

HENRIQUE BRICKMANN ARENO

**SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE ENSINO EM CURSOS
DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ADMINISTRAÇÃO**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

**São Paulo
2003**

HENRIQUE BRICKMANN ARENO

**SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE ENSINO EM CURSOS
DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ADMINISTRAÇÃO**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

Orientador:
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco da Costa

**São Paulo
2003**

“Experiência é o nome que damos aos
nossos próprios erros.”

Oscar Wilde

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Florita, que, apesar do pouco tempo de convivência, pôde me mostrar grandes valores do ser humano e a importância de uma boa educação;

Ao meu pai, Abner, pelo suporte a todas decisões pessoais e profissionais por mim tomadas;

Aos meus irmãos, André, Pedro e Filipe que, mais do que apenas irmãos, são grandes amigos;

Ao Professor Reinaldo Pacheco pela orientação, atenção e conselhos dados;

Ao Léo, grande amigo da Simulate que me forneceu total apoio no desenvolvimento do presente trabalho.

RESUMO

Tradicionalmente, a metodologia de ensino é baseada em um modelo em que o professor expõe o conhecimento em uma sala de aula e o aluno simplesmente o absorve, ou melhor, procura absorvê-lo da melhor maneira que puder.

Entretanto, nas últimas décadas, com a melhor compreensão da pedagogia do aprendizado, vêm surgindo novas técnicas de ensino e aprendizado. Além disso, muitos estudos comprovaram a existência de vários estilos de aprendizado por parte dos alunos, o que leva à necessidade de vários modos diferentes de ensino.

O objetivo desse trabalho é mostrar um desses novos métodos, ao menos no que se refere ao ensino da Engenharia e Administração de Empresas: os Modelos Didáticos de Simulação de Operações. Através deles é possível que o papel do professor migre de uma figura de transmissor de conhecimentos para uma posição de promotor de conhecimentos. O professor mostrará e fornecerá ferramentas de aprendizado, as quais os alunos utilizarão para formar seu conhecimento, resultando assim em uma base conceitual muito mais sólida.

Tendo em vista o referido método de ensino, foram construídos cinco modelos de simulação didáticos pertinentes aos cursos supracitados: i) modelo de manutenção, onde se verificará o impacto financeiro que o plano de manutenção tem sobre uma indústria de manufatura; ii) sobre o teorema do limite central, através do qual será possível variar os parâmetros de distribuições que serão agrupadas para demonstrar o mesmo; iii) modelo de seqüenciação para ensinar métodos de priorização de pedidos em centros de trabalho e ilustrar o impacto da adoção deles na produção; iv) modelo que se refere a um trecho de uma cadeia de fornecimento, indicando aspectos que podem influenciar nessa; e, finalmente, v) modelo de dimensionamento de mão-de-obra em um processo produtivo e aferição da qualidade obtida nesse processo, através de indicadores e gráficos.

ABSTRACT

Usually, the teaching methodology is based on a model in which the teacher lectures the knowledge in a classroom and the student is limited to absorb it, i. e., they try to absorb it the best they can.

However, in the past decades, new techniques of teaching and learning have arisen, with a better comprehension of the learning pedagogy. Beyond this fact, many studies have proved the existence of several different styles of learning, which brings the need for several different ways of teaching.

The objective of this work is to demonstrate one of these possible methods, at least in terms on Engineering and Administration Schools, the Didactic Operations Simulation Models (DOSM). Through DOSM is possible that the teacher image migrates from a knowledge transmitter to knowledge promoter. The teacher must show and provide tools for learning, which the students will use to achieve their knowledge, i. e., they will have a wider more solid base of knowledge.

After explaining the referred method, it were built five different Didactic Operation Simulation Models that may be used on the mentioned courses: i) a maintaining model, in which the student will be able to verify the financial impact of the maintaining plan on a manufactory industry; ii) one model about the Central Limit Theorem, through which the student will be able to change the parameters of distributions that will be mixed together in order to demonstrate the referred theorem; iii) a sequence model to teach methods of priority on work center orders and illustrate their impact on the system results; iv) a model in which is possible to visualize a part of a supply chain, illustrating aspects that can directly interfere on I and, finally, v) a model of production system sizing and process quality measure through indicators and graphics.

SUMÁRIO

<u>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</u>	<u>1</u>
1.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA	2
1.2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO	4
<u>CAPÍTULO 2 – TEORIAS DE ENSINO E SIMULAÇÃO</u>	<u>13</u>
2.1. TEORIAS DE ENSINO	14
2.2. SIMULAÇÃO E JOGOS NO APRENDIZADO	18
2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS JOGOS DE SIMULAÇÃO	20
<u>CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS</u>	<u>23</u>
3.1. METODOLOGIA	24
3.2. MODELO 1: MANUTENÇÃO	26
3.3. MODELO 2: TEOREMA DO LIMITE CENTRAL	30
3.4. MODELO 3: SEQUEUM	35
3.5. MODELO 4: FORNECIMENTO – TRECHO DE SUPPLY CHAIN	40
3.6. MODELO 5: DIMENSIONAMENTO E QUALIDADE	51
<u>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E CONCLUSÕES</u>	<u>58</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>63</u>
<u>LISTA DE REFERÊNCIAS</u>	<u>99</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: exemplo de tela de modelo didático (fonte: tela do Simul8)	7
Figura 2: exemplo de movimento harmônico simples (adaptado de Carrie, 1988).....	9
Figura 3: gráfico de movimento oscilatório amortecido (fonte: o autor)	10
Figura 4: gráfico de número de trabalhadores em uma linha de produção ao longo do tempo (fonte: o autor).....	11
Figura 5: “ problema das médias” (adaptado de Savage, 2003).....	12
Figura 6: tipos de alunos, no que diz respeito ao aprendizado (Chwif, 2003)	17
Figura 7: ciclo de Kolb (traduzido de Felder, 1996)	18
Figura 8: figura esquemática mostrando diferença entre duas técnicas educacionais (traduzido de Chwif, 2003).....	19
Figura 9: esquema geral do loop de controle do processo de treinamento em PPCP (adaptado de Wiendal, 1995).....	20
Figura 10: metodologia de Simulação para o desenvolvimento dos Modelos (Balci, adaptado por Chwif, 2003).....	24
Figura 11: tela do modelo Kid Rapidinho (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	29
Figura 12: exemplo de caixa de diálogo do Simul8 (retirado de tela do <i>Simul8</i>).....	30
Figura 13: exemplo de filas utilizadas no modelo do Teorema do Limite Central (fonte: tela do <i>Simul8</i>).....	32
Figura 14: exemplo do TLC com cinco replicações de cada distribuição e trezentas amostras (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	33
Figura 15: exemplo com duas replicações em cada distribuição e trezentas amostras (fonte: <i>tela do Simul8</i>).....	34
Figura 16: exemplo com poucas distribuições e poucas replicações (fonte: <i>Simul8</i>).....	35
Figura 17: Jobs Matrix do Simul8 (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	37
Figura 18: planilha do SequeUm onde é possível escolher políticas de priorização na sequênciação de cada Work Center (fonte: <i>Simul8</i>)	38
Figura 19: tela do Modelo Sequeueum (fonte: <i>Simul8</i>)	40
Figura 20: gráfico de exemplo de demanda constante (fonte: o autor)	44
Figura 21: gráfico de exemplo de demanda variável (fonte: o autor)	44
Figura 22: gráfico de exemplo de demanda "triangular" (fonte: o autor).....	45
Figura 23: gráfico de exemplo de demanda triangular com desvio (fonte: o autor).....	46
Figura 24: modelo de simulação de abastecimento (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	50
Figura 25: planilha de entrada de projetos no Modelo de Fábrica de Software (fonte: tela do <i>Simul8</i>).....	54
Figura 26: tabela interna do Modelo de Dimensionamento e qualidade - quantidade de funcionários e tempo de execução de tarefas (fonte: tela do <i>Simul8</i>).....	56
Figura 27: caixa de diálogo de qualidade do Modelo de Dimensionamento e Qualidade (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	57
Figura 28: com a simulação didática há a divulgação da simulação computacional discreta probabilística (fonte: o autor).	60
Figura 29: <i>Work Entry Point Properties</i> (fonte: tela do <i>Simul8</i>).....	66
Figura 30: <i>Storage Bin Properties</i> (fonte: tela do <i>Simul8</i>).....	67
Figura 31: <i>Work Center Properties</i> (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	68
Figura 32: <i>Resources Properties</i> (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	69
Figura 33: <i>Work Complete Properties</i> (fonte: tela do <i>Simul8</i>).....	70
Figura 34: exemplo de tela do <i>Visual Logic</i> (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: cronograma de desenvolvimento do projeto (fonte: o autor)	4
Tabela 2: Comparação entre métodos de ensino (adaptado de Rodrigo, 1998)	19
Tabela 3: tempos de manutenção do modelo "Kid Rapidinho"	27
Tabela 4: tempos de produção das famílias na SequeUm (Santoro, 2002)	36
Tabela 5: dados das ordens do SequeUm (Santoro, 2002)	37
Tabela 6: planilha de entrada de dados do modelo de suprimento (fonte: tela do <i>Simul8</i>)	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEO - Chief Executive Officer (diretor geral)

CIETEC – Centro Incubador de Empresas Tecnológicas

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

SCTDE – Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do
Estado de São Paulo

SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo

USP – Universidade de São Paulo

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Descrição da Empresa

Descreveremos a empresa onde foi realizado o estágio, sua situação e o escopo do estágio.

1.1.1. A Simulate

O presente trabalho foi desenvolvido na Simulate Tecnologia de Simulação Ltda, com total suporte da mesma. A Simulate é uma empresa enquadrada na categoria de “pequena empresa” e encontra-se incubada no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas – CIETEC.

A empresa contou com o convênio firmado entre o CIETEC e a Fundação Vanzolini para o financiamento da bolsa-estágio do autor desse trabalho e atuante na Simulate. Desse modo, esse trabalho foi patrocinado por duas instituições: a Simulate e a Fundação Vanzolini, órgão vinculado ao Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A Simulate é uma empresa de consultoria em Operações e Logística que conta, para a elaboração de seus projetos, com o apoio da ferramenta de simulação através do software *Simul8*.

Além disso, a Simulate é representante da *Simul8 Corp*, proprietária da marca *Simul8*, comercializando o software, dando treinamento e suporte.

A empresa possui menos de três anos, mas já realizou trabalhos em empresas conceituadas, como a Motorola do Brasil, Bardahl, Audi, Multibrás, CCE Eletrodomésticos S.A., entre outras.

1.1.2. O CIETEC

O Centro Incubador de Empresas Tecnológicas - CIETEC é uma sociedade civil sem fins lucrativos, com personalidade jurídica de direito privado e com autonomia administrativa e financeira, constituído em 14/04/1997.

Foi criado através do Protocolo de Cooperação, firmado em 02/09/1996, pela Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo - SCTDE, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, através de seu Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, a Universidade de São Paulo -

USP e o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo - SEBRAE-SP.

Instalado em um dos mais importantes centros de saber do Brasil, o CIETEC agrega uma nova vertente do desenvolvimento empresarial: empresas que utilizam inovações tecnológicas criadas por centros de pesquisa.

No CIETEC, as empresas podem contar com técnicos e pesquisadores de todos esses centros, além da expertise de seus próprios participantes.

O Parque Tecnológico, que inclui a USP e suas unidades, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, fica acessível às empresas a custos compatíveis com sua realidade econômica.

O Parque Tecnológico possui mais de 400 laboratórios de excelência, em todas as áreas do conhecimento humano.

Através da parceria com essas instituições, o CIETEC oferece cursos, palestras, fóruns e debates, atraindo para o interior do Parque Tecnológico diversas personalidades do cenário nacional da Ciência, Tecnologia e Inovação.

É dessa maneira que o CIETEC busca sua auto-sustentação através da geração contínua de novos negócios.

Portanto, trata-se de uma instituição que se destina a apoiar a formação e a consolidação de micro e pequenas empresas de base tecnológica, nos aspectos técnico, gerencial, mercadológico e de recursos humanos, de modo a assegurar o seu fortalecimento e a melhoria do seu desempenho.

1.1.3. O Estágio

O estágio, como já mencionado, foi realizado na Simulate Tecnologia de Simulação Ltda.

O presente trabalho nasceu, inicialmente, de uma idéia de Leonardo Chwif, Ph.D em simulação pela Brunel University, no Reino Unido, e

C.E.O. da Simulate. Leonardo escreveu alguns artigos referentes a esse assunto, dentre eles um que faz parte da bibliografia recomendada, ao final do presente texto.

O escopo principal do estágio foi, portanto, a elaboração desse trabalho. No entanto, além do desenvolvimento do presente, foram realizadas pelo aluno

modelagens e construção de modelos de simulação com posteriores análises, para fins de consultoria para empresas interessadas.

Para o desenvolvimento dos modelos e projeto que é escopo desse Trabalho de Formatura, temos o seguinte cronograma, desenvolvido conjuntamente entre a empresa e o estagiário:

Atividade	14/05/03 a 17/06/03	17/06/03 a 17/09/03	17/06/03 a 27/11/03
A			
B			
C			
D			

Tabela 1: cronograma de desenvolvimento do projeto (fonte: o autor)

- (A) Aprendizagem do Software de Simulação Simul8;
- (B) Elaboração de casos, com auxílio dos docentes;
- (C) Desenvolvimento dos modelos, com mais entrevistas e visitas às empresas;

A segunda parte do estágio, envolvendo desenvolvimento e análises de modelos de simulação para empresa (consultoria) se deu de forma contínua ao longo do estágio, após, obviamente, o aprendizado do software de simulação Simul8.

1.2. Apresentação do Projeto

O projeto a ser desenvolvido tem como nome “Simulação como Ferramenta de Apoio ao Ensino de Engenharia de Produção e Administração”.

Desde o surgimento da Universidade, na Idade Média, a técnica convencional de ensino tem focado na transmissão do conhecimento e não na construção de conhecimento.

Temos nas salas de aulas lições geralmente expositivas, com poucos exemplos práticos ou reais. O professor é um transmissor de conhecimento.

O aprendizado é freqüentemente encadeado através da sequência de conteúdos e não pela curiosidade do aluno.

O que se propõe aqui é o desenvolvimento de modelos de simulação que visem despertar o maior interesse do aluno, que passará de uma posição de expectador para pessoa ativa.

Com esses modelos, que serão baseados em problemas reais vistos em aulas de Engenharia e Administração, será possível para o aluno visualizar os processos em questão e simular os parâmetros do modelo.

1.2.1. Motivação

Segundo Senge (1990), em seu livro *A Quinta Disciplina*, vivemos uma realidade onde à medida que os processos mercantis e produtivos tornam-se mais complexos e dinâmicos, o trabalho deve interligar-se à aprendizagem, para que as organizações permaneçam competitivas. No entanto, a absorção e entendimento de conceitos e conteúdos fundamentais para esta competitividade utilizando-se de técnicas didáticas convencionais, tanto em empresas como universidades, tem se mostrado muitas vezes falhas. Nem todos os conteúdos são absorvidos como deveriam e em muito destes existem "abismos conceituais", ou seja, o aluno acaba por muitas vezes meramente "decorando fórmulas" sem compreender os conceitos fundamentais subjacentes. Isto pode ser minimizado através da utilização de ferramentas de simulação computacional.

À medida que o foco do processo de ensino-aprendizado muda do primeiro para o segundo, a necessidade de um entendimento melhor por parte dos professores da pedagogia do aprendizado cresce em relevância. Muitos estudos nos mostram diferenças em processos de aprendizagem, o que leva à necessidade de diversas técnicas de ensino.

Segundo a teoria de Carl Jung sobre tipos psicológicos, muitos pesquisadores em educação desenvolveram diferentes modelos para os estilos de processos de aprendizado, a fim de classificar os estereótipos de aprendizado. Um professor, *a priori*, deve estar ciente desses diferentes estudos para preparar uma gama variada de atividades dentro do curso e atingir todos os alunos em seus modos de aprendizado.

Em cursos relacionados à gestão de operações, bem como em programas de Engenharia e Ciências, o ensino ainda é baseado em aulas expositivas e tarefas individuais, focando sempre em técnicas de análise abstratas da Engenharia e negligenciando os aspectos interpessoais. Probabilidade, por exemplo, é ensinado como "tire três bolas de uma caixa". O índice de reprovação nesses cursos é alto e a falta de entusiasmo dos alunos é um problema histórico (Chwif, 2003). Os aspectos

matemático e teórico, obviamente, não devem ser deixados de lado, mas existem muitas maneiras de tornar o aprendizado em um processo agradável.

1.2.2. Objetivos

O projeto visa o desenvolvimento de um conjunto de modelos de simulação que suporte os processos didático-pedagógicos no ensino superior de Engenharia de Produção e Administração nas diversas disciplinas que compõem o currículo. Os referidos modelos poderão ser utilizados também em treinamentos em empresas, em tópicos que abranjam os referidos assuntos. Pretende-se, com esses modelos de simulação, tornar o processo de aprendizado mais eficiente, dinâmico e agradável.

Esses modelos de simulação deverão ser interativos e ubíquos, permitindo suas utilizações em plataforma *Web*, necessária ao ensino a distância.

Pretende-se, então, futuramente, comercializar esses modelos através de CDs ou versões para *download* na Internet com as faculdades e empresas interessadas.

Desse modo pretende-se desenvolver, exemplificando, um modelo representativo de uma cadeia logística, um modelo com o qual seja possível trabalhar com os alunos o conceito de Seis Sigma e suas aplicações e um exemplo de manutenção, entre outros. Um exemplo de uma tela de modelo didático que ensina sobre conceitos básicos em cadeias logísticas, pode ser visto na figura 1:

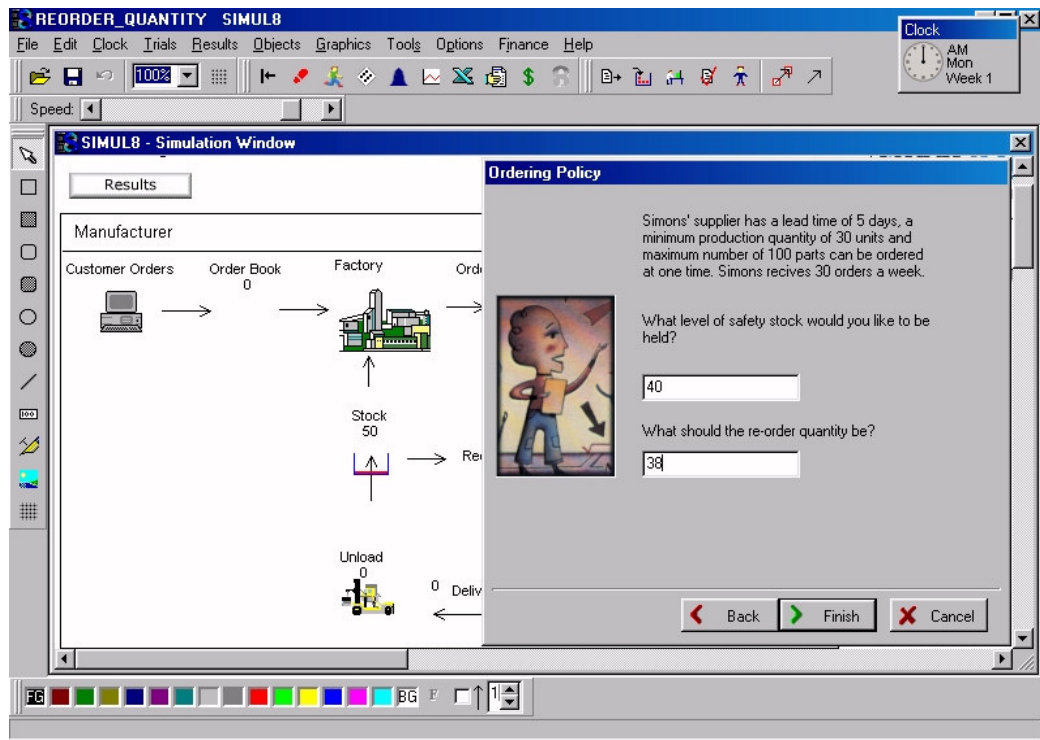


Figura 1: exemplo de tela de modelo didático (fonte: tela do Simul8)

1.2.3. Tecnologia Envolvida e Conceitos Básicos

O principal conceito de que temos falado até agora é o de simulação computacional estocástica de processos discretos.

A tecnologia envolvida é justamente a simulação computacional, através do software de simulação *Simul8*. Esse software foi escolhido por permitir a adição de caixas de diálogo nos modelos e operacionalização de planilhas (conforme veremos adiante), de modo a deixar a simulação altamente amigável no que diz respeito à sua interface com o usuário. Assim, um leigo em simulação pode facilmente “rodar” o modelo sem haver necessariamente a necessidade do conhecimento sobre modelagem ou simulação.

Além disso, a empresa proprietária dos direitos autorais do Software, a Simul8 Corp, disponibiliza gratuitamente uma versão do software *runtime*, o *Simul8 Viewer*. Com ele não é possível construir modelos de simulação e tampouco alterar a lógica de modelos preexistentes, mas podemos justamente alterar dados predeterminados pelo especialista que construiu o modelo e manipular os valores das planilhas de entrada de dados.

Através de caixas de diálogo, por exemplo, dependendo do modo como foi construído o modelo, é possível para o usuário alterar a demanda do produto em questão ou mudar a velocidade de tráfego de um caminhão em um modelo logístico.

Desse modo poder-se-á distribuir os modelos de simulação desenvolvidos ao longo do projeto que poderão ser executados gratuitamente, isto é, ao usuário não será necessário pagar pelos diretos de utilização do *Simul8*.

O Significado de Simulação

Ao procurarmos no Novo Aurélio o verbete “simulação”, encontramos a seguinte definição:

simulação . [Do lat. *simulatione*.] S. f. 1. Ato ou efeito de simular. 2. Disfarce, fingimento; simulacro: Essa história é uma simulação para arrancar dinheiro aos incautos. 3. Hipocrisia, fingimento, impostura: A simulação de Silvério dos Reis pôs a perder a Conjuração Mineira. 4. Reprodução ou representação do funcionamento de um processo, fenômeno ou sistema relativamente complexo, por meio de outro, ger. para fins científicos de observação, análise e predição, ou para treinamento, diversão, etc. 5. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos [v. *modelo* (18)], esp. de modelos computacionais, relativos a processos ou objetos concretos que não podem ser submetidos a experimentação direta. 6. Jur. Declaração enganosa da vontade, com o objetivo de produzir efeito diferente daquele que nela se indica. 7. Psicol. Imitação de uma perturbação somática ou psíquica, com fins utilitários.

A definição que mais se adequa ao nosso sentido é a de número 4, “reprodução ou representação do funcionamento de um processo, fenômeno ou sistema relativamente complexo, por meio de outro, geralmente para fins científicos de observação, análise e predição, ou para treinamento, diversão”.

