porto Alegre e Florianópolis. O objetivo é verificar qual dos acessos possui tráfego maior.



Figura 5.2 Modelo de Simulação do Acesso de Veículos à Tubarão

A Figura 5.3 ilustra o painel de controle dos parâmetros considerados no fluxo dos veículos, objetivando auxiliar os órgãos competentes na tomada de decisões que visem melhoramentos no acesso à Tubarão, em horários de maior tráfego.



Figura 5.3 Painel de Controle dos Acessos à Tubarão

Os dados utilizados nos dois modelos foram coletados e analisados pelas equipes. Os primeiros foram obtidos mediante o Performance Monitor do Windows NT, ferramenta gráfica de medida de performance de recursos de um computador, e o segundo, mediante contagem realizada do número de veículos que trafegam nos acessos à Tubarão, já definidos.

No desenvolvimento dos trabalhos finais pode-se perceber uma grande motivação para poder implementar um modelo com características reais, sendo que esta motivação vai desde a pesquisa e questionamento de sistemas, até entrevistas e visitas técnicas para as empresas. A participação dos alunos é grande desde a obtenção dos dados até a implementação do modelo.

Estes trabalhos possibilitam o atendimento dos requisitos e conceitos apresentados na Seção 2, onde estes modelos teriam sido difíceis de ser atingidos por linguagens de programação e planilhas eletrônicas, embora o sucesso destes trabalhos dependa do uso dos conceitos básicos implementados através destes últimos recursos computacionais. É importante enfatizar que a qualidade apresentada nos trabalhos finais depende da compreensão dos princípios e a implementação criteriosa dos exercícios utilizando recursos computacionais.

As melhorias alcançadas no ensino de simulação na UNISUL podem ser verificadas mediante a evolução paulatina dos trabalhos finais, sendo que estes apresentam um aprimoramento no uso dos conceitos, de desenvolvimentos lógicos e do detalhamento das partes envolvidas no desempenho do sistema.

6.0 Conclusões

Este trabalho apresentou algumas experiências realizadas no ensino de simulação para os cursos de engenharia e informática, a partir do conteúdo programático definido conforme o projeto pedagógico da UNISUL e explicado na Seção 2, mediante os três Blocos apresentados. O conteúdo envolve desde o estudo de conceitos básicos até a implementação de sistemas com características reais.

A aplicação de planilhas eletrônicas em modelos com um e dois servidores em série e paralelo (estendidos até n servidores) e em estudos preliminares de estoques, estabelecem um melhor entendimento dos conceitos básicos de simulação, considerados no Bloco I. A facilidade de uso deste recurso proporciona maior participação dos alunos até a constatação das dificuldades de construção e alteração de lógicas mais detalhadas, as quais são contornadas pelo uso de linguagens de programação. Os princípios gerais relacionados com a simulação de sistemas, deverão ser repassados criteriosamente.

Devido a sua interface gráfica, recursos de animação e a facilidade de modelagem de sistemas, o uso de pacotes específicos de simulação se traduz numa maior motivação dos alunos em aprender e aplicar esta ferramenta em sistemas que são estudados no curso. O sucesso dos tópicos considerados no Bloco II será definido a partir das discussões de experiências encontradas no Bloco anterior.

É importante realizar visitas técnicas às instalações industriais e mostrar as aplicações reais da simulação, com a finalidade de motivar os alunos para a implementação de sistemas com características reais num pacote específico de simulação. Além disso, para poder atingir satisfatoriamente a finalidade proposta no Bloco III, é importante realizar, na elaboração do projeto final da disciplina, uma orientação criteriosa e motivar a sua apresentação, complementando-o com pesquisas relativas a sua aplicação.

O emprego dos recursos computacionais propostos verificam as melhorias alcançadas no ensino, sendo que as aplicações ilustradas na Seção anterior servem atualmente para estudos e pesquisas desenvolvidas na UNISUL. Também podem vir a complementar um melhor entendimento da simulação enfatizando aspectos multidisciplinares.