Como sabemos a imitação ou representação de um sistema é normalmente mais barata do que o sistema real e menos destrutiva para os objetos envolvidos. Podemos, por exemplo, “comprar” mais uma máquina e verificar o resultado sobre o sistema sem ter que investir realmente na referida máquina. Em um simulador de voo, por exemplo, não temos o risco de causar um acidente real com vítimas. Daí o motivo desse ser amplamente utilizado por escolas de aviação.

Falamos anteriormente de dois simuladores completamente distintos: um simulador de manufatura e um simulador de voo. É importante notar que cada simulador é desenvolvido para fins específicos. Ao manusearmos um simulador de

vôo, por exemplo, não nos preocupamos com o funcionamento do sistema de alimentação dos passageiros ao passo que estamos focando o ato de pilotar um avião em si.

O tipo de simulação que iremos utilizar é a simulação computacional discreta probabilística e nosso objetivo será a modelagem e simulação de processos produtivos, como uma indústria de manufatura, por exemplo.

Dizemos que é computacional porque é realizada através de um microcomputador: é construído um modelo de forma que o software possa “entender” e fazer com que o modelo construído nos forneça respostas do sistema de acordo com os *inputs*, ou seja, os dados de entrada do modelo.

Ela é discreta em oposição ao termo “contínua”. Dizemos que uma simulação é contínua quando as mudanças predominantes no sistema ocorrem continuamente e podemos modelá-las através de equações matemáticas.

No exemplo da figura 2 a posição do corpo de massa M pode ser descrita por uma equação de movimento harmônico simples e sua mudança de estado se dá continuamente ao longo do tempo. Nela temos um peso de massa M suspenso por um elástico de constante elástica k e um amortecedor de viscosidade R , submetido a um impulso P .

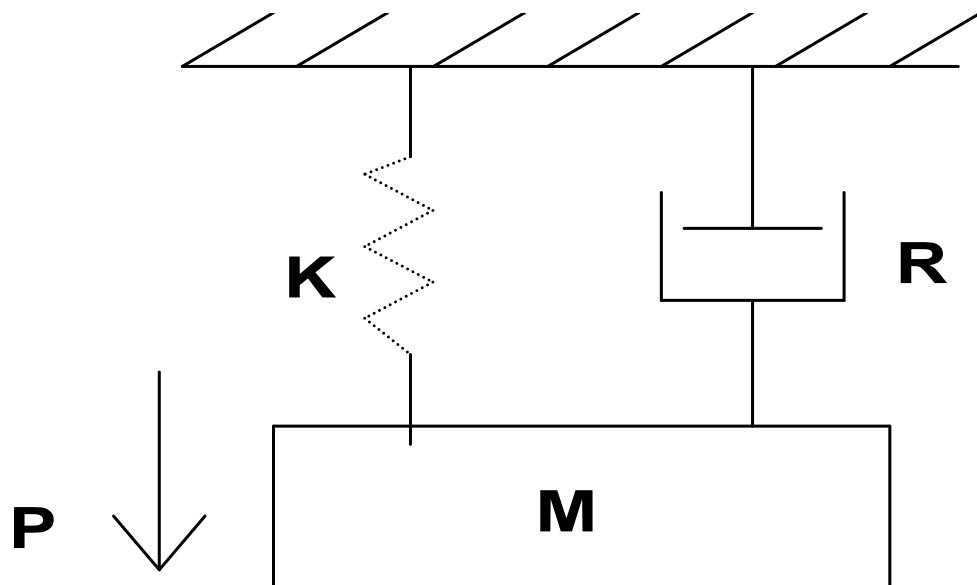


Figura 2: exemplo de movimento harmônico simples (adaptado de Carrie, 1988)

Um gráfico do fenômeno descrito acima pode ser verificado na figura 3. Nele pode-se notar que a posição do corpo ao longo do tempo se altera continuamente:

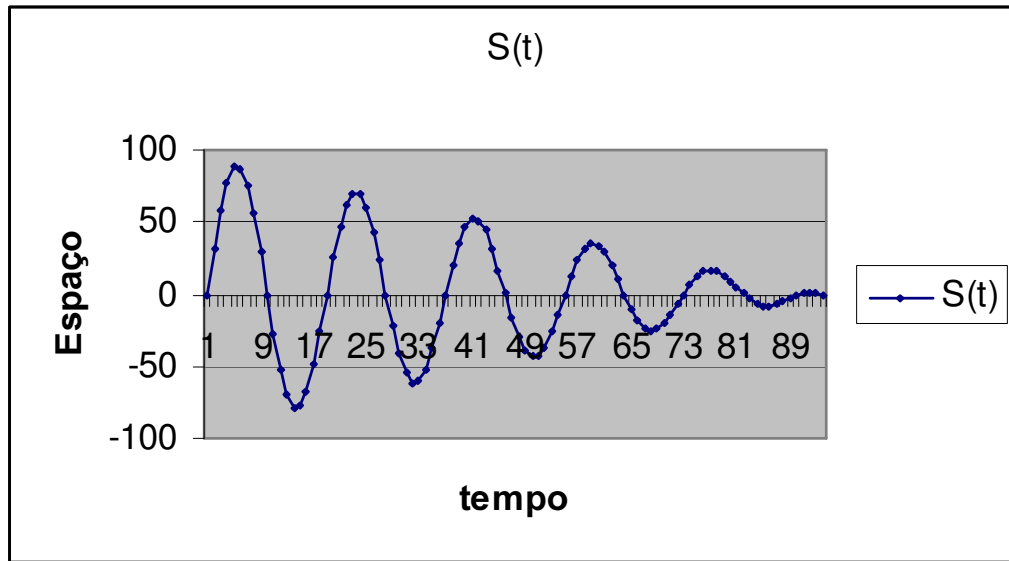


Figura 3: gráfico de movimento oscilatório amortecido (fonte: o autor)

Já em uma simulação discreta é utilizada quando mudanças discretas predominam no sistema estudado: o estado atual de um componente do sistema pode ser um entre alguns estados discretos possíveis e mudar de um estado para outro instantaneamente. Na simulação discreta o simulador não computa, por exemplo, o que ocorre ao longo do tempo, a cada segundo: existem regras que determinam o próximo instante em que a lógica matemática por trás do modelo vai agir e o que ocorrerá nesse momento.

Um exemplo que ilustra esse tipo de acontecimento é o número de trabalhadores em uma linha de produção ao longo do tempo, conforme mostra a figura 4:

Número de
trabalhadores

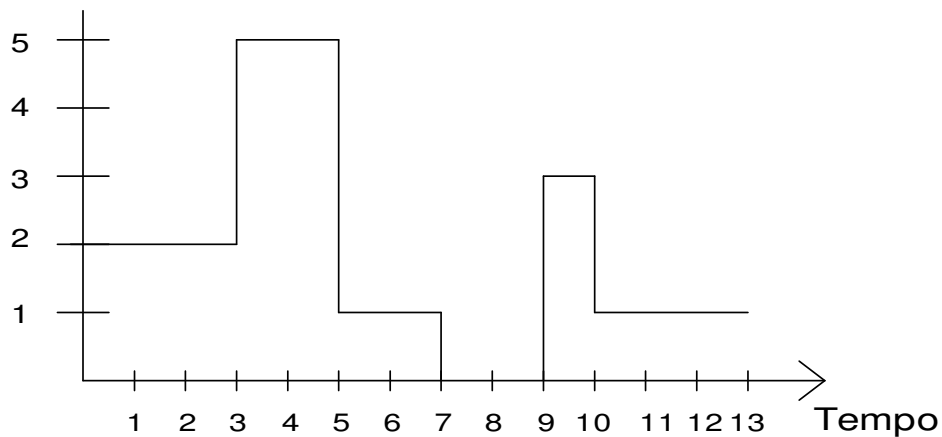


Figura 4: gráfico de número de trabalhadores em uma linha de produção ao longo do tempo
(fonte: o autor)

Foi mencionado anteriormente que, além de discreta, a simulação aqui utilizada é probabilística (ou estocástica).

Quando nos referimos ao termo probabilístico, significa dizer que um determinado número, por exemplo, não é um número pré-determinado. Ele é escolhido aleatoriamente, seguindo regras e distribuições as quais regem o fenômeno em questão.

Ao modelarmos algum processo temos, exemplificando, uma taxa de chegada de pedidos na fábrica (em se tratando de um modelo de simulação de uma fábrica). Essa taxa de chegada não é fixa, no entanto, na vida real, isto é, não podemos falar que chega um pedido de “x” peças a cada “t” minutos. Em média isso acontece. Mas, efetivamente, temos uma taxa de chegada que acompanha, exemplificando, uma distribuição normal de média “t” e um desvio padrão de “0,25.t”.

Ao utilizarmos a média em nossos cálculos, ao invés da distribuição como um todo, temos um resultado muito mais irreal e menos apurado. Para exemplificar essa afirmação, temos o caso do “bêbado”, ilustrado na figura 5:

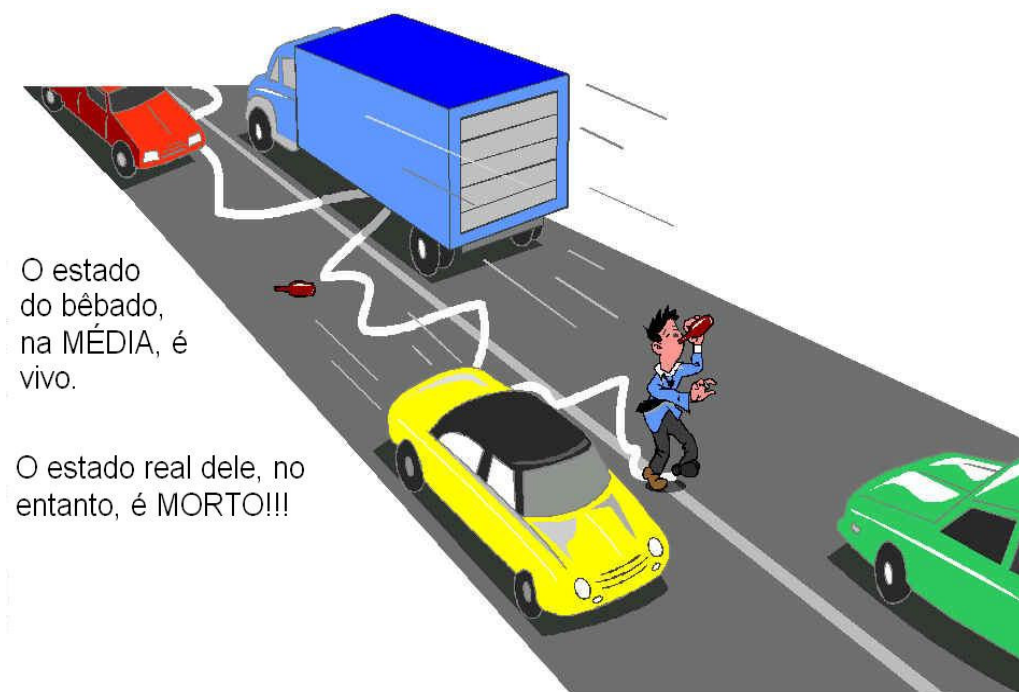


Figura 5: “ problema das médias” (adaptado de Savage, 2003)

Simulação estocástica (ou probabilística), é justamente isso: utilizamos números aleatórios que irão gerar uma distribuição, que, na realidade, mais se adequa àquele determinado evento, em oposição a números fixos e pré-determinados.

1.2.4. Organização do Texto

Até o presente ponto, a idéia básica do projeto já foi explanada e já foram ilustrados os conceitos fundamentais envolvidos.

Pretende-se, no próximo capítulo, falar um pouco sobre teorias de ensino e como a simulação pode se relacionar com ela. A seguir, no capítulo 3 espera-se mostrar os modelos desenvolvidos, ilustrando-se a relevância de cada um e explicando-se como chegaram-se neles. No capítulo 4 pretende-se colher os resultados do trabalho para, finalmente, no último capítulo, desenvolvermos as conclusões pertinentes.

Capítulo 2 – Teorias de Ensino e Simulação

2.1. Teorias de Ensino

Apesar de diferenças entre as teorias, os pesquisadores em educação acreditam consensualmente na existência de vários estilos de aprendizado. Mas o modelo no qual eles acreditam varia de um especialista para outro. O artigo de Chwif e Barreto (Chwif, L. Barreto, M.R.P, 2003) identifica alguns modelos de estilos de aprendizado, explanados abaixo.

O modelo de Indicador de Tipo Myers-Briggs (Myers-Briggs Type Indicator – MBTI) (McCaulley 1990) classifica os alunos em:

- Extrovertidos (foco no mundo externo às pessoas) ou introvertidos (foco no mundo interior das idéias);
- Sensoriais (práticos, voltados para o detalhe) ou intuitivos (imaginativos, orientados aos conceitos);
- Pensadores (racionais, decisões lógicas) ou sensíveis (levam as pessoas em consideração nas decisões, valorizam as emoções);
- Críticos (preferem cronogramas rígidos) ou compreensivos (adaptam-se às mudanças).

A combinação desses quatro aspectos resulta em 16 tipos básicos de estudantes, no que diz respeito ao estilo de aprendizado. Cada uma dessas classificações ainda é subdividida em níveis.

Outro pesquisador, Kolb (Harb et al. 1993), enxerga os estilos de aprendizado de acordo com as seguintes dimensões:

- Tipo 1 (concreto, reflexivo): precisa saber “por que isso está sendo ensinado? O que eu tenho a ver com isso?”;
- Tipo 2 (abstrato, reflexivo): precisa saber “o que está sendo ensinado?”, precisa de um material didático bem organizado, cronogramas elaborados, e gosta de ver o professor como um *expert*;
- Tipo 3 (abstrato, ativo): precisa saber “como isso funciona?”, experiências de tentativa e erro são bem aceitas;
- Tipo 4 (concreto, ativo): necessitam realizar atividades do tipo “e se... (*what-if*)” sozinhos, ao seu modo.

No Modelo de Estilos de Aprendizado Felder-Silverman (Felder, 1993) os estudantes são divididos nas seguintes classes:

- Aprendizizes sensitivos (concretos, práticos, orientados a fatos e procedimentos) ou aprendizizes intuitivos (conceituais, inovadores, orientados às teorias e significados);
- Aprendizizes visuais (preferem representações visuais do material – figuras, diagramas, fluxogramas) ou aprendizizes verbais (preferem explanações escritas e faladas);
- Aprendizizes indutivos (preferem apresentações que vão do específico ao genérico) ou dedutivos (preferem apresentações que vão do genérico ao específico);
- Aprendizizes ativos (aprendem tentando, trabalhando em grupo) ou reflexivos (aprendem pensando através dos fatos, trabalhando sozinhos);
- Aprendizizes seqüenciais (lineares, aprendem em pequenos passos) ou globais (holísticos, pensam em termos de sistemas, aprendem em grandes passadas).

Já o Herrmann Brain Dominance Instrument (HBDI, em português seria algo como Instrumento de Domínio do Cérebro) (Lumsdaine, 1995) classifica os estudantes baseando-se na fisiologia do cérebro, fato esse que dá origem a quatro tipos:

- Quadrante A (hemisfério esquerdo, cerebral): lógico, analítico, quantitativo, factual, crítico;
- Quadrante B (hemisfério esquerdo, límbico¹): seqüencial, organizado, planejado, detalhado, estruturado;
- Quadrante C (hemisfério direito, límbico): emocional, interpessoal, sensorial, sinestésico, simbólico;
- Quadrante D (hemisfério direito, cerebral): visual, holístico, inovador.

¹ Sistema límbico, no corpo humano, é um dos responsáveis, entre outras funções, pela emoção e memória.

Finalmente, o modelo de Múltipla Inteligência reconhece sete modos diferentes de aprendizado: corporal/sinestésico, interpessoal, intrapessoal, lógico/matemático, musical/rítmico, verbal/lingüístico e visual/espacial.

Não importa o modelo mais adequado ou de preferência de cada um: não é escopo desse trabalho discutir essa questão. O objetivo aqui é demonstrar que existem diferenças nos modos de aprendizado de cada um, e isso está claro.

Na maioria das vezes, nos cursos de engenharia e administração, é privilegiado algum método de ensino (na verdade a prática nos demonstra que isso vem mudando, é o objetivo desse trabalho contribuir para esse fato). Podemos afirmar, por exemplo, que leituras são apreciadas por diversos professores. No entanto, a leitura favorece apenas o Tipo 2 de Kolb, os introvertidos, intuitivos, pensadores e críticos (MBTI), os quadrantes A e B do HBDI e os lógicos ou matemáticos do modelo MI. Estudos mostram, no entanto, que 20 a 40% dos estudantes de engenharia não se enquadram nessa categoria (Chwif, 2003), conforme ilustrado na figura 6.

Uma grande variedade de tipos de atividades deve ser planejada e aplicada a fim de atender a todos os estilos de aprendizado. Desse modo, além de obter-se um melhor aprendizado, mais profundo, é possível evitar em grande parte a evasão de escolas de engenharia. Sabe-se, exemplificando, que na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo esse é um receio e temor dos docentes. É possível aumentar o interesse por parte dos alunos na carreira de engenharia

Estilo de aprendizado dos alunos

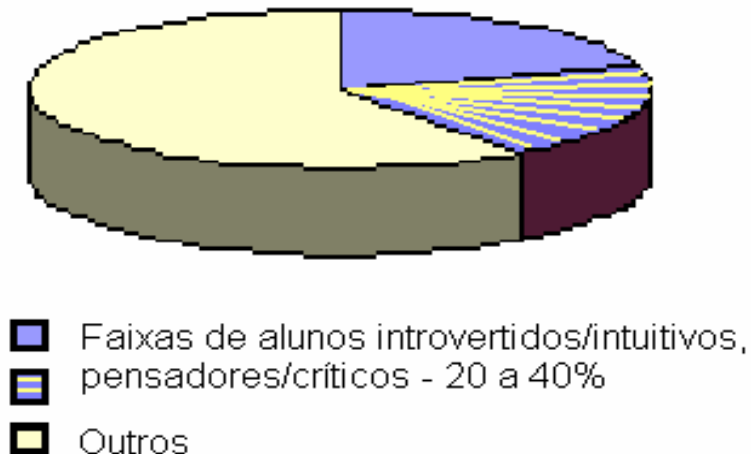


Figura 6: tipos de alunos, no que diz respeito ao aprendizado (Chwif, 2003)

O termo “ensinando ao redor do ciclo” foi cunhado para descrever essa abordagem educacional, onde o ciclo é uma referência à representação gráfica dos estilos de aprendizado de Kolb, de acordo com a figura 7 (Felder, 1996).

Nele podemos verificar como Kolb sugere que o ensino seja realizado visando atingir todos os estilos de aprendizado por ele descritos. Passando por todos os estilos o professor faz com que todos os alunos sejam contemplados pelo método de ensino e assimilem melhor o conteúdo a ser lecionado.



Figura 7: ciclo de Kolb (traduzido de Felder, 1996)

2.2. Simulação e jogos no aprendizado

Como já mencionado, o papel do professor muda de um transmissor de conhecimentos para um promotor de conhecimentos. Através da simulação, o aluno pode aplicar os conhecimentos adquiridos em sala e mesmo formar novos conhecimentos. Ao mudar parâmetros e analisar os resultados do sistema o estudante é capaz de tomar consciência dos resultados de suas ações profissionais tais como custos de transporte, lucro, estoques, *lead time* e assim por diante.

O professor se torna um promotor de conhecimento, na medida que deixa os alunos experimentarem, deduzirem leis, inter-relacionarem entre si, obter uma representação mais visual dos fenômenos e exercitar habilidades sinestésicas.



Figura 8: figura esquemática mostrando diferença entre duas técnicas educacionais (traduzido de Chwif, 2003)

O jogo, como qualquer atividade lúdica, causa atração por parte do ser humano. Os estudantes são estimulados pela competição e pela simulação da realidade.

Paradigma:	Método convencional	Jogos de Simulação
Papel do professor	Agente	Promotor
Papel do aluno	Receptor	Ativo
Conteúdo	Predominantemente teórico	Prático real
Motivações para aprender	Conteúdo Sequência	Curiosidade, desejo de resolver um problema.

Tabela 2: Comparação entre métodos de ensino (adaptado de Rodrigo, 1998)

Através do jogo, o aluno pode estudar a situação simulada, definir quais os melhores parâmetros de entrada e analisar a resposta do sistema. Através da análise desse resultado é possível inserir novos dados de entrada mais adequadamente. Nesse processo iterativo o aluno ganha a real ciência do comportamento dos sistemas dinâmicos com os quais um engenheiro ou um administrador lida no dia a dia. Na figura 9 temos uma ilustração que representa esse processo para um jogo de simulação sobre Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP):

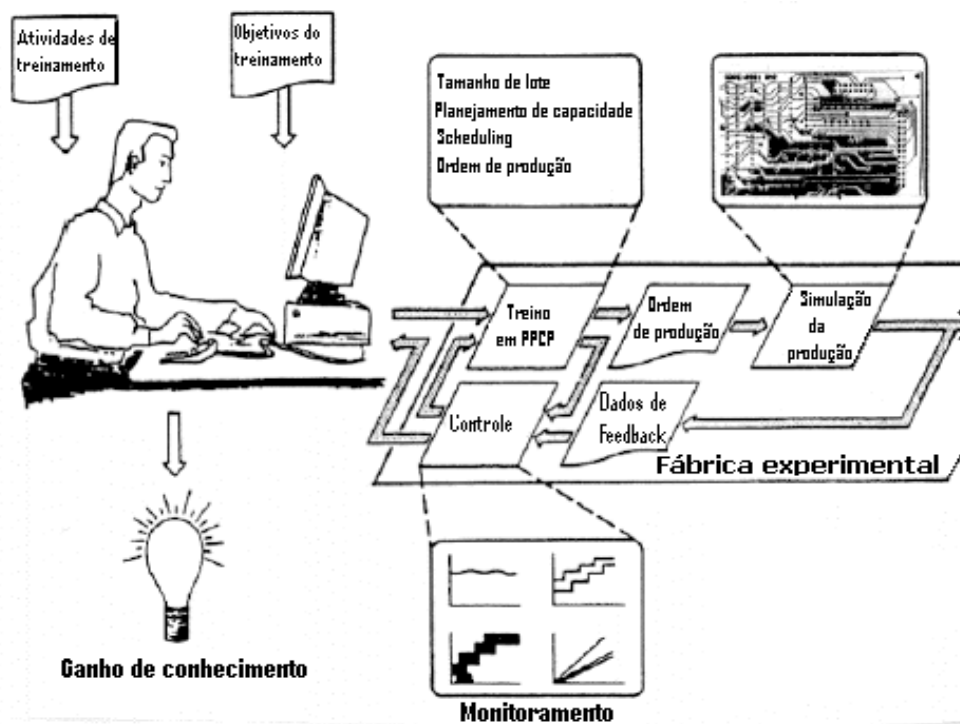


Figura 9: esquema geral do loop de controle do processo de treinamento em PPCP (adaptado de Wiendal, 1995).

De acordo com Galvão (2000), um jogo de simulação é composto de uma competição, cooperação, participação e regras que, obviamente, ocorrem em um ambiente simulado. Ainda, de acordo com os autores, os jogos de simulação podem ser utilizados para diversos fins, sobretudo para fins didáticos. Pode-se, por exemplo, desenvolver-se um jogo de simulação para ensinar como um escoamento laminar na Mecânica dos Flúídos ocorre ou até, em um caso mais usual, ensinar como pilotar um avião em simuladores de voo. Desse modo Chwif (2003) classifica um jogo de simulação em diversos aspectos, como veremos a seguir.

2.3. Classificação dos jogos de simulação

Essa classificação visa ser útil para fins didáticos e no que diz respeito ao desenvolvimento de um jogo de simulação.

- **Objetivo ou Escopo Pedagógico:** De acordo com Riis (1995), um jogo de simulação pode objetivar o ganho por parte dos participantes de conhecimento, entendimento ou *know-how* do ambiente simulado. Um exemplo pertinente para o primeiro caso é o jogo Banco Imobiliário

(Figueiredo et al. 2001), onde os participantes determinam os preços de venda de imóveis. O principal objetivo pedagógico, nesse caso, é mostrar para os participantes a existência de ambientes competitivos e como um ambiente desses funciona. Outrossim, ele pode ser utilizado para explicar a complexa relação entre preço e demanda e, nesse sentido, tem uma proposta de levar os participantes ao entendimento. Um outro exemplo de jogo com fim de entendimento é o famoso *Beer Game*, do MIT² Ele pode ser utilizado para os alunos entenderem as complexas relações dentro de uma cadeia de suprimentos e como a cooperação mútua entre os participantes dessa cadeia pode beneficiar a todos. O terceiro e último caso (simulação para aquisição de *know-how*) pode ser representado por um software de simulação de voo, onde o objetivo é adquirir conhecimento sobre uma operação, no caso como pilotar uma aeronave, em um ambiente simulado.

- **Numero de Participantes/Funções:** um jogo de simulação pode ser jogado por um só jogador, um time ou grupo com um objetivo simples e comum (todos os participantes têm o mesmo papel) ou pessoas ou um grupo multifuncional, como jogos jogados através da Internet, por exemplo (um exemplo é o Desafio Sebrae³). Nesse caso, cada participante do grupo tem uma função diferente: alguém “cuida” do marketing, outra pessoa das finanças e assim por diante. Esses jogos também foram denominados jogos colaborativos (Marcos, 1997).
- **Natureza:** em um caso genérico, jogos de simulação poderiam ser jogados sem o auxílio de um microcomputador (jogos de tabuleiro infantis são bons exemplos, tal como Jogo da Vida, que simula a cronologia da vida dos participantes) e nesse caso são classificados em jogos não-computacionais. Outro tipo é o jogo computacional: ele costuma ser mais dinâmico, atraem a atenção dos estudantes para

² Para mais informações favor consultar o endereço na Internet <http://beergame.mit.edu>.

³ O Desafio Sebrae é uma competição universitária de administração de negócios que ocorre todo ano (cada ano com um tema) e está, nesse ano, em sua 15ª edição. Nele deve-se gerir recursos, produção, finanças e outras funções pertinentes a uma empresa. Para maiores informações favor consultar <https://www.sebrae.org.br>.

jargões com os quais eles são familiares, e permite que o professor audite os resultados da interação aluno-jogo.

- **Tema:** diz respeito à área de aplicação. O jogo pode, por exemplo, dizer respeito ao funcionamento de circuitos elétricos, dinâmica de populações, pilotagem de aviões ou mecânica de fluidos. O objetivo desse trabalho é desenvolver jogos que sejam pertinentes à “Gestão de Operações”. Cada tema pode ser dividido em subsistemas e, nesse sentido, temos conceitos básicos (modelo que ilustra o teorema do limite central, a ser desenvolvido ou exemplos que ilustram a teoria das restrições), nível operacional (seqüenciação em um *Job Shop* ou dimensionamento de um *call center*) e nível estratégico (aqui poderíamos citar mais uma vez o Banco Imobiliário). Os níveis operacional e estratégico se correlacionam fortemente ao tipo de simulação (Chwif, 2003). Enquanto a simulação de eventos discretos é mais adequada para jogos operacionais, a simulação contínua⁴ é melhor para jogos estratégicos.

A taxonomia proposta nos permite definir precisamente os tipos de simulação as quais esse trabalho visa desenvolver:

- **Objetivo Pedagógico:** conhecimento e entendimento;
- **Número de Participantes:** individual, grupo ou multifuncional;
- **Natureza:** jogo computacional;
- **Tema:** Gestão de Operações, sejam conceitos básicos ou nível operacional.

⁴ Ver Forrester (1958) para maiores detalhes

Capítulo 3 – Desenvolvimento dos Modelos

3.1. Metodologia

Inicialmente, a metodologia de desenvolvimento dos modelos consistiria, *a priori*, em reuniões com professores e coordenadores de disciplinas de Engenharia de Produção e Administração, para levantamento dos tópicos pertinentes. É importante notar que, ao mesmo tempo em que nem todas as disciplinas possuem uma possibilidade de modelo adequada, de nada adianta ao professor um modelo inadequado. Fazem-se necessárias, portanto, essas reuniões para determinar os modelos a serem desenvolvidos, afinal os professores são os que melhor sabem sobre suas disciplinas e as dificuldades de seus alunos.

No entanto, ao longo do desenvolvimento do trabalho optou-se por tomar como parâmetro alguns temas escolhidos conjuntamente entre o aluno que desenvolveu o presente Trabalho de Formatura, seu orientador, Reinaldo Pacheco da Costa, e seu mentor da Simulate Tecnologia de Simulação Ltda., Leonardo Chwif.

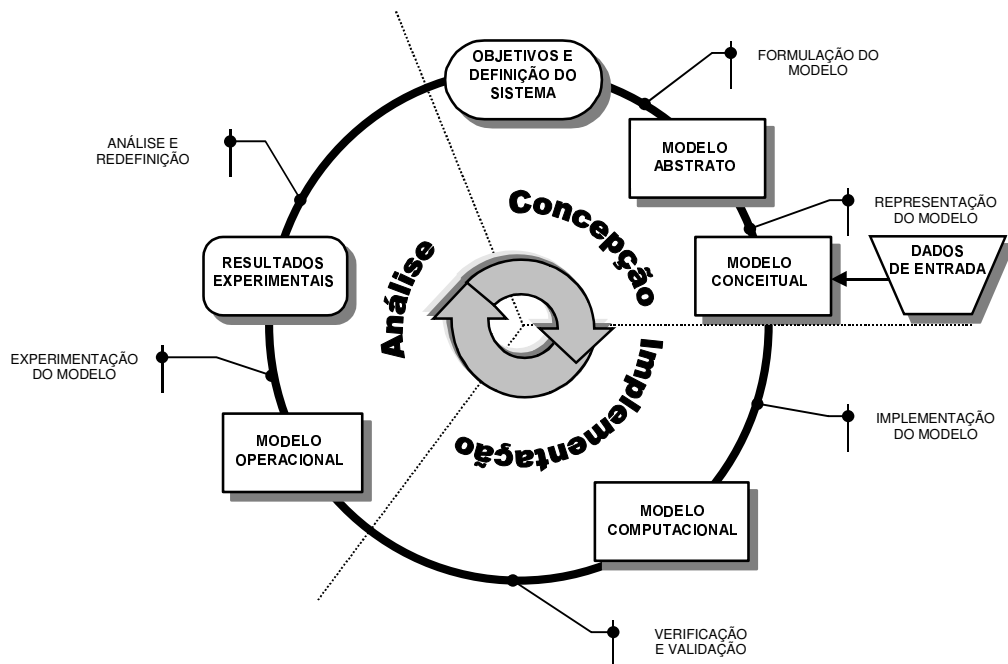


Figura 10: metodologia de Simulação para o desenvolvimento dos Modelos (Balci, adaptado por Chwif, 2003).

Uma vez levantados os temas, a segunda parte consiste em desenvolver os modelos de fato (implementação em software de simulação). Utilizar-se-á a

metodologia de simulação adaptada de Balci (vide figura 10) para o desenvolvimento de modelos, tendo sempre em vista, como maior finalidade, o caráter didático.

Balci divide o processo de desenvolvimento de modelos de simulação em três partes: concepção, implementação e análise.

A concepção inclui a definição do sistema a ser modelado (no nosso caso seria a determinação dos estudos de caso a serem modelados a partir de conversas entre os três envolvidos no trabalho, conforme já mencionado), elaboração de um modelo conceitual (genérico) e, depois, construção um modelo já conceitual que já possui dados de entrada determinados (ainda não computacional, porém), ou seja, levantamento de relevância de todos os dados que influenciam o sistema).

A segunda parte de uma construção de modelo consiste na implementação no computador, isto é, no software de simulação. É importante a execução da verificação e validação do modelo⁵, que também ocorre nessa fase.

A última fase é a execução do modelo, com coleta de resultados. Através desse resultado podemos determinar novos fatores relevantes e, se necessário, re-elaborar o modelo, reiniciando o ciclo ilustrado acima.

Os modelos escolhidos para desenvolvimento, a serem detalhados mais adiante, são:

Manutenção (Kid Rapidinho): modelo para verificação do fato que políticas de manutenção podem afetar sensivelmente o desempenho financeiro.

Clte (*Central Limit Theorem* ou Teorema do Limite Central): modelo para ilustrar e deixar mais concreto o conceito do Teorema do Limite Central.

Sequeum: modelo que ilustra o funcionamento de diversas regras de seqüenciação em um *Job Shop*, ilustrando como elas afetam as medidas de desempenho (utilizações, atrasos, adiantamentos, estoques em processo, etc.).

Suprimentos: modelo cujo objetivo é configurar os parâmetros de uma cadeia de abastecimento.

⁵ Verificação de um modelo é a constatação de que todas suas lógicas internas são consistentes, isto é, tem como resultado o objetivo a que se propõe. Já validação é a certificação que o modelo de simulação como um todo está condizente com a realidade e pode ser utilizado para representá-la (para o fim proposto, obviamente). Para mais informações consultar Sargent, 2000.

Dimensionamento e Qualidade: modelo onde se realiza o dimensionamento de uma fábrica de softwares, elaboração de gráficos e aferição de medidas de desempenho para otimização de um processo típico de escritório.

Durante a apresentação das modelagens utilizam-se diversos termos relacionados ao *Simul8*, isto é, componentes do programa em questão. No Anexo I temos, portanto, uma rápida explanação sobre o *Simul8* e elaboração de modelos de simulação com utilização do software.

Ainda, temos no Anexo II os manuais de instrução dos modelos, também escritos pelo autor do presente Trabalho de Formatura e utilizados na elaboração do mesmo.

3.2. Modelo 1: Manutenção

Em uma fábrica, sempre devemos fazer escolhas sobre a política de manutenção que iremos adotar: será que devemos fazer manutenções preventivas ou corretivas? Esta pergunta tem uma resposta quase que instintiva: preventiva, logicamente. Mas existem outros problemas em questão. Podemos, por exemplo, utilizar uma peça que dure, em média, o dobro do tempo, mas que custe mais, ou uma mais barata que custe menos. Será que não vale a pena, já que iremos abrir a máquina (o que consome um tempo elevado), trocar outras peças que possam estar desgastadas e prestes a quebrar?

O primeiro modelo desenvolvido trata-se justamente de um modelo de manutenção. Esse modelo baseado no estudo de caso retirado do livro de Chisman, "Industrial Cases in Simulation Modeling", é sobre um corredor de *Stock Car*, cujas válvulas do motor, sob intenso esforço, quebram constantemente. O nome do modelo, para tornar o caso um pouco lúdico, é Kid Rapidinho. Esse modelo visa mostrar como a mudanças em políticas de manutenção podem resultar em resultados do sistema sensivelmente diferentes.

3.2.1. Descrição do Estudo de Caso

Kid Rapidinho corre assiduamente na categoria *Stock Car*, isto é, todos os dias. Seu carro possui um imenso motor V4. No entanto, devido às regulagens utilizadas, sempre no extremo para ganhar potência, as válvulas de motor quebram

com uma frequência considerável. Esse modelo visa, portanto, otimizar a manutenção de tal forma que o corredor ganhe o maior número de corridas possível.

Iremos agora apresentar dados do estudo de caso para, em seguida, descrever como foram modelados e implementados no software de simulação.

Sabe-se que o tempo de cada corrida é de cerca de uma hora, podendo variar uniformemente em 10%, para mais ou para menos. Já em relação à manutenção, temos na tabela 3 os tempos de serviço para cada etapa da manutenção para a troca das válvulas::

Preparação do motor (remover velas e carburador)	0,8 hora
Remover cabeçote (cada lado)	0,5 hora
Trocar uma válvula	0,4 hora
Ajustar válvulas (cada lado)	0,3 hora
Recolocar cabeçote (cada lado)	0,6 hora
Colocar velas, carburador e afinar o motor	0,9 hora

Tabela 3: tempos de manutenção do modelo "Kid Rapidinho"

Passaremos agora a explicar as políticas de manutenção a serem aplicadas ao modelo.

Política 1: na política 1, Rapidinho troca apenas a válvula que apresentar defeito, no momento em que esse ocorrer.

Política 2: aqui Rapidinho troca as quatro válvulas (duas de admissão e duas de escapamento) que estão no lado do motor que contém a válvula que apresenta defeito, uma vez que de qualquer modo ter-se-á o trabalho de abrir o cabeçote do lado em questão.

Política 3: trocam-se todas as 8 válvulas do motor quando alguma apresentar defeito.

Política 4: nesse caso troca-se a válvula que apresentar defeito mais todas que tiverem ultrapassado um tempo de uso pré-determinado pelo usuário (esse tempo geralmente será a vida útil média da válvula).

Sabe-se que a maioria das peças de máquinas possui um MTBF (*mean time between failure*, isto é, tempo médio entre quebras, definido como a média de tempo que uma máquina ou peça demora a apresentar falha) exponencial; aqui não será diferente.

Rapidinho tem a possibilidade de instalar dois tipos de válvulas distintas: a válvula “simples”, que possui uma vida média de 10 horas, exponencialmente distribuída e a válvula “super”, com vida média de 25 horas, também conforme uma distribuição exponencial.

De acordo com esses valores deve-se decidir, caso tenha sido escolhida a “política 4”, qual é o maior tempo que uma válvula ficará no motor antes da troca.

Devemos, por fim, antes de implementar o modelo, determinar mais alguns valores financeiros, a fim de calcular o lucro (ou prejuízo) de Kid Rapidinho:

- Custo de mão-de-obra do mecânico por hora;
- Preço de cada válvula;
- Custo fixo por corrida (taxa de inscrição, por exemplo);
- Prêmio por corrida ganha por Kid Rapidinho;
- Taxa de ganho, isto é, qual é a percentagem das vezes que Kid Rapidinho ganha a corrida.

3.2.2. Modelagem

O modelo foi programado de modo que chegue um *Work Item* por dia. Um *Work Item* representa justamente uma corrida. Na inicialização do modelo já são determinados tempos de vida das primeiras válvulas do motor.

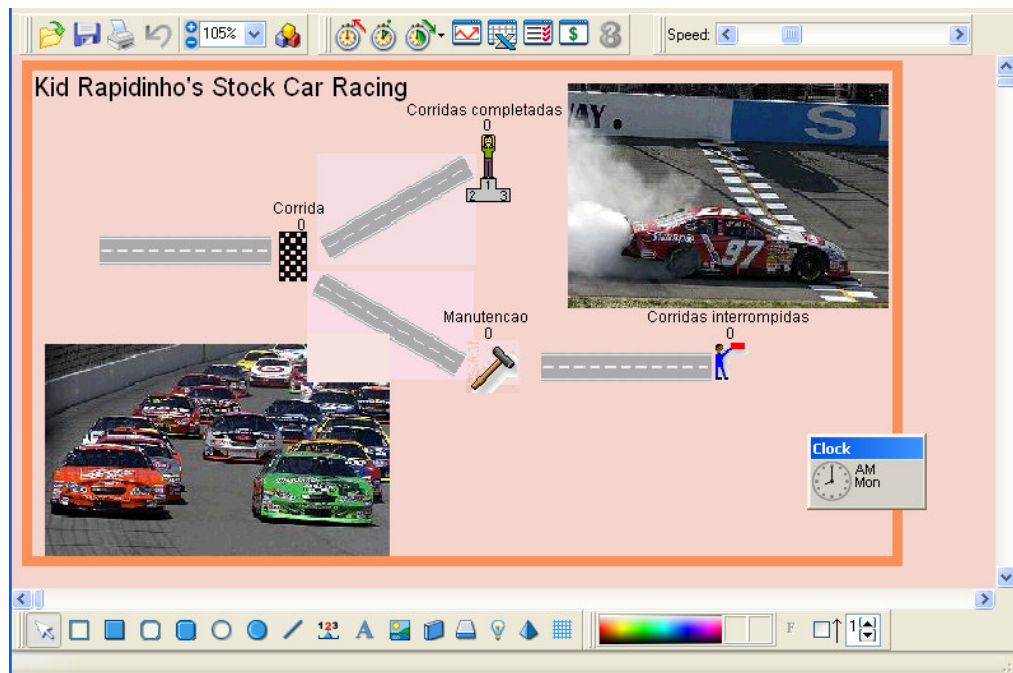


Figura 11: tela do modelo Kid Rapidinho (fonte: tela do *Simul8*)

Após a chegada ele vai diretamente a um *Work Center* que representa a corrida. Como já mencionado o *Work Center* é um elemento ativo: podem ser inseridas lógicas, tal qual a que determina o tempo de corrida, e configurar os custos pertinentes, que são a medida de desempenho do sistema e subtrai o tempo de corrida do tempo inicial de vida da válvula, entre outros.

Se Kid Rapidinho conseguir terminar corrida (isto é, se nenhuma válvula falhar na corrida), existem duas possibilidades: ele pode ganhar a corrida ou perdê-la, de acordo com a taxa de ganho determinada pelo usuário no começo da simulação. Ainda, dependendo se ele ganha ou perde são configurados os custos (se ele ganhar, por exemplo, existe o prêmio da corrida).

Se a válvula quebrar no meio da corrida, no entanto, o destino do *Work Item* (isto é, a corrida em nosso modelo) é outro: ele vai para as estatísticas das corridas incompletas e novas válvulas são inseridas no motor, com novos tempos de vida. É nesse momento que a lógica do tipo de política entra no modelo. Essas tarefas de manutenção também são realizadas em um *Work Center*, isto é, a oficina de manutenção deve ser um elemento ativo, capaz de manipular as válvulas, adicionar os custos de mecânicos etc.

Vale dizer que a inserção de todos os dados modelo são feitos através de caixas de diálogo, tornando a interface com o usuário muito mais amigável. Na figura 12 temos um exemplo dessas caixas de diálogo:

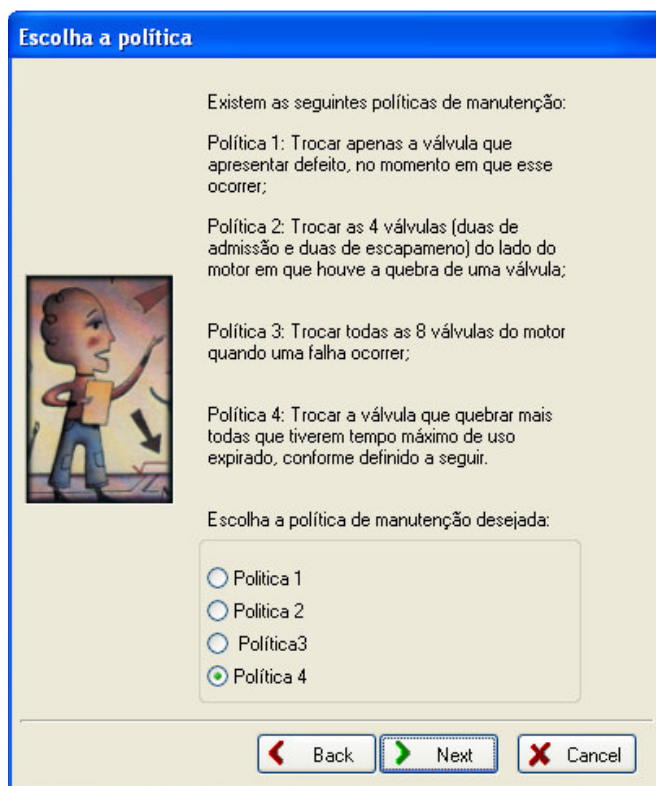


Figura 12: exemplo de caixa de diálogo do Simul8 (retirado de tela do *Simul8*)

3.3. Modelo 2: Teorema do Limite Central

Muitos estudantes, em suas lições de estatística, não conseguem entender realmente e enxergar os efeitos do Teorema do Limite Central (TLC). Esse é um visualizador do TLC (Teorema do Limite Central), através do qual podemos realmente visualizar e entender o teorema.

Esse visualizador utiliza a tecnologia de simulação através do Software Simul8.

3.3.1. O Teorema do Limite Central

O teorema do limite central explica o porquê de muitas distribuições tenderem a ser semelhantes à distribuição normal. O ingrediente chave é o fato que a

variável randômica que está sendo observada é a soma ou média de muitas variáveis randômicas independentes identicamente distribuídas.

O teorema nos diz que a distribuição de uma média tende a uma Normal, mesmo quando a distribuição da qual a média é originada é claramente uma distribuição Não-Normal [ver a demonstração em Chung (1974, p. 169)].

Assim, o Teorema do Limite Central é a base para muitos procedimentos estatísticos, incluindo tabelas de Controle de Qualidade, porque, por exemplo, a distribuição de um fenômeno sob estudo não precisa ser uma Normal, já que a de sua média será. Podemos, desse modo, simplificar enormemente nossa análise, de modo consistente.

O que se pretendeu desenvolver aqui é um modelo no qual podem-se gerar amostras de diversos tipos, tamanhos a fim de observar o modo com que o gráfico vai se aproximando mais de uma distribuição normal conforme aumentamos a amostra. Desejou-se tornar palpável o teorema.

3.3.2. Modelagem

Quando se abre o modelo, abre-se também uma caixa de diálogo perguntando quais das quatro distribuições disponíveis desejam-se misturar. É possível utilizar qualquer combinação delas: basta “ticar” a caixa correspondente.