Considerando ser a disciplina ministrada em vários cursos, o seu ensino se torna muito abrangente, sendo difícil para os professores atingirem todos os tópicos de forma satisfatória. Por esta razão, propõem-se discussões buscando rever a forma como deve ser lecionada, com base nas experiências aqui relatadas.

7.0 Bibliografia

- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. Discrete-Event System Simulation. New York: Prentice-Hall, USA, 1996.
- BRATLEY, P., FOX, B. L., SCHRAGE, L. E. A guide to simulation. 2. ed. New York, Springer-Verlag, 1987.
- FISHWICK, P. Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds. New York, Prentice-Hall, 1995.
- KELTON, D.; SADOWSKI, D. A.; SADOWSKI, R. P. Simulation with ARENA. New York, McGraw-Hill, 1998.
- LACERDA, L. S.; VASCONCELLOS, R. S. Utilização de Planilhas Eletrônicas em Programação Matemática. Rio de Janeiro, SOBRAPO - Pesquisa Operacional, vol. 16, n. 2, 1996.
- LAW, A.; KELTON, W. Simulation Modeling and Analysis. 3 ed. New York, McGraw-Hill, 1991.
- LAW, A.; MCCOMAS, M. Secrets of Successful Simulation Studies. New York, Prentice-Hall, 1991.

- LEMOS, E.; VILLARROEL, D. R. Um modelo de simulação aproximado do fluxo de informações numa rede de laboratórios de informática. XXXI SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Juiz de Fora - MG, 1999.
- MORGAN, B. J. T. Elements of simulation. London, Chapman & Hall, 1984.
- NANCE, R. E. A history of discrete event simulation programming languages, history of programming languages. s. l., ACM Press and Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- NAYLOR, T. H.; BALINTFY, J. L.; BURDICK, D. S.; CHU, K. Técnicas de simulação em computadores. São Paulo, Vozes, 1971.
- NORBERTO, J.; DACHS, W. Estatística computacional - Uma introdução em Turbo Pascal. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A., 1988.
- PARAGON CONSULTORIA. Introdução a simulação com ARENA. São Paulo, 1998, 224p.
- PARAGON CONSULTORIA. Curso de análise de resultados da simulação. São Paulo, 1995, 131p.
- PEDGEN, C. D.; SHANNON, R.; SADOWSKI, R. P. Introduction to simulation using SIMAN. 2. 2d. New York, McGraw-Hill, 1994.
- PERIN, C. F. Introdução à simulação de sistemas. Campinas, Ed. da Unicamp, 1995.
- PRADO, D. Teoria das Filas e da Simulação. Belo Horizonte, Ed. de Desenvolvimento Gerencial, 1999, 122p.
- PRADO, D. Usando o ARENA em Simulação. Belo Horizonte, Ed. de Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- PROMODEL CORPORATION, ProModel for Windows – Cuaderno de Trabajo. São Paulo, 1996, 192p.
- RAJ, J. The art of computer systems performance analysis, techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling. New York, John Wiley & Sons, 1991.
- ROSS, S. M. A course in simulation. University of California, Maxwell MacMillan International Editions, 1991.
- ROSS, S. M. Introduction to Probability Models. s. l., Academic Press, 1997.
- ROSS, S. M. Simulation. s. l., Academic Press, 1997.
- SALIBY, E. Repensando a Simulação: A amostragem descritiva. Rio de Janeiro, Atlas, 1989, 182 p.
- SALIBY, E. Softwares para Simulação. Rio de Janeiro, SOBRAPO - Pesquisa Operacional. V. 16, n. 1, 1996.
- SYSTEM MODELING CORPORATION, ARENA User's Guide. Amsterdam, 1995, 287p.
- WELLS, E. Developing Microsoft Excel 95 solutions with Visual Basic for Applications. Redmond, Microsoft Press, 1995.