Depois é necessário determinar quantas replicações de cada distribuição deseja-se fazer. O número de replicações é o número de vezes que o simulador vai retirar um número de cada distribuição para somar e determinar a média entre eles. Essa média é que possui a distribuição normal, de acordo com o teorema. Observe que quanto mais você aumentar o número de replicações, maior será a acuracidade, isto é, o desvio padrão diminuirá sensivelmente. É compreensível à medida que temos uma amostra maior para determinar a média.

É importante mencionar o fato de que os parâmetros das distribuições também são gerados aleatoriamente através de distribuições uniformes, isto é, o teorema do limite central, como é sabido, não se restringe ao fato de dever-se manter os números próximos: de qualquer maneira a distribuição dessas médias tenderá a uma distribuição normal.

Finalmente, deve-se determinar o número de amostras. É importante compreender que o número de replicações é quantos valores nós devemos somar para

calcular a cada média e o número de amostras é quantas dessas médias nós teremos no histograma.

Desse modo, a modelagem foi realizada da seguinte forma: colocou-se um *Work Entry Point* que insere no modelo um item, ao qual está associado um número retirado de uma distribuição pré-determinada no início da simulação.

Caso se deseje misturar em cada amostra cinco dados retirados de uma distribuição exponencial e mais quatro retirados de uma lognormal, a cada Work Item será associado um número que é a média dessas nove amostras. De acordo com o valor dessa média, ele tem um destino.

Esses destinos são filas cujas visualizações são possíveis, isto é, a acumulação dos itens é disposta verticalmente nas filas, conforme a figura 13. Nela, na fila da esquerda temos seis itens, ao passo que na fila da direita temos três. Ao utilizarmos diversas dessas filas, lado a lado, conseguimos formar graficamente um histograma da distribuição.

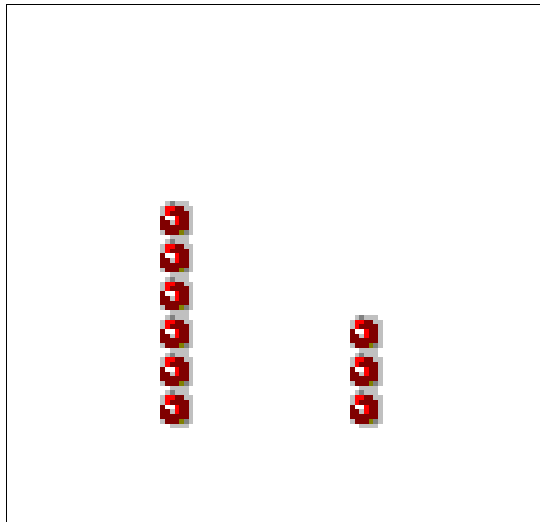


Figura 13: exemplo de filas utilizadas no modelo do Teorema do Limite Central (fonte: tela do *Simul8*)

Os destinos estão alinhados e ordenados espacialmente na tela do simulador de modo que o valor mais baixo vai para o lado esquerdo e o mais alto para o lado direito, formando um histograma dos dados e, desse modo, formando uma distribuição que representa a distribuição formada pelos valores.

Temos nas figuras 14 e 15 dois exemplos de rodadas de simulação. Deve-se reparar que, quanto menor o número de replicações de distribuições para determinar

as médias, maior a variação dessas médias, isto é, maior o desvio padrão. No primeiro exemplo foram utilizadas cinco replicações de cada distribuição disponível (exponencial, uniforme, lognormal e triangular) e uma amostra de trezentos. Deve-se reparar como essa configuração originou uma curva bastante semelhante a uma curva normal de baixa variância.

Já na segunda foram duas replicações de cada distribuição com uma amostra de tamanho igual. Observa-se que no segundo caso temos uma maior variância e a primeira distribuição aproxima-se mais de uma normal, dado o número maior de elementos em cada média. O fato de termos menos replicações faz com que a distribuição se distancie de uma normal e aumente sua variância.

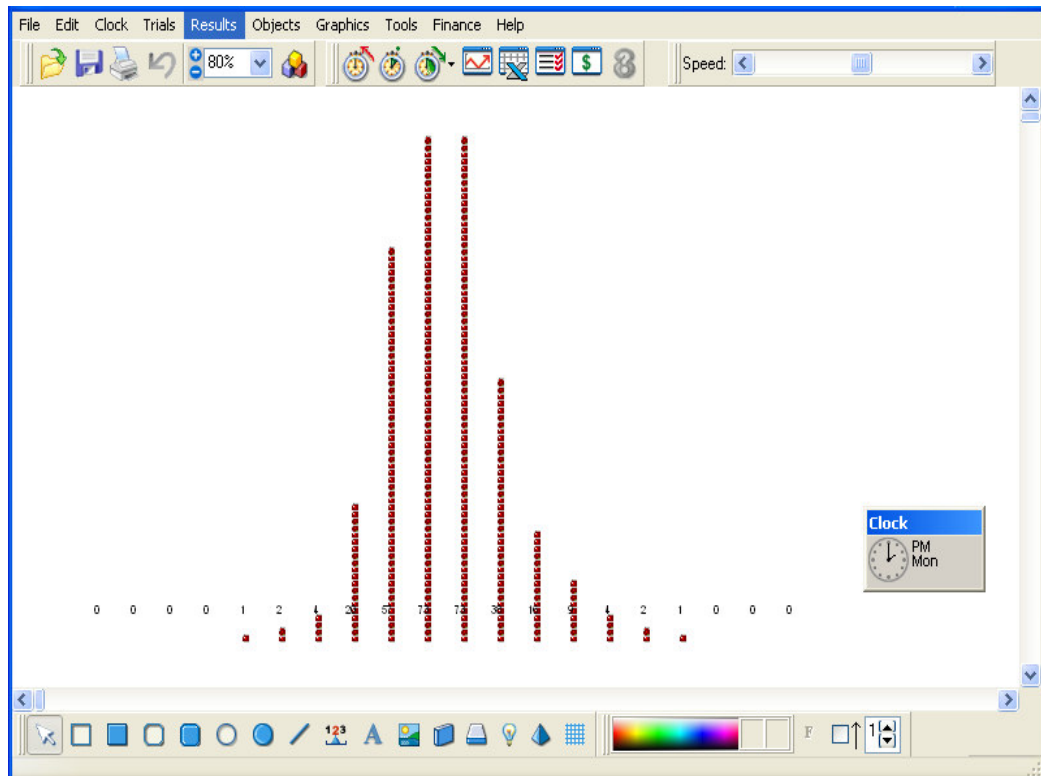


Figura 14: exemplo do TLC com cinco replicações de cada distribuição e trezentas amostras (fonte: tela do *Simul8*)

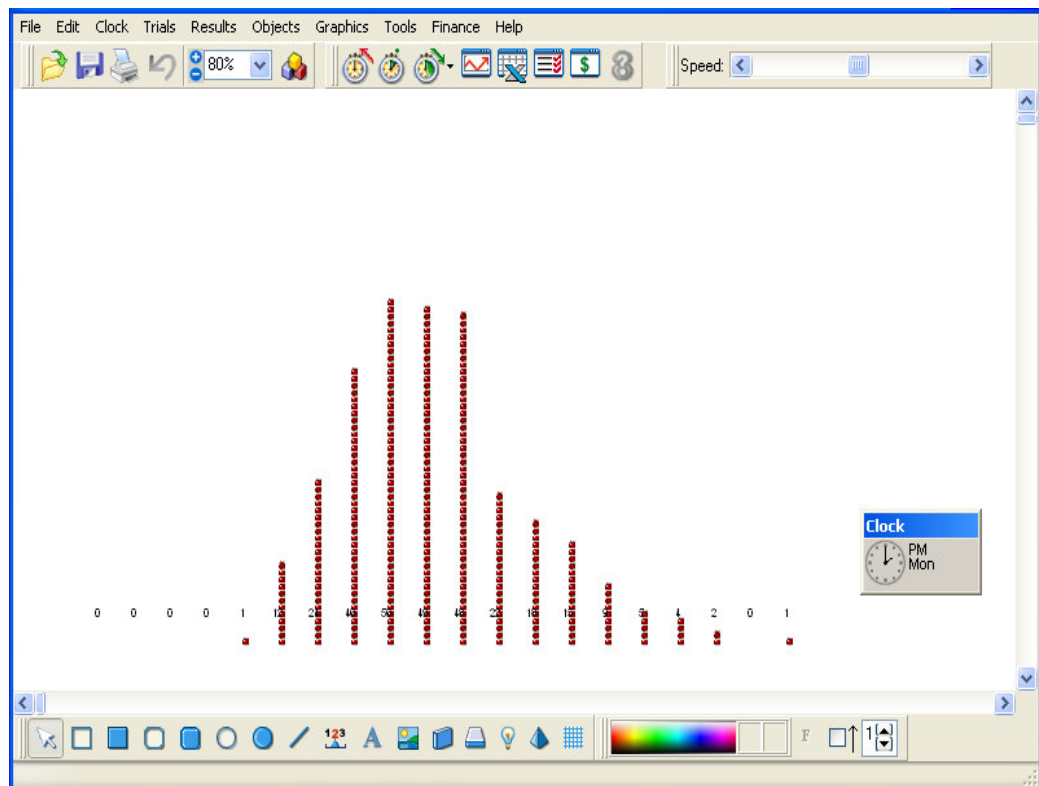


Figura 15: exemplo com duas replicações em cada distribuição e trezentas amostras (fonte: *tela do Simul8*)

Um último exemplo está na figura 16. Nele temos apenas a distribuição exponencial e lognormal, cada uma com uma replicação. Esse fato faz com que a distribuição se distancie bastante de uma normal (sendo possível ainda, no entanto, identificar algo que lembre a distribuição de Gauss).

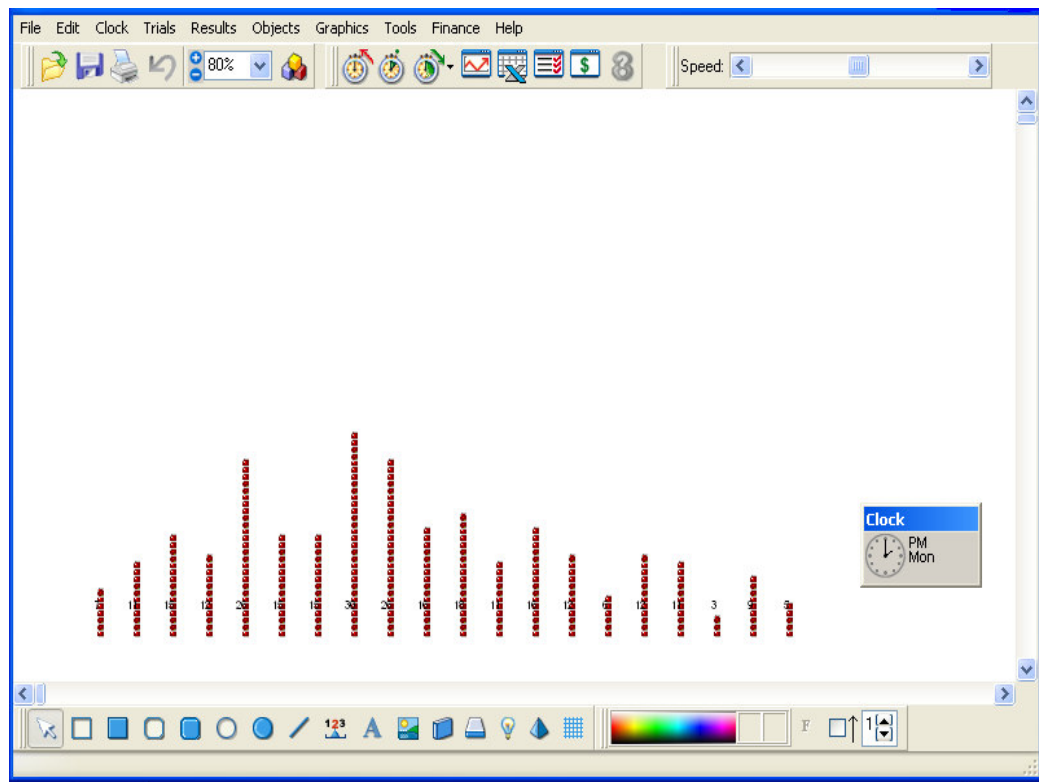


Figura 16: exemplo com poucas distribuições e poucas replicações (fonte: *Simul8*)

3.4. Modelo 3: Sequeum

O Sequeum é um modelo de seqüenciação. Ele visa mostrar aos alunos a diferença entre políticas de priorização de pedidos e como essas influenciam na seqüenciação e, conseqüentemente, nas medidas de desempenho do sistema produtivo. Vejamos a seguir o enunciado do presente estudo de caso.

Esse estudo de caso foi baseado em um estudo de caso elaborado pelo professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Miguel Cezar Santoro em 2002 para disciplinas de pós-graduação.

3.4.1. Descrição do Estudo de Caso

Sequeum é uma fábrica que produz por encomenda. Ela recebe as ordens de produção de seus produtos com dia de entrega determinado pelo Departamento de Vendas, que lida diretamente com os clientes. O Departamento de PPCP calcula o tempo necessário para entrega do pedido e orienta o Departamento de Vendas.

A confirmação obtida através do Departamento de PPCP, no entanto, é tardia devido ao tempo necessário para reprogramar o sistema de produção e analisar essa nova programação. Sequeum precisa de um sistema capaz de, rapidamente, determinar esses prazos. A solução encontrada foi desenvolver um modelo de simulação para que a empresa seja capaz de informar rapidamente e com segurança a seus clientes o dia de entrega dos pedidos.

Existem cinco famílias de produtos e 5 roteiros, um para cada uma das famílias, com os respectivos tempos de produção estimados para as operações nos 5 centros produtivos existentes. Desse modo, a cada ordem vendida pode ser atribuído rapidamente um roteiro, correspondente à sua família, para efeito de programação. Esses roteiros estão apresentados na tabela a seguir. Os produtos serão processados em todos os centros para os quais constam os tempos na tabela, na sequência crescente do número do centro.

FAMÍLIA	CENTRO				
	1	2	3	4	5
1	8	12	24		12
2	4	6	12		6
3	5	8		16	8
4	2	4		8	4
5	20				

Tabela 4: tempos de produção das famílias na SequeUm (Santoro, 2002)

A tabela 5 mostra a massa de dados que deverá ser utilizada na execução do programa e desenvolvimento do modelo:

Ordem	Data Chegada	Família	Data Entrega
1	0	5	20
2	1	4	95
3	2	4	105
4	3	3	80
5	4	3	95
6	5	2	180
7	6	2	185
8	7	1	115
9	8	1	130
10	9	4	110
11	10	4	125
12	11	3	100
13	12	3	120
14	13	2	200
15	14	2	210
16	15	1	155
17	16	1	165

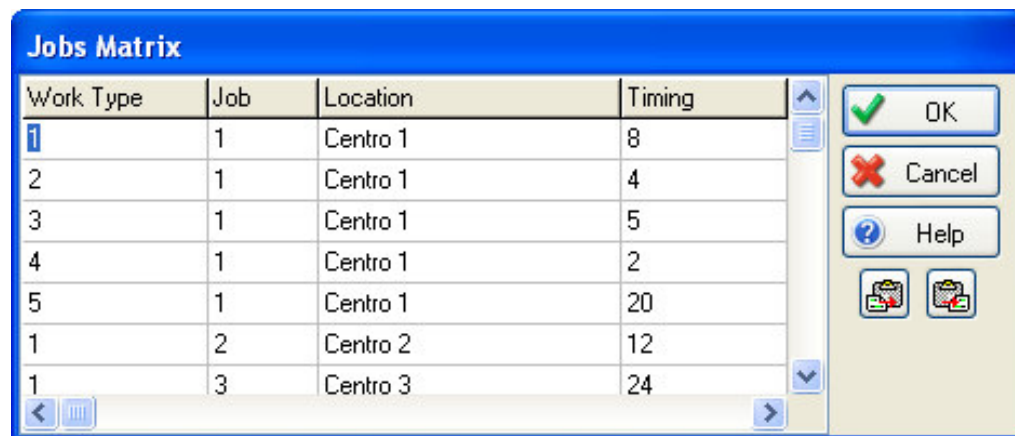
Tabela 5: dados das ordens do SequeUm (Santoro, 2002)

A programação será realizada em horas corridas, não sendo necessário calendário: todos os centros trabalham nos mesmos turnos e horários.

Sabe-se, por fim, que a empresa paga US\$1 de multa para cada hora de atraso para cada ordem.

3.4.2. Modelagem

A seqüenciação dos produtos de acordo com a família na SequeUm foi feita através de um recurso do Simul8 denominado *Jobs Matrix*, isto é, Matriz de trabalho.



Work Type	Job	Location	Timing
1	1	Centro 1	8
2	1	Centro 1	4
3	1	Centro 1	5
4	1	Centro 1	2
5	1	Centro 1	20
1	2	Centro 2	12
1	3	Centro 3	24

Figura 17: Jobs Matrix do Simul8 (fonte: tela do *Simul8*)

Como se pode observar, temos quatro campos: *Work Type* (ou tipo de trabalho), que está associado a um atributo e representa a família, *Job* (ou trabalho) que representa o trabalho a ser realizado e também é um atributo, *Location* (ou local, localização) representando a qual *Work Center* (centro de trabalho) aquela etapa de trabalho está se referindo e *Timing* (tempo) que é o tempo que a tarefa daquele *Work Center* demorará.

A primeira linha da matriz está nos dizendo, por exemplo, que o primeiro trabalho do produto da família 1 será realizado no centro 1 e terá a duração de 8 horas, conforme nos mostra a tabela 3.

Para ensinar ao aluno diversos tipos de priorização na seqüenciação, colocaram-se legendas em uma planilha da simulação com opção de mudar cada tipo de priorização em cada *Work Center*. Podem-se escolher políticas individuais de priorização para seqüenciação em cada *Work Center*. Na 18 abaixo, exemplificando, todos os centros estão adotando a regra de seqüenciação 1, isto é FIFO.

F	G	H	I	J
Centro 1	Centro 2	Centro 3	Centro 4	Centro 5
1	1	1	1	1
Legenda:				
FIFO	1			
LIFO	2			
MTP0	3			
MDEN	4			
ALEA	5			
FDIMB	6			
FEST	7			

Figura 18: planilha do SequeUm onde é possível escolher políticas de priorização na seqüenciação de cada Work Center (fonte: Simul8)

Explicar-se-ão agora quais são essas políticas e como funcionam:

1. FIFO – *First In, First Out*: nessa política, como o nome original em inglês nos diz, o primeiro produto a chegar no centro de trabalho será o primeiro a ser processado, isto é, os produtos serão processados na ordem em que chegam ao centro de trabalho.
2. LIFO – *Last In, First Out*: nessa política, o último pedido a chegar ao centro de trabalho será o primeiro a ser processado. Essa política pode parecer ilógica à primeira vista, mas ocorre com frequência

devido às condições de armazenagem; muitas vezes os produtos são colocados em estantes profundas, uns na frente dos outros, de modo que o último pedido a chegar ficará na frente de todos, isto é, será inviável, por exemplo, retirar o produto do fundo (primeiro a chegar) sem retirar todos os outros antes.

3. MTPO – Menor Tempo de Processamento: aqui iremos priorizar os pedidos cujos tempos de processamento no Centro de Trabalho em questão forem menores.
4. MDEN – Mínima Data de Entrega: nesse caso ordenaremos os produtos de acordo com o prazo: os que tiverem prazos mais “apertados” serão priorizados.
5. ALEA – Aleatório: nessa política, que não é utilizada na prática, mas pode ser aplicado a título de experiência, os produtos são priorizados aleatoriamente.
6. FDIN – Folga Dinâmica: a folga dinâmica é definida como sendo a folga estática, a ser vista a seguir, descontada dos tempos de fila previstos; na tabela 2 temos a média desses tempos. Também é possível definir esse valor dinamicamente, o que não será feito aqui.
7. FEST – Folga Estática: a folga estática é a diferença entre o tempo que falta para se entregar o pedido descontado dos tempos de processamento necessários para o referido pedido.

Existe uma lógica interna em cada *Work Center* que identifica qual foi a política escolhida para ele através da planilha e, automaticamente, faz com que a política de escolha do pedido a ser processado siga essa lógica.

Outras lógicas existentes na simulação dizem respeito às medidas de desempenho do sistema. Temos que, conforme a simulação vai rodando, o programa, através de lógicas inseridas, vai calculando automaticamente a taxa de utilização dos centros de trabalho, os tempos de fila, tempo total de atraso, custo de atraso, tempo de adiantamento, além de outras medidas pertinentes.

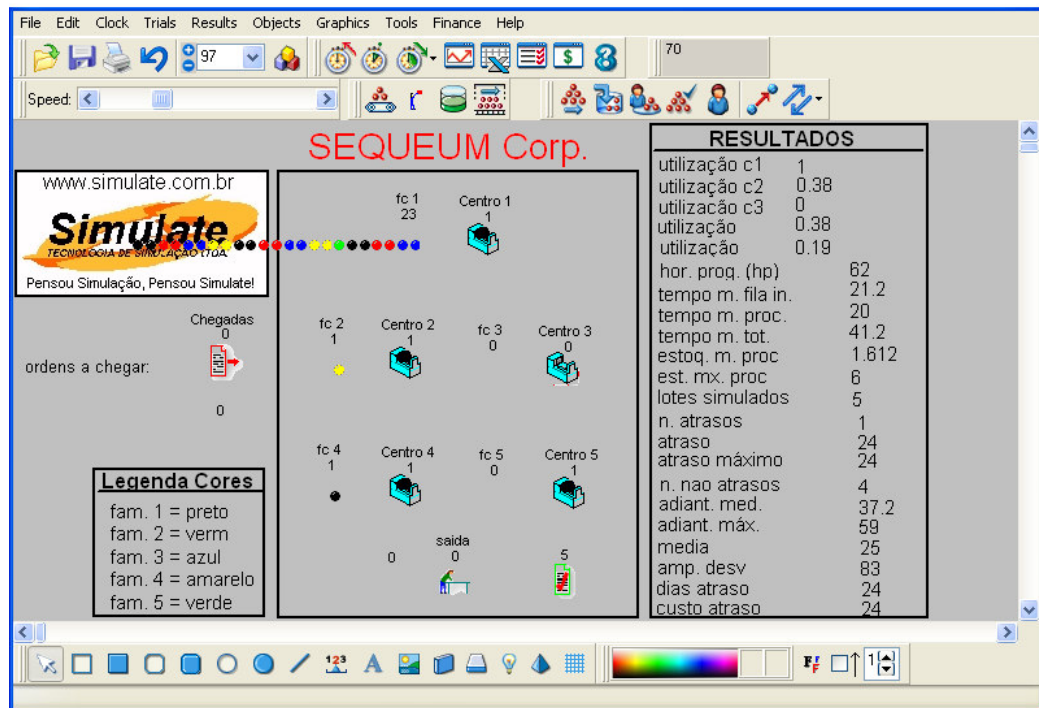


Figura 19: tela do Modelo Sequeum (fonte: *Simul8*)

Pode-se observar na figura anterior que cada tipo de produto, ou seja, cada família, tem uma cor própria, facilitando a visualização do processo.

3.5. Modelo 4: Fornecimento – Trecho de Supply Chain

O Problema logístico de Supply Chain é um problema bastante comum entre os profissionais do ramo de administração e engenharia de produção. Mas o que é Supply Chain?

Supply Chain é uma cadeia de empresas formadas por fornecedores, produtores e distribuidores de um bem ou serviço. Desse modo há um fluxo tangível (matéria-prima, por exemplo) ou intangível (informações) de insumos e produtos. O Supply Chain Management trata de como gerenciar esse fluxo para manter estoques baixos e, ainda sim, sempre ter disponíveis produtos para os clientes.

Nesse sentido é importante notar que é possível realizar previsões de consumo, mas nunca (ou muito raramente, no caso de ser uma empresa que trabalha sob regime de encomenda, por exemplo) temos uma certeza real da quantidade de

calças que venderemos amanhã ou no próximo mês, por exemplo, ou seja, qual deverá ser o tamanho de nosso estoque.

Faz-se necessário lembrar que a todo estoque temos custos associados, sejam esses fixos (instalações, seguros, etc.) ou variáveis, como mão-de-obra caso essa não seja fixa ou custo de oportunidade. O custo de oportunidade representa quanto estamos “perdendo” ou deixando de ganhar por manter o capital imobilizado em estoques: esse dinheiro poderia muito bem estar aplicado em um título qualquer e rendendo juros. Está justamente relacionado ao custo do dinheiro no tempo.

Outros problemas estão envolvidos em um problema logístico desse tipo. Um exemplo é o transporte propriamente dito: podemos utilizar diversos modais de transporte; se utilizarmos caminhões, por exemplo, podemos ou não aceitar cargas fracionadas (não encher o caminhão por inteiro).

E, desse modo, poderíamos estender os problemas infinitamente.

Nesse exemplo de simulação propomos um modelo que representa uma fábrica em Santo André que fornece um determinado produto a seus distribuidores que, por sua vez, distribuem-no localmente. É um trecho de uma Supply Chain.

A simulação é bastante indicada para lidar com problemas como esse. Como se sabe, a simulação utiliza-se de números randômicos para gerar distribuições de probabilidade, que serão aplicadas ao modelo.

Uma demanda, por exemplo, segue uma determinada curva probabilística. A cada momento existe uma probabilidade de chegar mais um pedido, exemplificando. O tempo de transporte da fábrica para o distribuidor também varia: o caminhão pode quebrar, é possível que pegue trânsito ou não e assim por diante. A simulação consegue lidar com essas probabilidades.

Além disso, através da simulação é possível estruturarmos problemas muito complexos, como é o caso do problema de Supply Chain. Na verdade é possível construir pequenos módulos mais simples e depois agrupar em um problema como um todo, correlacionando as variáveis de modo que não conseguiríamos fazer mentalmente ou, caso fizéssemos com uma planilha, seria muito mais dispendioso.

3.5.1. Descrição do Estudo de Caso

Nosso modelo é constituído de uma fábrica, localizada em Santo André, no Estado de São Paulo e de cinco CDs (Centros de Distribuição) – localizados em Belo

Horizonte, Curitiba, Cuiabá, Salvador e Belém –, cada qual responsável pela revenda local do produto em questão.

Devemos determinar alguns parâmetros referentes ao modelo, isto é, dados sobre os estoques locais, transporte, entre outros. Os referidos parâmetros serão inseridos em uma tabela bastante semelhante a uma planilha em Excel, dentro do modelo.

Estoques nos CDs

Como mencionado, devemos determinar alguns parâmetros em relação aos CDs (individualmente, isto é, cada CD possui seus dados particulares) para poder “rodar” a simulação.

Primeiramente devemos escolher uma das três políticas de estoque disponíveis no modelo. São elas:

1. Ponto de reordem e tamanho de pedido fixos: nesse caso, quando o estoque local chegar a um determinado nível pré-fixado, será enviado um pedido à matriz para que essa remeta uma quantidade pré-determinada, sempre fixa, de produtos. Parte-se do princípio que a empresa possui um sistema capaz de informar automaticamente o exato momento em que o estoque chegou a um nível mínimo. Aqui devemos também apontar, obviamente, o tamanho desse estoque mínimo que aciona o pedido e o tamanho do referido pedido.
2. Ponto de reordem fixo e tamanho do pedido dependente da diferença entre o estoque máximo permitido e o estoque atual: muito semelhante à política anterior mas, aqui, não será pedida à matriz uma quantidade fixa do produto, mas sim a quantidade necessária para completar um estoque máximo. Essa política funciona dessa maneira para evitar problemas quando, por exemplo, um cliente qualquer faz um pedido maior do que o usual. Na política anterior, mesmo após a chegada do pedido, é possível que o estoque fique deveras baixo. Aqui não, dado que o tamanho do pedido não será fixo, mas variável conforme as últimas vendas e o estoque máximo permitido. Devemos determinar aqui o tamanho do estoque mínimo, que aciona o pedido, e o tamanho do estoque máximo permitido.

3. **Review Period:** essa expressão significa, em inglês, “período de revisão”. Esse caso é semelhante à primeira política, com excessão ao fato de que aqui não há um sistema capaz de nos indicar imediatamente quando o estoque ultrapassa um nível inferior a um pré-determinado. Fazem-se, nesse caso, revisões periódicas de estoque a fim de manter seu controle. Obviamente é necessário indicar, além do estoque mínimo e tamanho do pedido, tal qual ocorre na primeira política, o intervalo de tempo entre as revsões (review period).

Devemos indicar também, em relação aos CDs, qual o nível de estoque inicial, isto é, quando a simulação começa a “rodar”, e os preços de venda em cada local. Esses preços de venda serão utilizados para realizar a medida de desempenho do sistema, que é, como em todo sistema produtivo, o lucro aferido pela empresa. Temos duas linhas em cor cinza (“On hand” e “On order”) que são parâmetros internos do sistema e não devem ser alteradas.

Um pouco abaixo do grupo de células referentes aos CDs temos que indicar o tempo de simulação desejado, isto é, quanto tempo o modelo funcionará para colher os resultados.

Demanda nos CDs

Ainda em relação aos CDs, devemos determinar o modelo de demanda que será aplicado em cada CD, individualmente. Temos, na simulação, quatro modelos de demanda aplicáveis.

1. **Demanda constante:** nesse modelo a demanda se mantém constante ao longo do mês. Só será necessário indicar o “Parâmetro 1”, representando qual será a demanda diária no CD em questão. Na figura 20 temos um gráfico da demanda diária ao longo do tempo para compreendermos melhor.

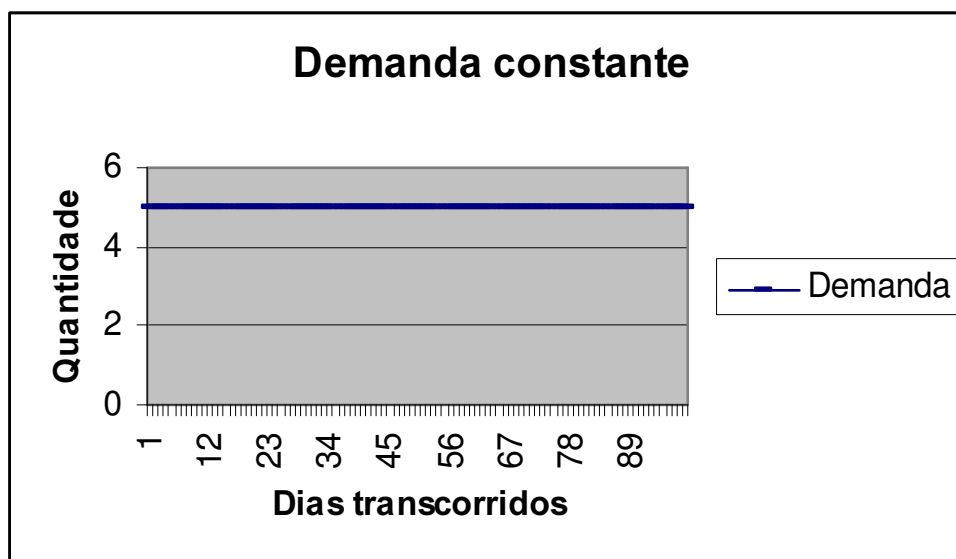


Figura 20: gráfico de exemplo de demanda constante (fonte: o autor)

2. Demanda variável: aqui a demanda variará uniformemente ao redor de uma média. Nesse caso o “Parâmetro 1” será o valor mínimo dessa distribuição e o “Parâmetro 2” o máximo; a média em torno da qual o valor da demanda oscilará será, portanto, a média entre esses dois valores. Os valores escolhidos no caso da figura 21, por exemplo, são 10 (“parâmetro 1”) e 20 (“Parâmetro 2”).

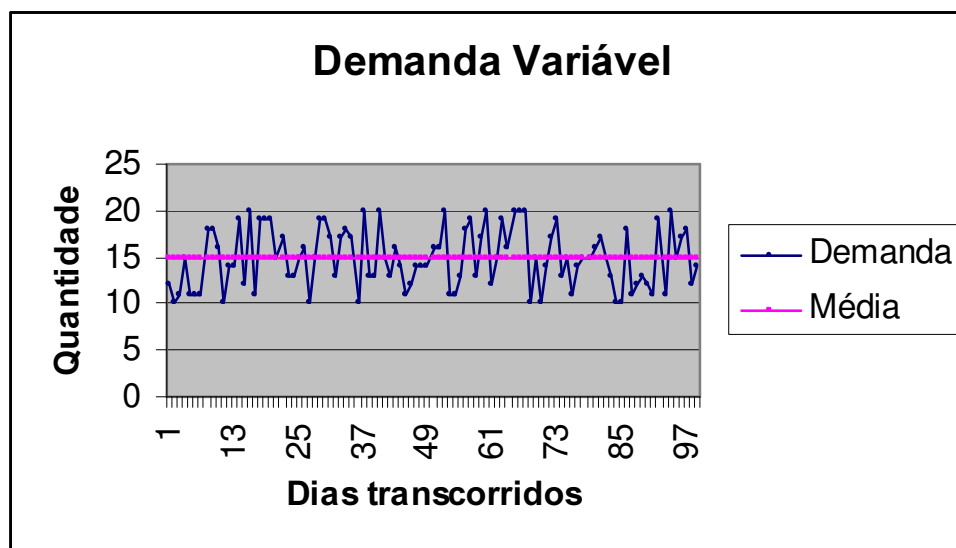


Figura 21: gráfico de exemplo de demanda variável (fonte: o autor)

3. Demanda Triângular: aqui triangular não se refere ao tipo de distribuição propriamente dito, mas é um termo para indicar uma demanda que possui um mínimo no mês e vai crescendo uniformemente até alcançar um dia de pico. Nesse caso o “Parâmetro 1” indica o mínimo, “Parâmetro 2” indica a demanda máxima no dia de pico ao longo do mês, que é o “Parâmetro 3”. Esse último pode, portanto, variar de 1 a 30. Vejamos seu comportamento com “Parâmetro 1” igual a 5, “Parâmetro 2” igual a 20 e dia de pico (“Parâmetro 3”) igual a 20.

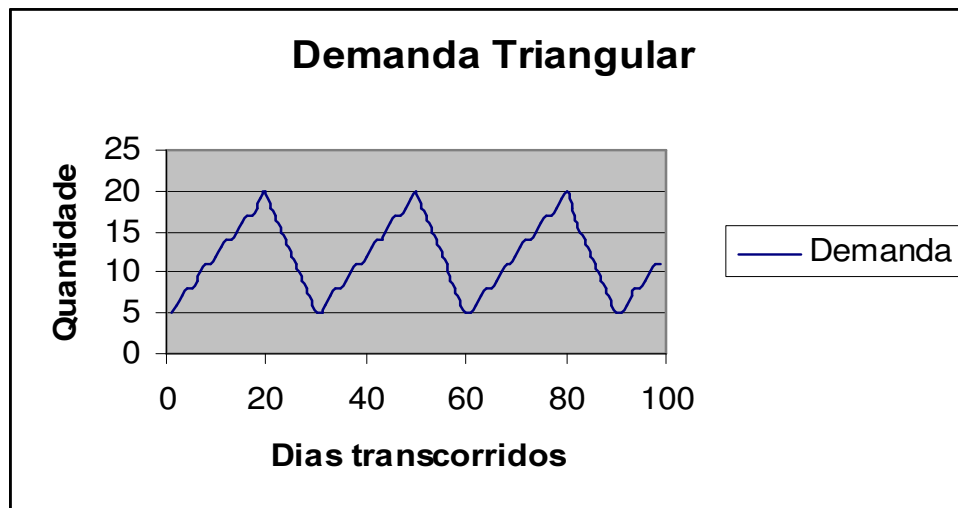


Figura 22: gráfico de exemplo de demanda "triangular" (fonte: o autor)

4. Demanda Triangular com Desvio: essa é o modelo de demanda mais realista da simulação. Aqui, tal qual o modelo triangular simples, temos um mínimo (“Parâmetro 1”) e um máximo (“Parâmetro 2”), que é alcançado no dia de pico (“Parâmetro 3”), mas também um desvio, uma variabilidade aleatória em torno da curva descrita no modelo de demanda anterior. Vejamos um exemplo com os mesmos valores da demanda anterior, mas agora com a variabilidade de 5 (“Parâmetro 4”).

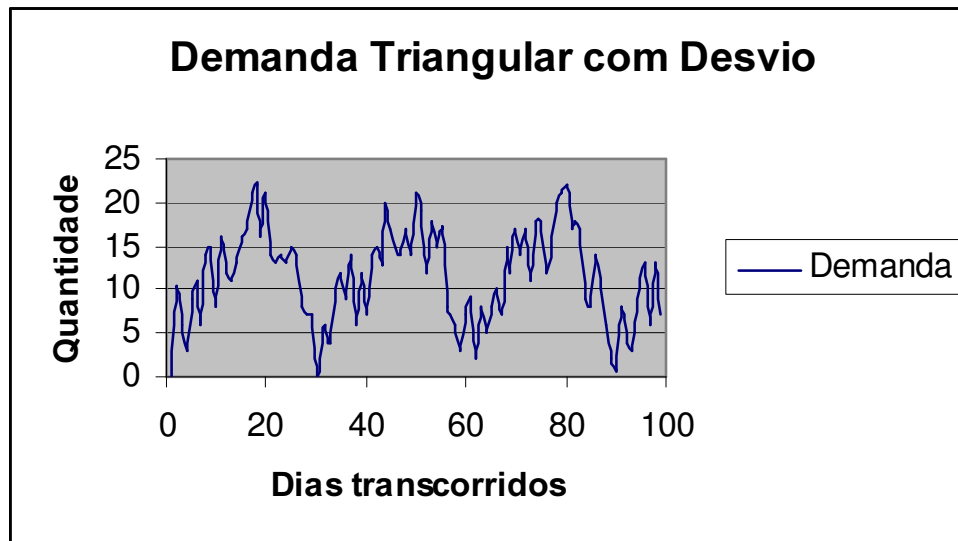


Figura 23: gráfico de exemplo de demanda triangular com desvio (fonte: o autor)

Transportes

Temos agora a necessidade de inserção de alguns parâmetros em relação ao transporte. Podemos aqui também particularizar conforme o CD em questão, isto é, podemos ter, por exemplo, um tamanho de pedido para abastecer Salvador maior do que o tamanho de Belém.

A primeira escolha a ser feita se refere ao tipo de distribuição a ser aplicada ao tempo de transporte. O tempo de transporte pode ser constante (invariável, demorará sempre o mesmo intervalo de tempo para ir de Santo André a Curitiba, exemplificando) ou conforme uma distribuição triangular propriamente dita, isto é, com um valor mínimo (“Parâmetro 1”), uma moda (“Parâmetro 2”) e um máximo (“Parâmetro 3”). É importante notar que, assim como todos os valores de tempo da simulação, temos esses dados em “dias”.

Podemos assinalar, ainda, como já mencionado, se aceitamos ou não cargas fracionadas. Escolheremos 1 se só aceitarmos cargas inteiras (o caminhão deve ser totalmente carregado para partir em direção ao CD) ou 2 se aceitarmos encher o caminhão pela metade. Obviamente a primeira opção tende a ser mais rentável, mas isso depende também de outros parâmetros de transporte: pode ser, por exemplo, que o custo de manter o estoque que teremos a mais no CD (para encher inteiramente o caminhão) ultrapasse o custo de enviar um caminhão com carga fracionada.

Devemos ainda determinar a capacidade do caminhão, em quantidade de produtos, o tamanho da frota e o valor financeiro do caminhão. Mais uma vez, esse último valor nos serve para determinar o custo de oportunidade.

Custos

Além dos dados financeiros anteriormente mencionados (preço de venda do produto em cada CD e valor dos caminhões), temos mais alguns custos, a saber:

- Custo por quilômetro rodado: se refere, obviamente, ao custo variável em relação à distância percorrida pelo caminhão.
- Custo por não atendimento: aplica-se aqui um custo pelo não atendimento devido à falta de produtos em estoque nos CDs. Isso porque temos uma perda do lucro em relação àquele pedido e um custo de perda do cliente e propaganda negativa que será realizada a outras pessoas que são clientes potenciais.
- Custo de produção: é o quanto gastamos, por unidade, para produzir nosso produto.
- Custo de oportunidade: como já explicado, devemos aplicar um custo de oportunidade ao capital imobilizado em estoques e ao capital imobilizado em caminhões. Sabemos que esse capital poderia, caso desimpedido, estar rendendo juros em um fundo qualquer.

Taxa de Fabricação

Temos, para finalizar os dados de entrada, uma taxa de fabricação que se refere à fábrica em Santo André. Ela está indicada em produtos fabricados por dia para abastecer todo o consumo nacional.

Objetivos

Na tela em que corre a simulação temos alguns parâmetros indicativos do desempenho do sistema. Obviamente, o mais importante ao final das contas é o lucro líquido que, como supracitado, é na maioria das vezes o indicador mais relevante em um sistema produtivo.

Devemos, portanto, gerenciar todos os dados de entrada, que são dados possíveis de serem controlados no dia a dia do gerente de supply chain ou, ao menos, planejados.

Devemos balancear, por exemplo, os estoques nos CDs com a demanda e a taxa de fabricação na matriz, sem perder pedidos ou, pelo menos, minimizando essa perda ao máximo. Talvez compense, exemplificando, perder alguns poucos clientes (e aqui vale enfatizar esse “poucos”) em prol de não manter os estoques em níveis absurdamente elevados.

Podemos ainda utilizar o modelo para dimensionar a frota adequada de caminhões em nosso sistema.

E, desse modo, podemos visualizar com acurada precisão a dinâmica de um trecho *Supply Chain* ou Cadeia de Suprimentos.

3.5.2. Modelagem

Devido ao grande número de variáveis e à alta complexidade desse modelo, esse foi realizado partindo-se da planilha de inserção de dados: a planilha foi uma espécie de guia através do qual foi possível adequar o modelo às necessidades intrínsecas do problema em questão.

Na página a seguir temos a planilha de inserção de dados do modelo. Quando se abre o modelo automaticamente mostra-se essa planilha, para que o usuário a configure do jeito que achar melhor.

	Belo Horizonte	Curitiba	Cuiabá	Salvador	Belem
Política de estoques	1	2	2	2	3
Ponto de reordem	50	80	50	50	90
Tamanho do pedido (caso fixo)	100	100	100	150	200
Estoque máximo (se aplicável)	100	200	150	100	150
Review Period	1	1	1	1	2
Estoque inicial	100	100	100	100	100
On hand	118	50	50	33	90
On order	0	100	100	150	60
Preço de venda	100	100	120	110	130
Tempo de Simulação (dias)	100				
Legenda de Política de Estoques					
Ponto de reordem e tamanho de pedidos fixos	1				
Ponto de reordem fixo e tamanho do pedido variável para completar estoque máximo	2				
Review Period	3				
Demanda					
	Belo Horizonte	Curitiba	Cuiabá	Salvador	Belem
Tipo (1 para constante, 2 para variável, 3 para triangular, 4 para triangular com desvio)	4	4	4	4	4
parametro 1 (minimo)	20	15	4	5	0
parametro 2 (maximo)	30	40	20	30	18
parametro 3 (dia de pico)	20	20	20	20	28
parametro 4 (variabilidade)	3	5	3	10	6
na triangular, P1 = K = offset, P2 = dia de máximo ou mínimo e P3 = valor max ou min e P4 = grau de aleatoriedade					
Tempo de transporte					
	Belo Horizonte	Curitiba	Cuiabá	Salvador	Belem
tipo (1 para determinístico e 2 para triangular)	2	2	2	2	2
parametro 1	0,5	0,4	0,4	0,4	2,8
parametro 2	0,8	1,2	1,2	1,2	4
parametro 3	1	1,6	1,6	1,6	5
Tipo de carga (1 para carga inteira apenas e 2 para meia carga permitida)	2	2	2	2	1
Capacidade do caminhão	40	40	40	40	40
tamanho da frota	6				
Valor de cada caminhão	40000				
Custos					
custo por km rodado	0,02				
custo por não atendimento	60				
custo de produção	30				
custo de oportunidade	1,50%				
Taxa de fabricação (unid/dia)	85				

Tabela 6: planilha de entrada de dados do modelo de suprimento (fonte: tela do *Simul8*)

Existem cinco pontos de entrada de pedidos, isto é, cinco *Work Entry Points*. Cada um destes cinco pontos representa um distribuidor local. Cada *Work Item* adentrando o *Work Entry Point* representa um dia de operação. A eles são atribuídos atributos indicativos da quantidade pedida a cada dia. Essa quantidade segue as distribuições de demanda explanadas anteriormente.

Então, toda vez que um *Work Item* adentra o sistema, isto é, a cada dia que se passa, é chamada uma distribuição de demanda daquelas possíveis de acordo com a escolha realizada pelo usuário do modelo. Se no armazém local (representado por um *Storage Bin*) houver a quantidade pedida, o pedido é computado normalmente, a

receita somada à receita total. Caso contrário, a venda não ocorre e temos os custos de não atendimento aumentados.

Ainda, de acordo com o preenchimento da planilha, conforme o tipo de política de reposição de estoques, existem lógicas de *Visual Logic* que checam as posições de todos os estoques e, se necessário, faz pedido à matriz, em Santo André. No entanto, para estes pedidos chegarem ao distribuidor local, são necessários caminhões para o transporte.

Esses caminhões são modelados por *Resources* e é considerado todo o tempo de ida e volta. Ainda, podemos fazer com que esses caminhões aceitem ou não carga fracionada. Isso também é feito via *Visual Logic*: no momento em que o caminhão é carregado, juntamente com uma lógica que determina quantos caminhões são necessários para realizar a entrega, existe uma checagem em relação à carga e o tamanho do caminhão (caso o usuário permita carga fracionada, obviamente essa checagem é desconsiderada) para verificação da porcentagem de carga utilizada.

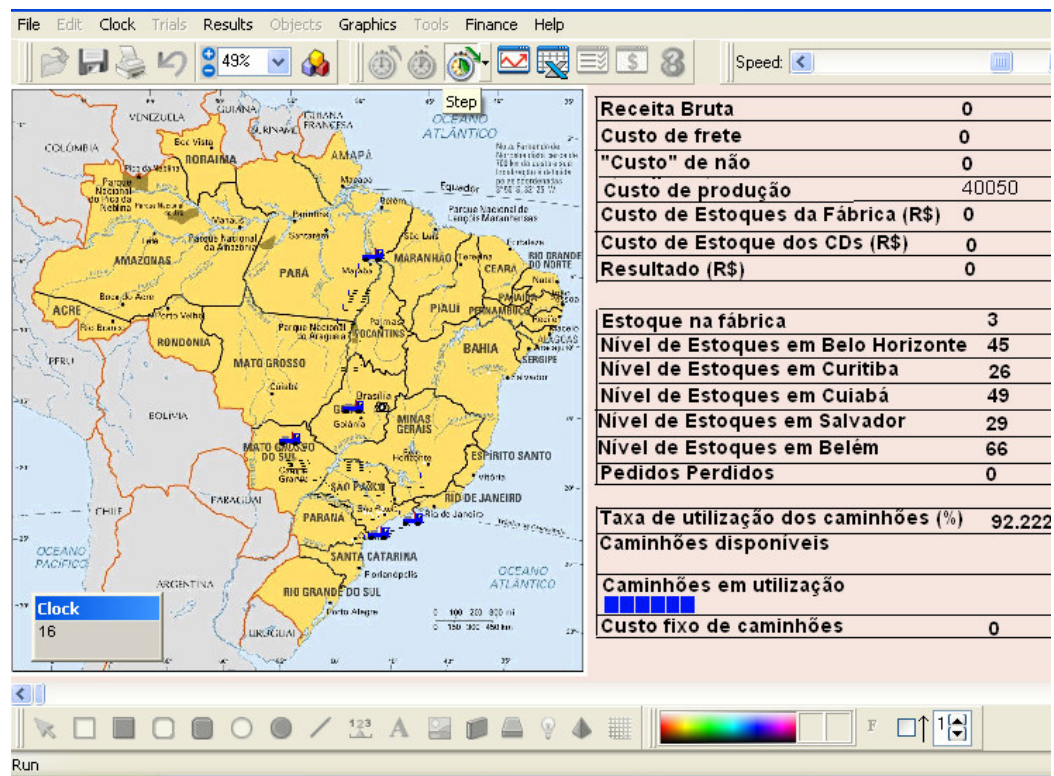


Figura 24: modelo de simulação de abastecimento (fonte: tela do *Simul8*)

Outro aspecto importante desse modelo são os gráficos: existe um mapa que mostra a localização dos caminhões ao longo do tempo. A lógica matemática do modelo propriamente dita é totalmente independente desse mapa: ele existe apenas para tornar melhor a interação entre o modelo e o usuário.

Na verdade, quando temos o carregamento do caminhão, ao mesmo tempo em que a lógica matemática do modelo determina a diminuição do estoque central e a imobilização temporária do recurso caminhão, ela faz com que, em um modelo praticamente “paralelo”, um caminhão (aqui representado por um *Work Item*) seja enviado ao ponto desejado, não alterando em nada o tamanho do estoque etc. Em outras palavras, os desenhos não significam muita coisa para o modelo: são apenas incrementos gráficos que visam deixar o modelo visualmente agradável.

Uma última observação pertinente em relação a esse modelo, e que pode levantar dúvidas, é o fato de que algumas das medidas de desempenho (ver figura 28) estão marcando o valor “zero”. Isso ocorre, na verdade, devido ao fato dos cálculos dessas medidas serem realizadas ao término da simulação, ou seja, existem valores atualizados constantemente e existem valores atualizados ao final da simulação.

3.6. Modelo 5: Dimensionamento e Qualidade

Um dos problemas presentes na vida de um engenheiro de produção é o dimensionamento de sistemas produtivos. Assim, como já visto no modelo anterior, de suprimentos, pode ser necessária a determinação do número de caminhões necessários para um sistema logístico.

Vale dizer que, inicialmente, na época da elaboração, esse modelo visava ser útil para o ensino de metodologias 6 sigma. Entretanto esse escopo foi mudado, ao contrário de seu manual (que pode ser visto ao final do trabalho, nos anexos).

Por outro lado, pode ser imprescindível a definição do número de atendentes de um *Call Center* ou o número de profissionais em um dado sistema de produção. Aqui trataremos de uma fábrica de softwares.

Uma fábrica de softwares é uma empresa que, utilizando-se da metodologia de produção industrial, monta softwares customizados para seus clientes. Um exemplo da adoção de metodologia industrial de produção é a utilização de rotinas pré-preparadas, módulos para a fabricação: rotinas de programação (pequenas

lógicas de programação – na verdade esse tamanho pode variar) são conectadas de forma adequada a gerar um software que é necessário para o cliente. Assim, em uma analogia, poderíamos comparar essas rotinas com peças que compõe um motor em uma fábrica de motores, ou módulos que compõe módulos em uma fábrica de móveis.

Desse modo, foi proposto um modelo de simulação através do qual é possível dimensionar o número de consultores, programadores e outros funcionários de uma fábrica de softwares. Quando rodamos a simulação, essa nos fornece uma série de gráficos e medidas de desempenho para podermos avaliar o sistema e verificar se o dimensionamento está correto de acordo com a demanda e as condições do sistema e ambiente: como se sabe, senso crítico, noção e entendimento de indicadores da produção também são características imprescindíveis para administradores e engenheiros de produção.

Um outro fator deveras importante em um sistema produtivo é a qualidade do mesmo e a taxa de retrabalho que existe no sistema. Assim, propõe-se também no modelo uma “regulagem” dessa taxa de retrabalho. Espera-se que o administrador do sistema tome contato com problemas de qualidade e tenha consciência que esses problemas causam um impacto direto no desempenho do objeto de estudo e custos do mesmo.

Acredita-se, portanto, com esse modelo, que o estudante tome contato com mais uma variedade de sistema produtivo, sendo capaz de elaborar relações entre seus elementos, entradas e saídas e avaliar seu desempenho através de gráficos e índices e tome consciência da importância do papel da qualidade em qualquer sistema produtivo, seja em um sistema de trabalho intelectual, intangível ou um sistema de produção de máquinas ou peças automotivas, isto é, produção tangível.

3.6.1. Descrição do Estudo de Caso

Como já descrito, o que temos nesse modelo é o processo de produção de programas computacionais em uma fábrica de softwares, um sistema de produção cada vez mais comum na economia brasileira.

O processo produtivo se inicia com o contato do cliente. Após esse contato, um consultor da empresa vai até o cliente, realiza um levantamento de suas necessidades e faz a especificação do software a ser fabricado. A equipe de

consultores é escolhida através do tipo de software que se pretende elaborar. Existem dois tipos: *Online* e *Offline*. O primeiro tipo diz respeito àqueles softwares que trabalham utilizando a Internet e o segundo tipo representa os softwares que não trabalham conectados à rede.

Ainda, existe a divisão interna da fábrica de software em três unidades: *Banco de Dados*, que faz programação em SQL, Visual Basic etc., *Linguagem de Programação*, que constrói programas utilizando-se de linguagens de programação “puras”, tais como C++, e *Interface*, que é requisitada quando se necessita de uma ligação entre dois softwares, sejam esses da própria fábrica ou entre um software da fábrica e um sistema já existente no cliente. A orientação do software em relação à fábrica para qual o projeto será encaminhado já é realizada pelo consultor durante a fase de levantamento de necessidades e especificação, de modo que o software segue diretamente para a fábrica adequada quando adentra o sistema.

Após a programação o software rumo para um setor de qualidade, no qual é testado incessantemente, a fim de encontrar defeitos e problemas, caso esses existam: o objetivo é não deixar que nenhum programa chegue com problemas ao seu destino, Ito é, nos clientes. Ainda, sabe-se que, caso se encontre defeitos no programa, esse retorna à fábrica que o construiu, consumindo mais recursos inutilmente: o retrabalho não agrega valor ao produto e é melhor que não exista.

Assim, finalmente, após devidamente testado e certificado, o software rumo ao cliente, terminando o ciclo produtivo.

Deve-se avaliar o sistema, dimensionar o número de funcionários, analisar os gráficos e as medidas de desempenho, enfim, otimizar o sistema.

3.6.2. Modelagem

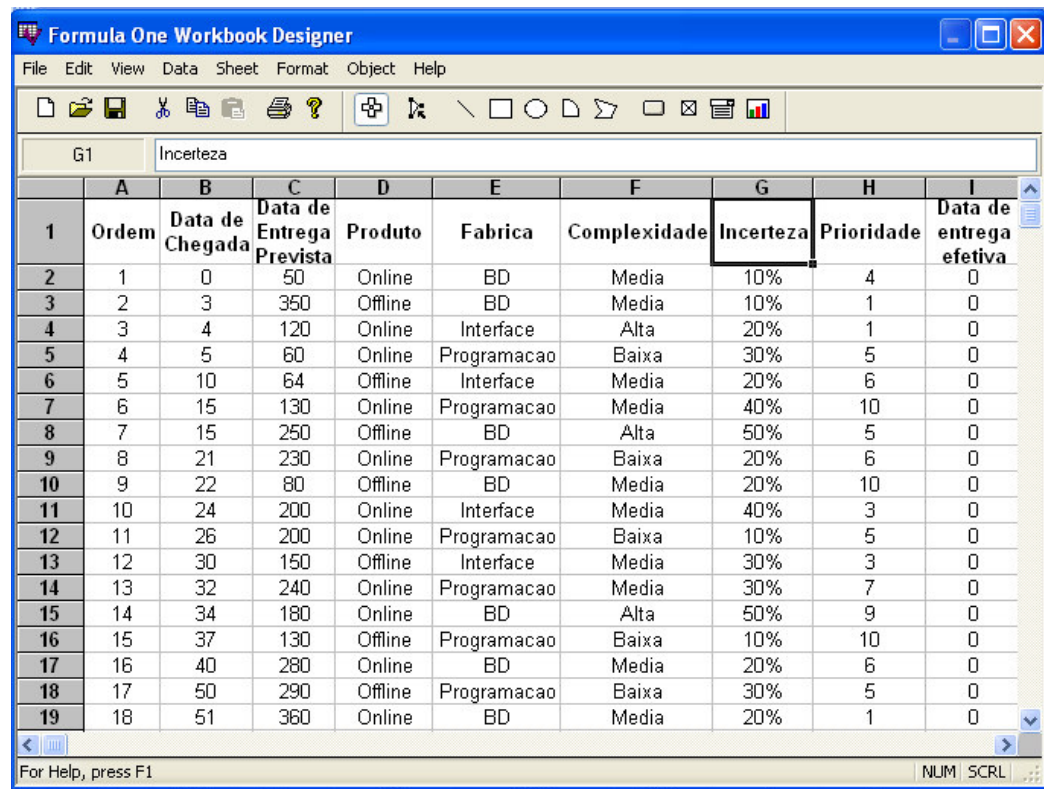
A modelagem foi realizada de tal maneira que fosse possível a entrada de dados através de planilhas e caixas de diálogo.

Assim, devemos preencher a seguinte planilha referente aos projetos que serão realizados. O número de projetos possível é ilimitado (na verdade é limitado pelo tamanho da planilha interna do Simul8 que suporta até 16384 linhas).

Cada projeto foi representado no modelo como sendo um *Work Item* e os dados referentes a ele, explicitados na planilha abaixo, são atributos de cada *Work Item*.

A entrada dos produtos no sistema ocorre da seguinte maneira: existe uma lógica que “lê” a planilha e, para cada nova ordem, adiciona um *Work Item* em uma fila (*Storage Bin*) que só será liberado na data de entrada mostrada na planilha. Assim, todos esses dados (Ordem, Tipo, etc.) são armazenados em cada *Work Item* (ou projeto) como atributos: cada um possui seus dados particulares.

Esses dados serão responsáveis pela duração de cada operação, roteamento do projeto etc., conforme explicar-se-á agora.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Ordem	Data de Chegada	Data de Entrega Prevista	Produto	Fabrica	Complexidade	Incerteza	Prioridade	Data de entrega efetiva
2	1	0	50	Online	BD	Media	10%	4	0
3	2	3	350	Offline	BD	Media	10%	1	0
4	3	4	120	Online	Interface	Alta	20%	1	0
5	4	5	60	Online	Programacao	Baixa	30%	5	0
6	5	10	64	Offline	Interface	Media	20%	6	0
7	6	15	130	Online	Programacao	Media	40%	10	0
8	7	15	250	Offline	BD	Alta	50%	5	0
9	8	21	230	Online	Programacao	Baixa	20%	6	0
10	9	22	80	Offline	BD	Media	20%	10	0
11	10	24	200	Online	Interface	Media	40%	3	0
12	11	26	200	Online	Programacao	Baixa	10%	5	0
13	12	30	150	Offline	Interface	Media	30%	3	0
14	13	32	240	Online	Programacao	Media	30%	7	0
15	14	34	180	Online	BD	Alta	50%	9	0
16	15	37	130	Offline	Programacao	Baixa	10%	10	0
17	16	40	280	Online	BD	Media	20%	6	0
18	17	50	290	Offline	Programacao	Baixa	30%	5	0
19	18	51	360	Online	BD	Media	20%	1	0

Figura 25: planilha de entrada de projetos no Modelo de Fábrica de Software (fonte: tela do *Simul8*)

A planilha de entrada de projetos, como se pode observar, necessita de alguns dados de entrada, que são:

- Ordem: é um contador que representa a ordem de entrada do projeto em questão no sistema. Deve ser o número “um” para o primeiro projeto, “dois” para o segundo e assim por diante.
- Data de Chegada: representa a data de entrada do pedido no sistema.

- Data de entrega prevista: é a data que devemos entregar o pedido ao nosso cliente. Esse número, assim como todos os outros, é determinado pelo o usuário. O atraso ou adiantamento na entrega de um pedido ao cliente é aferido através desse valor.
- Produto: tipo de produto em questão (*Online* ou *Offline*); nos aponta quais consultores estão aptos para realizar a especificação do projeto.
- Fábrica: nos indica a qual fábrica o produto será encaminhado (Banco de Dados, Linguagem de Programação ou Interface).
- Complexidade: os projetos podem ser classificados de acordo com três níveis de complexidade: baixa, média e alta. De acordo com a complexidade, haverá um tempo médio de especificação e programação, a serem especificados adiante. Esse tempo pode variar aleatoriamente, conforme uma distribuição *Average* (Normal com desvio padrão de 25% do valor da média).
- Incerteza: a incerteza, também deve ser considerada em um sistema. Desse modo, temos uma incerteza que vai refletir diretamente no tempo de execução do projeto. Assim, o tempo de elaboração de um produto em uma fábrica está modelado de acordo com a equação:

$$tempodeprogrtamação * incerteza * aleat[0] + tempodeprogramação^6$$
- Prioridade: é um número que pode ir de 0 a 10. Reflete a ordem de importância de execução de um projeto. Se um projeto, portanto, apresentar prioridade mais elevada do que outro, mesmo que esse último tenha chegado na fila de espera anteriormente, o de prioridade maior passa à frente na ordem de execução.
- Data de entrega efetiva: esse é um valor que não cabe ao usuário determinar. Ele é, na verdade, determinado pelo modelo, que o grava na planilha a fim de realizar cálculos posteriores e mostrar ao usuário as datas reais de entrega dos projetos para que ele possa comparar com as datas previstas.

⁶ aleat[0] representa um comando do *Visual Logic*, isto é, a linguagem de programação interna do simul8 que faz com que seja gerado um número aleatório entre 0 e 1.

Outros dados importantes, que devem ser inseridos na mesma planilha de entrada de dados, dizem respeito à quantidade de consultores, programadores e funcionários de qualidade disponíveis no sistema e o tempo que demoram a realizar os projetos, de acordo com a complexidade apresentada.

Sheet: dados					
	H	I	J	K	L
1	Prioridade	Data de entrega efetiva		Tempo médio especificação (consult. pleno)	
2	4	49,99287	Complexidade baixa	10	
3	1	0	Complexidade média	15	
4	1	118,3946	Complexidade alta	22	
5	5	60,48588	Tempo médio de teste	5	
6	6	63,62532		Tempo médio programação (progr. pleno)	
7	10	129,5559	Complexidade baixa	20	
8	5	92,05526	Complexidade média	30	
9	6	230,735	Complexidade alta	40	
10	10	85,23682			
11	3	194,3253	Consultores Disponíveis		
12	5	0	Senior	2	
13	3	164,3587	Pleno	2	
14	7	238,5302	Junior	4	
15	9	175,0688			
16	10	133,5775	Programadores Disponíveis		
17	6	108,2085	BD Senior	1	
18	5	258,2802	BD Pleno	1	
19	1	0	BD Junior	1	
20	2	187,5679	Linguagem Senior	1	
21	3	0	Linguagem Pleno	1	
22	4	148,6684	Linguagem Junior	1	
23	5	0	Interface Senior	1	
24	7	228,4369	Interface Pleno	1	
25	9	219,7339	Interface Junior	1	
26	10	180,6161			
27	6	0	Funcionários de qualidade disponíveis		
28	5	255,136		2	
29	1	212,8328			

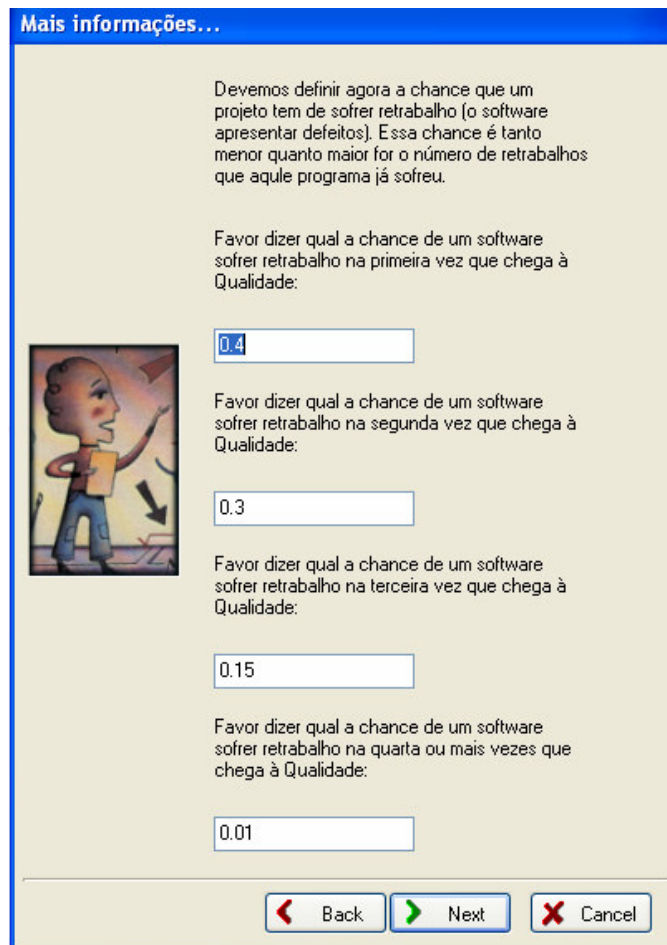
Figura 26: tabela interna do Modelo de Dimensionamento e qualidade - quantidade de funcionários e tempo de execução de tarefas (fonte: tela do *Simul8*)

Existem, obviamente, diferença nos tempos de execução de um trabalho se esse é realizado por um consultor Junior, sênior ou pleno, assim como ocorre também para os programadores. Sabe-se ainda que esses podem se reunir em equipes, realizando as tarefas de maneira mais rápida.

Assim, quando se abre o modelo, vê-se uma caixa de diálogo de instruções. Após isso, então, abre-se a planilha para preenchimento dos dados para, finalmente, abrir uma outra caixa de diálogo onde se devem apontar os dados referentes ao retrabalho e qualidade.

Nesse sentido, o modelo foi concebido de forma que, da primeira vez que um projeto chegue à Qualidade, ele tenha uma determinada chance de ter que sofrer retrabalho, retornando, portanto, à fábrica onde foi elaborado para acertos. Após esses acertos ele deverá passar novamente pelo Setor de Qualidade, havendo uma

probabilidade menor de serem necessários ajustes. E assim vai, até a quinta vez, quando retorna à linha de produção, conforme mostrado na mencionada caixa de diálogo:



Mais informações...

Devemos definir agora a chance que um projeto tem de sofrer retrabalho (o software apresentar defeitos). Essa chance é tanto menor quanto maior for o número de retrabalhos que aquele programa já sofreu.

Favor dizer qual a chance de um software sofrer retrabalho na primeira vez que chega à Qualidade:

0.4

Favor dizer qual a chance de um software sofrer retrabalho na segunda vez que chega à Qualidade:

0.3

Favor dizer qual a chance de um software sofrer retrabalho na terceira vez que chega à Qualidade:

0.15

Favor dizer qual a chance de um software sofrer retrabalho na quarta ou mais vezes que chega à Qualidade:

0.01

Back Next Cancel

Figura 27: caixa de diálogo de qualidade do Modelo de Dimensionamento e Qualidade (fonte: tela do *Simul8*)

Capítulo 4 – Resultados e Conclusões

Nesse trabalho foram desenvolvidos alguns modelos de simulação voltados para o ensino. As possibilidades no sentido de dar continuidade a esse trabalho são, no entanto, praticamente infinitas: enquanto existirem estudos de caso passíveis de serem modelados em um simulador discreto probabilístico haverá também possibilidades de modelos para serem utilizados em sala de aula. Acredito que a simulação é uma poderosa ferramenta de ensino e pretende-se, portanto, que sejam desenvolvidos mais modelos de simulação voltados para o aprendizado.

Espera-se que, com esse trabalho, o ensino em cursos de Engenharia de Produção e Administração seja mais agradável, pelo menos no que diz respeito às matérias relacionadas com gestão de operações e logística e que os alunos compreendam o conteúdo das disciplinas de maneira mais eficiente e eficaz.

Outro intuito do trabalho é a divulgação da simulação como ferramenta de análise de problemas e processos produtivos. Mais do que isso, espera-se divulgar a Simulate Tecnologia de Simulação Ltda como uma empresa altamente capacitada para a realização de modelos de simulação e análises de negócios e uma empresa ativa que investe em pesquisas e está sempre atualizada com as melhores práticas de simulação. Também por isso a empresa se colocou como a principal patrocinadora do projeto.

Alguns modelos ficarão disponíveis no sítio da Simulate na Internet, de modo que certamente muito mais pesquisas realizadas na Internet terão como retorno a Simulate fazendo com que, como já citado, a empresa seja mais divulgada e realize mais negócios, obtendo uma maior lucratividade.

Trata-se, na verdade, de uma situação *win-win* no que se refere à simulação para fins educacionais e a simulação para fins comerciais. Uma pessoa que tomar contato com a simulação educacional, isto é, um professor que utiliza a ferramenta ou um aluno que aprender através dela, pode se interessar pela simulação e desse modo utilizá-la para análises de processos, seja como desenvolvedor de modelos, seja como gerente ou diretor de operações de uma empresa que contratará algum especialista em simulação para desenvolver um determinado projeto na empresa em que atua.

Por outro lado, um consultor empresarial que seja também professor, por exemplo, ao utilizar a simulação, pode tomar conhecimento dos modelos e utilizá-los em sala de aula. A simulação, genericamente falando, será beneficiada.

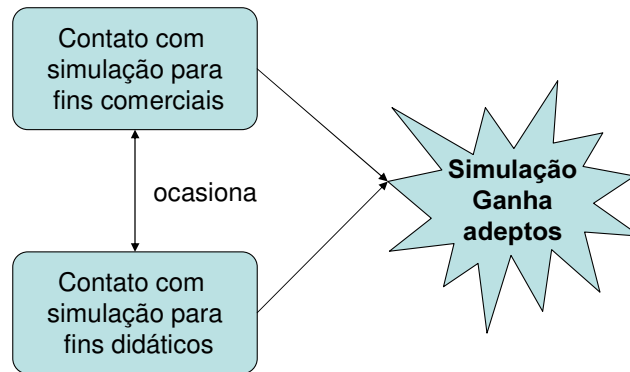


Figura 28: com a simulação didática há a divulgação da simulação computacional discreta probabilística (fonte: o autor).

Sabe-se que a simulação é uma ferramenta amplamente utilizada em países avançados em práticas empresariais, como Estados Unidos e Grã Bretanha (berço do *Simul8*, software utilizado no projeto), por exemplo. No Brasil, entretanto, a simulação é muito pouco utilizada, apesar de já existir desde a década de 50. Quem está envolvido com a ferramenta deve, portanto, divulgá-la mais entre as empresas e interessados.

Quanto ao primeiro modelo desenvolvido, isto é, o de manutenção, espera-se que, além de o professor não precisar mais perder muito tempo explicando a importância da manutenção preventiva, o aluno perceba o real impacto de diferentes políticas aplicadas no modelo de manutenção. Uma atividade lúdica, como uma competição para quem atinge o melhor resultado, deve resultar ainda no maior interesse do aluno nas aulas sobre o referido assunto.

Em relação ao segundo modelo, o Teorema do Limite Central, pode-se dizer que o objetivo primordial é que o aluno consiga visualizar melhor o referido teorema e que ele abra caminho para a elaboração de mais modelos referentes a matérias teóricas, que não sejam aplicadas. Assim, essas poderão ser absorvidas de forma mais agradável e intuitiva, na medida que o aluno pode perceber visualmente

as consequências de mudanças realizadas por si nos parâmetros que regem o fenômeno em questão.

O Sequeum, isto é, o modelo referente à seqüenciação, objetiva o melhor ensino de distintas técnicas de seqüenciação na produção. Além disso, o professor pode utilizá-lo aplicando uma seqüenciação determinada através de algum método ensinado em sala de aula para provar que essa é a melhor possível. Obviamente se pretende que o aluno, ao tomar contato com medidas de desempenho de um sistema como esse, tome consciência mais profunda da importância da disciplina de PPCP (Planejamento, Programação e Controle da Produção) no currículo de um engenheiro de produção.

O modelo referente ao trecho de cadeia de suprimento deve servir para uma competição, também em busca de melhores resultados do sistema. Pode-se perceber a importância de diversos conceitos em uma disciplina de logística, como por exemplo, o significado de se aceitar ou não uma carga fracionada ou qual o impacto dessa decisão em função do valor agregado da carga em questão. Pode-se, ainda, utilizá-lo a fim de se mostrar a importância de conhecermos bem o perfil de demanda do produto estudado e, dessa maneira, minimizar os estoques do sistema. Aqui podemos também nos aproveitar de uma atividade lúdica com o objetivo de lecionar conceitos importantes na vida profissional de um engenheiro ou administrador.

O último modelo apresentado, referente à qualidade e dimensionamento de quadro de mão-de-obra em um sistema produtivo, pode ser utilizado em diversas disciplinas. Uma delas é a própria disciplina de qualidade, demonstrando como a mudança na necessidade de retrabalho impacta fortemente na obtenção de resultados. Uma outra disciplina beneficiada é a que trata de indicadores de desempenho de um sistema e análise de gráficos referentes a ele, já que esse modelo didático possui vários desses indicadores e gráficos para diferentes objetivos. Um terceiro exemplo de disciplina beneficiada é alguma que trate da própria simulação de processos: pode-se mostrar como ela é útil para dimensionamento de sistemas de produção.

Em todos os casos pretende-se que haja uma redução significativa nos tempos para aprendizado, principalmente em sala de aula, visto que se pretende que esses modelos sejam também utilizados à distância.

Foi realizada uma pesquisa sobre estilos métodos de ensino e foram desenvolvidos, através de idéias preexistentes, teorias sobre como os jogos de simulação e, particularmente, a simulação computacional estocástica discreta, ensinada durante o curso de Engenharia de Produção, pode ser utilizada para ajudar o aluno e professor no objetivo comum: a construção do conhecimento.

Para tanto foi utilizada uma bibliografia de teorias de ensino e simulação. Desse modo, tendo aprendido bastante sobre os referidos assuntos, procurou-se aplicar a simulação de modo a otimizar o processo didático pedagógico nos cursos de Engenharia de Produção e Administração de Empresas.

Para reduzir o trabalho, ou melhor, otimizá-lo, recomenda-se que quem se proponha a estruturar novos modelos didáticos o faça conjuntamente com outros profissionais especializados na área do simulador a ser construído. Desse modo será possível poupar bastante tempo e recursos, visto que a modelagem será realizada por alguém que já entende amplamente o assunto escopo. Podem-se inclusive extrair do supracitado profissional os algoritmos a serem implementados no simulador, obtendo modelos mais aperfeiçoados e aderentes à realidade.

Ainda, é importante citar a relevância da criação de simuladores que utilizem a metodologia de dinâmica de sistemas e simulação contínua. A abordagem de dinâmica de sistemas para resolução de problemas parte da premissa que existem estruturas de *feedback* em sistemas e esses *feedbacks* são o que regem o comportamento de um sistema. Ainda, utiliza-se de equações matemáticas para descrever as relações e leis que regem o sistema.

Ela procura, portanto, encontrar essas informações e relações entre as diversas partes do sistema. Desse modo seria possível modelar situações diferentes das descritas (verificar capítulo 3 do presente trabalho) e aplicar a simulação em casos relacionados à economia, por exemplo. A aplicabilidade dos modelos poderia ser estendida para outros cursos de graduação ou mesmo para outras matérias (envolvendo estratégia, por exemplo) nos cursos a que os modelos já desenvolvidos se destinam, isto é, Engenharia de Produção e Administração.

Anexos

Considerações pertinentes sobre o software utilizado, o Simul8

Acredito ser importante explicar rapidamente o funcionamento básico do Simul8, uma vez que é bastante diferente de outros simuladores mais conhecidos em nosso país, como *ProModel* ou *Arena* e nas modelagens serão citados alguns conceitos aqui explanados. O Simul8 é bastante simples de ser utilizado: basta escolher os elementos da simulação, inseri-los, conectá-los e configurar suas propriedades, como veremos.

O *Simul8* realiza simulação discreta, isto é, os eventos ocorrem pontualmente. Isso significa que o software executa uma lógica de cada vez e cada lógica deve ter seu tempo de execução planejado para a modelagem tornar-se semelhante à realidade. Por exemplo, se existe uma lógica de checagem de um estoque para a realização de um comando, essa checagem deve ser realizada antes da execução do referido comando. Pode parecer algo óbvio, mas erros de *timing* nos comandos são extremamente comuns na modelagem e programação do *Simul8*.

A barra de ferramentas do Simul8 é composta, basicamente, de cinco elementos, além das setas de ligação entre esses: o *Work Entry Points*, *Storage Bins*, *Work Centers*, *Resources* e *Work Exit Points*. Existem mais elementos no Simul8, mas através desses é possível elaborar a maioria dos modelos. A título de curiosidade, todos os modelos do presente trabalho foram realizados através desses elementos.

Work Entry Points

O *Work Entry Point*, de modo geral, deve ser usado sempre que houver itens entrando no sistema. Podem ser clientes famintos chegando a uma loja de *fast food*, pacientes em um hospital, ordens de produção em uma manufatura etc.

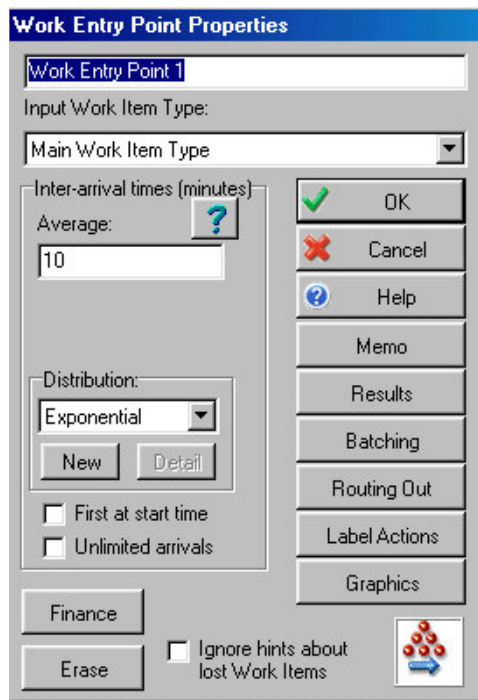


Figura 29: Work Entry Point Properties (fonte: tela do Simul8)

A ele devemos associar um “*inter-arrival times*”, isto é, o tempo entre chegadas. Como a maioria dos elementos de tempo em uma simulação estocástica, é possível associar distribuições de probabilidade a esse tempo.

Storage Bins

São filas de espera e são utilizadas quando se deseja representar algo que está aguardando uma operação. Pode ser produtos esperando para serem carregados em um caminhão, matéria-prima aguardando utilização ou pessoas aguardando um avião chegar no saguão do aeroporto, e assim por diante.

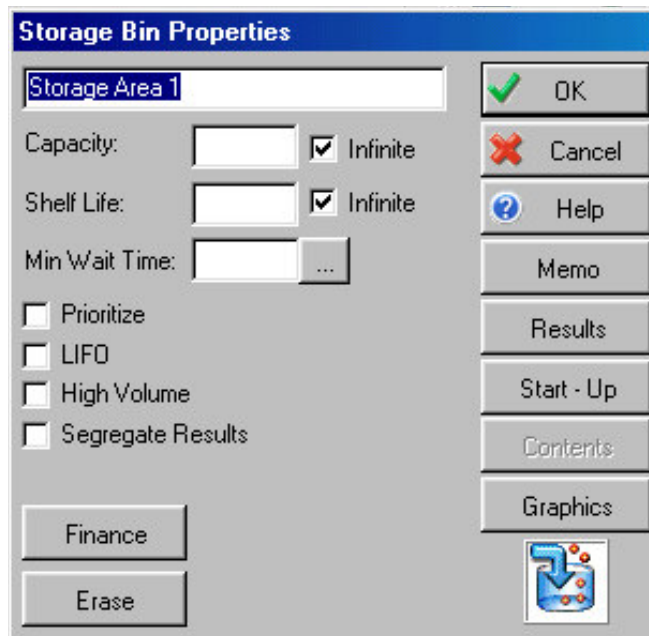


Figura 30: *Storage Bin Properties* (fonte: tela do *Simul8*)

Como se pode ver, é possível atribuir regras de seqüenciação (LIFO, por exemplo). Seu uso, no entanto, pode-se estender muito além de filas de espera: se desejamos, por exemplo, que um bolo permaneça n forno por meia hora, atribuímos esse valor no *Min Wait Time*. Os usos são inúmeros.

É importante notar que são elementos passivos: não executam tarefas, não mudam valores de variáveis nem de atributos (atributos são como variáveis mas, ao invés dessas, eles não são globais: estão associados a cada item de trabalho individualmente).

Work Centers

Esses itens realizam tarefas e são ativos. São eles que puxam os *work itens* das filas ou aceitam tarefas de outros *work centers*. Eles podem decidir o que fazer com um work item, mudar certos aspectos deles e decidir o que fazer depois que o mesmo é processado. Existem diversos aspectos relevantes e aqui serão sintetizados os básicos.

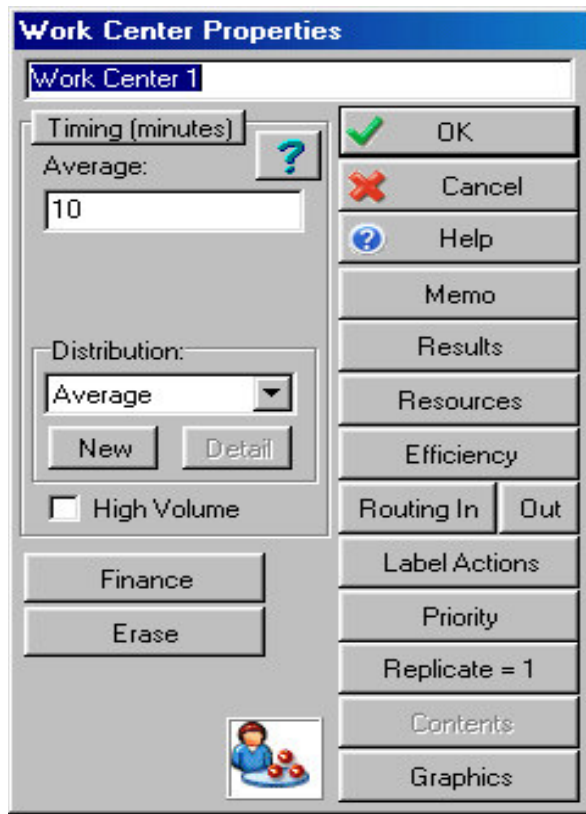


Figura 31: *Work Center Properties* (fonte: tela do Simul8)

É necessário atribuir um tempo de processamento para um *Work Center*.

É possível atribuir lógicas em diversos momentos de processamento: antes de recolher o item a ser processado, logo após carregar o trabalho, durante o processamento, após o processamento ou na saída do *Work Center*.

É possível, ainda, associar um *Resource* ao *Work Center* da qual falaremos a seguir. Se o *Work Center* é uma máquina, podemos atribuir a ela o MTBF (*Mean Time Between Failures*, isto é, tempo entre falhas) e o MTR (*Mean Time to Repair*, ou seja, o tempo médio para conserto).

Resources

Resource são recursos que são associados a *Work Centers*. Elas são pessoas, ferramentas etc que, juntamente com o *Work Center* são capazes de executarem tarefas. Podem ser pessoas cujo número queira-se determinar em um *Call Center* ou um caminhão de uma frota de empresa de logística, cujo tamanho deseja-se dimensionar.

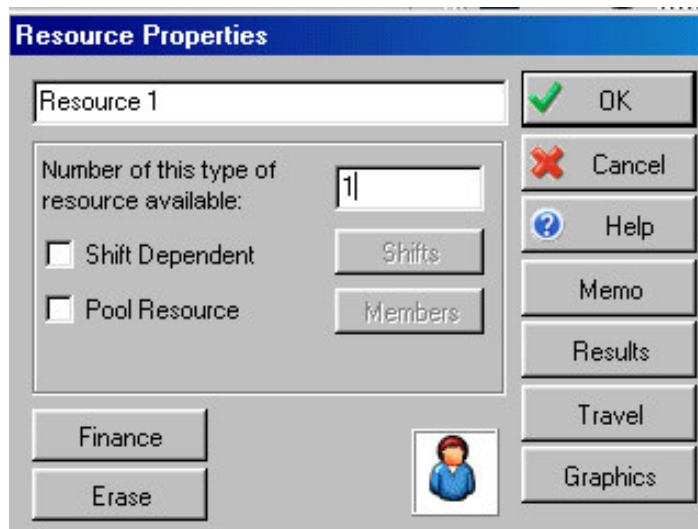


Figura 32: Resources Properties (fonte: tela do Simul8)

O propósito das *Resource* na simulação é, basicamente, impedir que o *Work Center* funcione em sua ausência: sem a presença de uma pessoa, um torno não pode funcionar, exemplificando.

Podem estar associados a ele turnos de trabalho e tempos de viagem entre as máquinas, entre outros.

Work Complete

São objetos passivos e correspondem a itens de trabalho que saem da simulação: pedidos que foram entregues e não mais influem na simulação, clientes deixando uma lanchonete, etc. Quando fazemos que um item saia da simulação através do *Work Complete*, permitimos que o software colha diversas estatísticas pertinentes.

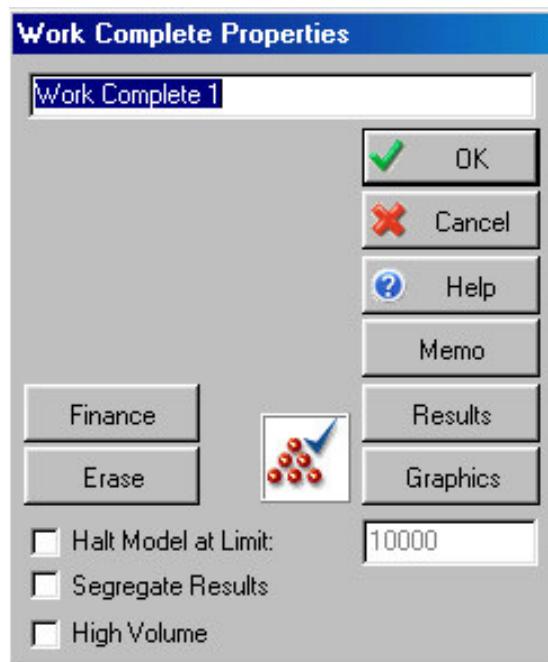


Figura 33: *Work Complete Properties* (fonte: tela do *Simul8*)

Visual Logic

O *Visual Logic* é uma linguagem de programação interna do *Simul8*. Quando desejamos inserir lógicas que são mais complexas e inviáveis de serem descritas através dos elementos mostrados até agora, usamos o *Visual Logic*.

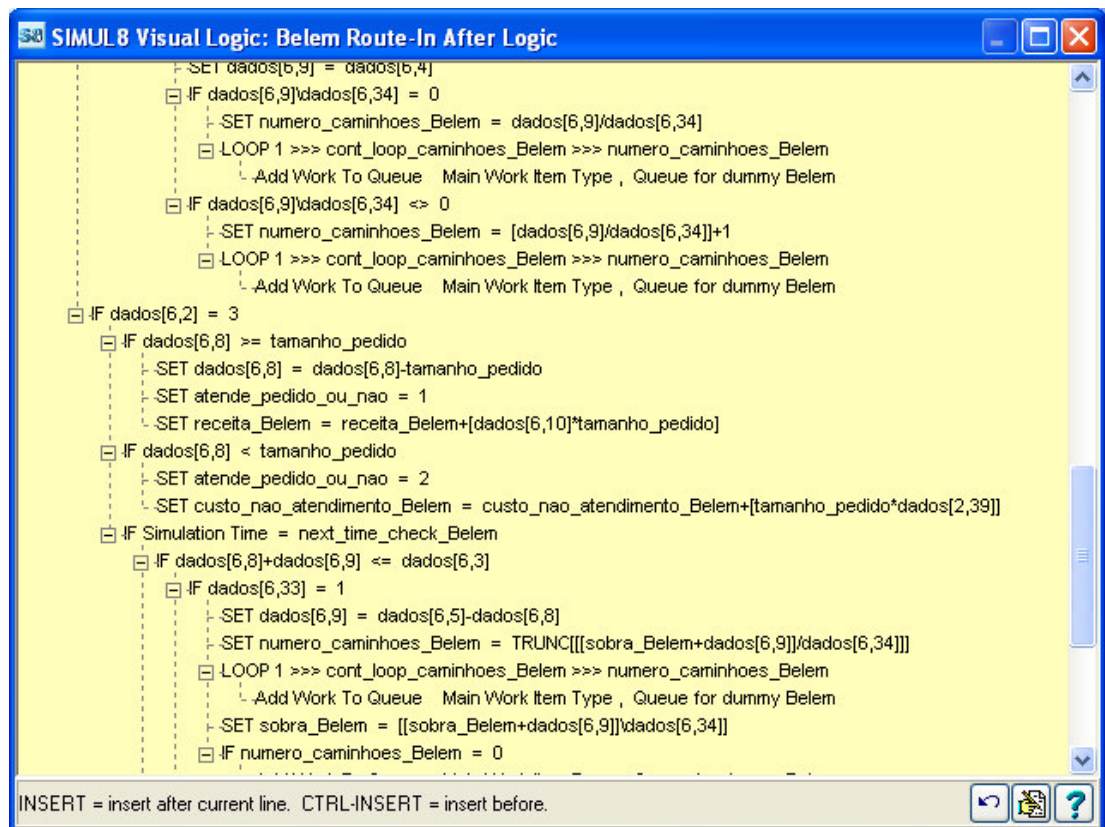


Figura 34: exemplo de tela do Visual Logic (fonte: tela do Simul8)

Sua utilização é bastante simples e ele assemelha-se ao *Visual Basic*. Como já mencionado, essas lógicas são inseridas pontualmente no modelo. Assim, temos momentos em que os blocos de *Visual Logic* podem ser executados. Somente elementos ativos podem chamar a execução de um *Visual Logic* (*Work Entry Points* ou *Work Centers*, por exemplo). Abaixo temos alguns exemplos:

- *Work Entry Point Visual Logic*: essa lógica é executada assim que um *work item* adentra o sistema. É utilizada, por exemplo, se desejamos valorar algum atributo do *work item*. Se, por exemplo, em um modelo o *work item* representa um pedido, podemos determinar o tamanho desse pedido através de um atributo assim que o *work item* entra.
- *Work Center Before Selecting*: essa lógica é executada antes de o *Work Center* determinar de onde ele vai puxar um *work item*. Se existem vários *Storage Bins* conectados a um *work center*, essa lógica pode ser usada para determinar de onde virá a matéria prima.

- *On Start Run Visual Logic*: executada assim que o modelo começar a rodar. Usada, por exemplo, se desejamos colher dados de entrada de uma planilha antes da simulação começar.

Manuais dos Modelos Apresentados

KID RAPIDINHO



MANUAL DE INSTRUÇÕES

***SIMULATE TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO
WWW.SIMULATE.COM.BR***

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. AGOSTO/2003.

Instalação

Você vai precisar basicamente de dois arquivos para instalar e rodar a Simulação Kid Rapidinho:

- Simul8 Viewer: Software de simulação que permite visualizar o modelo Kid Rapidinho (download em www.simul8.com/viewer/download.htm);
- O arquivo Kid Rapidinho.s8, que vem juntamente com esse manual.

Depois de ter obtido o Simul8 Viewer, instale-o. Você agora está pronto para abrir o modelo. Basta abrir o Simul8 viewer, clique em “file” no menu e, então, em “open”, digitando o nome do modelo: Kid Rapidinho.s8. Verifique se o caminho está correto.

Introdução

Em uma fábrica, sempre devemos fazer escolhas sobre a política de manutenção que iremos adotar: será que devemos fazer manutenções preventivas ou corretivas? Esta pergunta tem uma resposta quase que instintiva: preventiva, logicamente. Mas existem outros problemas em questão: podemos, por exemplo, utilizar uma peça que dure, em média, o dobro do tempo mas que custe mais ou uma mais barata que custe menos. Será que não vale a pena, já que iremos abrir a máquina (o que consome um tempo elevado), trocar outras peças que possam estar desgastadas e prestes a quebrar?

Podemos responder todas essas perguntas, para diversos casos, utilizando-nos da simulação.

Aqui iremos acompanhar Kid Rapidinho, um famoso corredor da categoria Stock Car. O objetivo de Kid é maximizar seu lucro com as corridas, efetuando a manutenção de seu carro de forma racional. Vejamos.

Kid Rapidinho e Seu Carro

Kid Rapidinho corre assiduamente na categoria Stock Car, isto é, todos os dias às 8h00. Seu carro possui um motor V4 monstruoso. No entanto, devido às regulagens utilizadas, sempre no extremo para ganhar potência, as válvulas de motor

quebram com uma frequência considerável. Assim, Kid concebeu quatro políticas de manutenção, a serem explicadas adiante.

Dados sobre o carro e a corrida

Temos que o tempo de cada corrida é de cerca de uma hora, podendo variar uniformemente em 10%, para mais ou para menos.

Temos a seguir uma tabela com os tempos de serviço para cada etapa da manutenção para a troca das válvulas:

Preparação do motor (remover velas e carburador)	0,8 hora
Remover cabeçote (cada lado)	0,5 hora
Trocar uma válvula	0,4 hora
Ajustar válvulas (cada lado)	0,3 hora
Recolocar cabeçote (cada lado)	0,6 hora
Colocar velas, carburador e afinar o motor	0,9 hora

As Políticas de Manutenção

Como já mencionado, Kid Rapidinho concebeu quatro políticas de manutenção possíveis.

Política 1

Na política 1, Rapidinho troca apenas a válvula que apresentar defeito, no momento em que esse ocorrer.

Política 2

Aqui Rapidinho troca as quatro válvulas (duas de admissão e duas de escapamento) do lado do motor que contém a válvula que apresentou defeito, já que de qualquer modo teremos o trabalho de abrir o cabeçote desse lado.

Política 3

Trocar todas as 8 válvulas do motor quando uma apresentar defeito.

Política 4

Nessa política trocam-se a válvula que apresenta defeito mais todas as que já tiverem ultrapassado um tempo pré-determinado por você.

Sabe-se que a maioria das peças possui um MTBF (mean time between failure, isto é, tempo médio entre quebras, definido como a média de tempo que uma máquina ou peça demora para apresentar falha) exponencial; aqui não será diferente.

Rapidinho tem a possibilidade de instalar dois tipos de válvulas distintas: a válvula “simples” possui uma vida média de 10 horas, exponencialmente distribuída. Já a válvula “super” possui a vida média de 25 horas, também conforme uma distribuição exponencial.

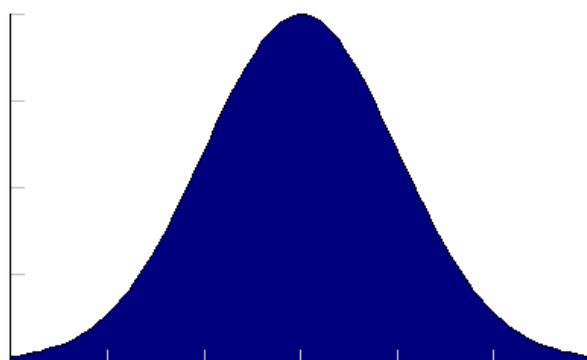
De acordo com esses valores você deve decidir, caso tenha escolhido a “política 4”, qual é o maior tempo que uma válvula ficará no motor antes da troca.

Outros Dados

Devemos, por fim, antes de rodar o modelo, determinar mais alguns valores financeiros, a fim de calcular o lucro (ou prejuízo) de Kid Rapidinho:

- Custo de mão-de-obra do mecânico por hora;
- Preço de cada válvula;
- Custo fixo por corrida (taxa de inscrição, por exemplo);
- Prêmio por corrida ganha por Kid Rapidinho;
- Taxa de ganho, isto é, qual é a percentagem das vezes que Kid Rapidinho ganha a corrida.

Visualisador do Teorema do Limite Central utilizando o Simul8



MANUAL DE INSTRUÇÕES

*SIMULATE TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO
WWW.SIMULATE.COM.BR*

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. FEVEREIRO/2003.

Introdução

Muitos estudantes, em seus estudos de estatística, não conseguem entender realmente e enxergar os efeitos do Teorema do Limite Central (TLC). Esse é um visualizador do TLC através do qual podemos realmente visualizar e entender o teorema.

Esse visualizador utiliza a tecnologia de simulação através do Software Simul8.

O Teorema do Limite Central

O teorema do limite central explica o porquê de muitas distribuições tenderem a ser semelhantes à distribuição normal. O ingrediente chave é o fato que a variável randômica que está sendo observada é a soma ou média de muitas variáveis randômicas independentes identicamente distribuídas.

O teorema nos diz que a distribuição de uma média tende a uma Normal, mesmo quando a distribuição da qual a média é originada é claramente uma distribuição Não-Normal [ver a demonstração em Chung (1974, p. 169)].

Assim, o Teorema do Limite Central é a base para muitos procedimentos estatísticos, incluindo tabelas de Controle de Qualidade, porque a distribuição de um fenômeno sob estudo não precisa ser uma Normal, já que a de sua média será.

Rodando o Modelo

É bastante simples rodar esse modelo. Tudo que você precisa fazer é abri-lo usando o Simul8 Viewer (vá em www.simul8.com/viewer para obter o software).

Quando abrir o modelo, você verá uma caixa de diálogo perguntando qual das quatro distribuições disponíveis você gostaria de misturar. Você pode utilizar qualquer combinação delas: basta “ticar” a caixa correspondente.

Depois você deverá determinar quantas replicações de cada distribuição você gostaria de fazer. O número de replicações é o número de vezes que o simulador vai retirar um número de cada distribuição para somar e determinar a média entre eles. Essa média é que possui a distribuição normal, de acordo com o teorema. Observe que quanto mais você aumentar o número de replicações, maior será a acuracidade, isto é, o desvio padrão diminuirá sensivelmente. É compreensível à medida que temos uma amostra maior para determinar a média.

Finalmente, você deverá determinar o número de amostras. É importante compreender que o número de replicações é quantos valores nós devemos somar para calcular a média e o número de amostras é quantas dessas médias nós teremos no histograma.

Agora estamos prontos para rodar o modelo! Divirta-se!

Referências

K.L. Chung, 1974, A course in Probability Theory, Academic Press, N

Sequeum



MANUAL DE INSTRUÇÕES

*SIMULATE TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO
WWW.SIMULATE.COM.BR*

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. SEPTEMBER/2003.

Instalação

Você vai precisar basicamente de dois arquivos para instalar e rodar a Simulação Sequeum:

- Simul8 Viewer: Software de simulação que permite visualizar o modelo Sequeum (download em www.simul8.com/viewer/download.htm);
- O arquivo Sequeum.s8, que vem juntamente com esse manual.

Depois de ter obtido o Simul8 Viewer, instale-o. Você agora está pronto para abrir o modelo. Basta abrir o Simul8 viewer, clique em “file” no menu e, então, em “open”, digitando o nome do modelo: Sequeum.s8. Verifique se o caminho está correto.

Introdução

Sequeum é uma fábrica que produz por encomenda. Ela recebe as ordens de produção de seus produtos com dia de entrega determinado pelo Departamento de Vendas, que lida diretamente com os clientes. O Departamento de PPCP calcula o tempo necessário para entrega do pedido e orienta o Departamento de Vendas.

A confirmação obtida através do Departamento de PPCP, no entanto, é tardia devido ao tempo necessário para reprogramar o sistema de produção e analisar essa nova programação. Sequeum precisa de um sistema capaz de, rapidamente, determinar esses prazos. A solução encontrada foi desenvolver um modelo de simulação para que a empresa seja capaz de informar rapidamente e com segurança a seus clientes o dia de entrega dos pedidos.

Dados para o Projeto

Existem cinco famílias de produtos e cinco roteamentos, um para cada família. Então nós podemos dizer, rapidamente, qual é o roteamento para cada pedido no momento em que é pedido.

Não há necessidade de trabalhar com calendários e turnos, visto que os centros de trabalho funcionam nos mesmos horários e turnos. A seguinte tabela nos mostra o roteamento para cada família de produtos e tempo de trabalho em cada centro:

FAMÍLIA	CENTRO DE TRABALHO				
	1	2	3	4	5
1	8	12	24		12
2	4	6	12		6
3	5	8		16	8
4	2	4		8	4
5	20				

Tabela 1: Roteamento e tempo de ciclo.

Podemos inferir que constantemente formar-se-ão filas nos centros de trabalho. E toda vez que isso ocorre devemos criar regras claras para definir a priorização dos trabalhos em fila. Devemos, por exemplo, processar antes o pedido que chegou antes ao centro ou o pedido que tem seu prazo de entrega mais “apertado”?

Justamente para responder essas perguntas temos a possibilidade, no modelo Sequeum, de seterminar a política de priorização a ser adotada em cada centro de trabalho. Essas são as seguintes:

1. FIFO – First In, First Out: nessa política, como o nome original em inglês nos diz, o primeiro produto a chegar no centro de trabalho será o primeiro a ser processado, isto é, os produtos serão processados na ordem em que chegam ao centro de trabalho.
2. LIFO – Last In, First Out: nessa política, o último pedido a chegar ao centro de trabalho será o primeiro a ser processado. Essa política pode parecer ilógica à primeira vista, mas ocorre com frequência devido às condições de armazenagem; muitas vezes os produtos são colocados em estantes profundas, uns na frente dos outros, de modo que o último pedido a chegar ficará na frente de todos, isto é, será inviável, por exemplo, retirar o produto do fundo (primeiro a chegar) sem retirar todos os outros antes.
3. MTPO – Menor Tempo de Processamento: aqui iremos priorizar os pedidos cujos tempos de processamento no Centro de Trabalho em questão forem menores.

4. MDEN – Mínima Data de Entrega: nesse caso ordenaremos os produtos de acordo com o prazo: os que tiverem prazos mais “apertados” serão priorizados.
5. ALEA – Aleatório: nessa política, que não é utilizada na prática, mas pode ser aplicada a título de experiência, os produtos são priorizados aleatoriamente.
6. FDIN – Folga Dinâmica: a folga dinâmica é definida como sendo a folga estática, a ser vista a seguir, descontada dos tempos de fila previstos; na tabela 2 temos a média desses tempos. Também é possível definir esse valor dinamicamente, o que não será feito aqui.
7. FEST – Folga Estática: a folga estática é a diferença entre o tempo que falta para se entregar o pedido descontado dos tempos de processamento necessários para o referido pedido.

Os seguintes tempos de fila são estimados:

Centro de Trabalho	1	2	3	4	5
Tempo de fila (hs)	10	16	15	10	0

Tabela 2: Tempos de fila estimados

A tabela a seguir nos mostra, por sua vez, dados de pedidos para montar e executar o modelo:

Pedido	Data de chegada	Família	Data de entrega
1	0	5	20
2	1	4	95
3	2	4	105
4	3	3	80
5	4	3	95
6	5	2	180
7	6	2	185
8	7	1	115
9	8	1	130
10	9	4	110
11	10	4	125
12	11	3	100
13	12	3	120
14	13	2	200
15	14	2	210
16	15	1	155
17	16	1	165

Tabela 3: dados de pedidos

É sabido, ainda, que a Companhia Sequeum paga US\$1,00 para cada hora de atraso (para cada ordem).

Você deve determinar, através do simulador, um modelo de programação para cada centro de trabalho, a taxa de utilização de cada centro, o horizonte total de programação para as ordens descritas acima, a taxa média de atraso dos pedidos e tudo mais que considere relevante para realizar uma análise gerencial do sistema. Você deve, ainda, escrever essa análise.

MODELO DE SIMULAÇÃO



SUPPLY CHAIN

SIMULATE TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO
WWW.SIMULATE.COM.BR

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. SEPTEMBER/2003.

Instalação

Você vai precisar basicamente de dois arquivos para instalar e rodar a Simulação de Supply Chain:

- Simul8 Viewer: Software de simulação que permite visualizar o modelo Sequeum (download em www.simul8.com/viewer/download.htm);
- O arquivo Supply Chain.s8, que vem juntamente com esse manual.

Depois de ter obtido o Simul8 Viewer, instale-o. Você agora está pronto para abrir o modelo. Basta abrir o Simul8 viewer, clique em “file” no menu e, então, em “open”, digitando o nome do modelo: Supply Chain.s8. Verifique se o caminho está correto.

Introdução

O Problema logístico de Supply Chain é um problema bastante comum entre os profissionais do ramo. Mas o que é Supply Chain?

Supply Chain é uma cadeia de empresas formadas por fornecedores, produtores e distribuidores de um bem ou serviço. Desse modo há um fluxo tangível (matéria-prima, por exemplo) ou intangível (informações) de insumos e produtos. O Supply Chain Management trata de como gerenciar esse fluxo para manter estoques baixos e, ainda sim, sempre ter disponíveis produtos para os clientes.

Nesse sentido é importante notar que é possível realizar previsões de consumo, mas nunca (ou muito raramente, no caso de ser uma empresa que trabalha sob regime de encomenda, por exemplo) temos uma certeza real da quantidade de calças que venderemos amanhã ou no próximo mês, por exemplo, ou seja, qual deverá ser o tamanho de nosso estoque.

Faz-se necessário lembrar que a todo estoque temos custos associados, sejam esses fixos (instalações, seguros, etc.) ou variáveis, como mão-de-obra caso essa não seja fixa ou custo de oportunidade. O custo de oportunidade representa quanto estamos “perdendo” ou deixando de ganhar por manter o capital imobilizado

em estoques: esse dinheiro poderia muito bem estar aplicado em um título qualquer e rendendo juros. Está justamente relacionado ao custo do dinheiro no tempo.

Outros problemas estão envolvidos em um problema logístico desse tipo. Um exemplo é o transporte propriamente dito: podemos utilizar diversos modais de transporte; se utilizarmos caminhões, por exemplo, podemos ou não aceitar cargas fracionadas (não encher o caminhão por inteiro).

E, desse modo, poderíamos estender os problemas infinitamente.

Nesse exemplo de simulação propomos um modelo que representa uma fábrica em Santo André que fornece um determinado produto a seus distribuidores que, por sua vez, distribuem-no localmente.

Por que utilizar a simulação nesse caso?

A simulação é bastante indicada para lidar com problemas como esse. Como se sabe, a simulação utiliza-se de numeros randômicos para gerar distribuições de probabilidade, que serão aplicadas ao modelo.

Uma demanda, por exemplo, segue uma determinada curva probabilística. A cada momento existe uma probabilidade de chegar mais um pedido, exemplificando. O tempo de transporte da fábrica para o distribuidor também varia: o caminhão pode quebrar, é possível que pegue trânsito ou não e assim por diante. A simulação consegue lidar com essas probabilidades.

Além disso, através da simulação é possível estruturarmos problemas muito complexos, como é o caso do problema de Supply Chain. Na verdade é possível construir pequenos módulos mais simples e depois agrupar em um problema como um todo, correlacionando as variáveis de modo que não conseguiríamos fazer mentalmente ou, caso fizéssemos com uma planilha, seria muito mais dispendioso (ver Chwif, kfawhr).

Entradas do Modelo

Nosso modelo é constituído de uma fábrica, localizada em Santo André, no Estado de São Paulo e de cinco CDs (Centros de Distribuição) – localizados em Belo

Horizonte, Curitiba, Cuiabá, Salvador e Belém –, cada qual responsável pela revenda local do produto em questão.

Devemos determinar alguns parâmetros referentes ao modelo, isto é, dados sobre os estoques locais, transporte, entre outros. Os referidos parâmetros serão inseridos em uma tabela bastante semelhante a uma planilha em Excel, que será automaticamente aberta no momento em que abrirmos o modelo no Simul8 Viewer.

Estoques nos CDs

Como mencionado, devemos determinar alguns parâmetros em relação aos CDs (individualmente, isto é, cada CD possui seus dados particulares) para poder “rodar” a simulação.

Primeiramente devemos escolher uma das três políticas de estoque disponíveis no modelo. São elas:

1. Ponto de reordem e tamanho de pedido fixos: nesse caso, quando o estoque local chegar a um determinado nível pré-fixado, será enviado um pedido à matriz para que essa remeta uma quantidade pré-determinada, sempre fixa, de produtos. Parte-se do princípio que a empresa possui um sistema capaz de informar automaticamente o exato momento em que o estoque chegou a um nível mínimo. Aqui devemos também apontar, obviamente, o tamanho desse estoque mínimo que aciona o pedido e o tamanho do referido pedido.
2. Ponto de reordem fixo e tamanho do pedido dependente da diferença entre o estoque máximo permitido e o estoque atual: muito semelhante à política anterior mas, aqui, não será pedida à matriz uma quantidade fixa do produto, mas sim a quantidade necessária para completar um estoque máximo. Essa política funciona dessa maneira para evitar problemas quando, por exemplo, um cliente qualquer faz um pedido maior do que o usual. Na política anterior, mesmo após a chegada do pedido, é possível que o estoque fique deveras baixo. Aqui não, dado que o tamanho do pedido não será fixo, mas variável conforme as últimas vendas e o estoque máximo permitido. Devemos determinar aqui o tamanho do estoque mínimo, que aciona o pedido, e o tamanho do estoque máximo permitido.

3. Review Period: essa expressão significa, em inglês, “período de revisão”. Esse caso é semelhante à primeira política, com exceção ao fato de que aqui não há um sistema capaz de nos indicar imediatamente quando o estoque ultrapassa um nível inferior a um pré-determinado. Fazem-se, nesse caso, revisões periódicas de estoque a fim de manter seu controle. Obviamente é necessário indicar, além do estoque mínimo e tamanho do pedido, tal qual ocorre na primeira política, o intervalo de tempo entre as revisões (review period).

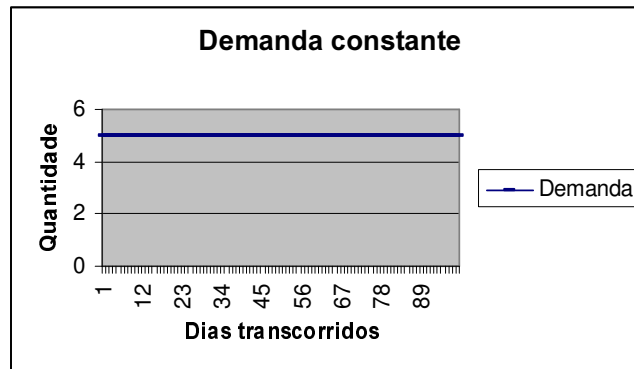
Devemos indicar também, em relação aos CDs, qual o nível de estoque inicial, isto é, quando a simulação começa a “rodar”, e os preços de venda em cada local. Esses preços de venda serão utilizados para realizar a medida de desempenho do sistema, que é, como em todo sistema produtivo, o lucro aferido pela empresa. Temos duas linhas em cor cinza (“On hand” e “On order”) que são parâmetros internos do sistema e não devem ser alteradas.

Um pouco abaixo do grupo de células referentes aos CDs temos que indicar o tempo de simulação desejado, isto é, quanto tempo o modelo funcionará para colher os resultados.

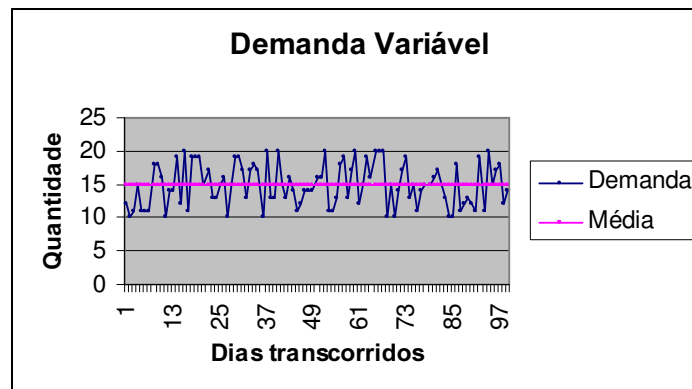
Demanda nos CDs

Ainda em relação aos CDs, devemos determinar o modelo de demanda que será aplicado em cada CD, individualmente. Temos, na simulação, quatro modelos de demanda aplicáveis.

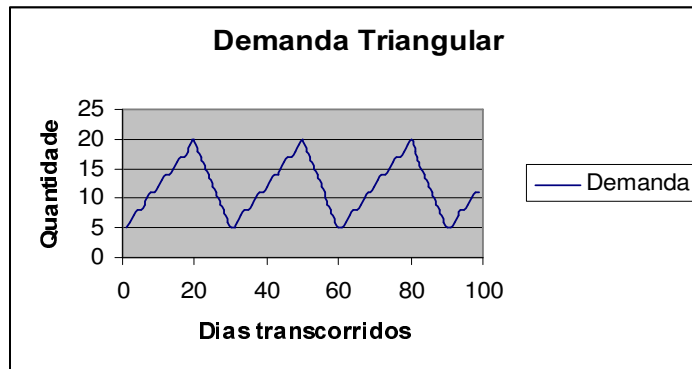
1. Demanda constante: nesse modelo a demanda se mantém constante ao longo do mês. Só será necessário indicar o “Parâmetro 1”, representando qual será a demanda diária no CD em questão. Abaixo temos um gráfico da demanda diária ao longo do tempo para compreendermos melhor.



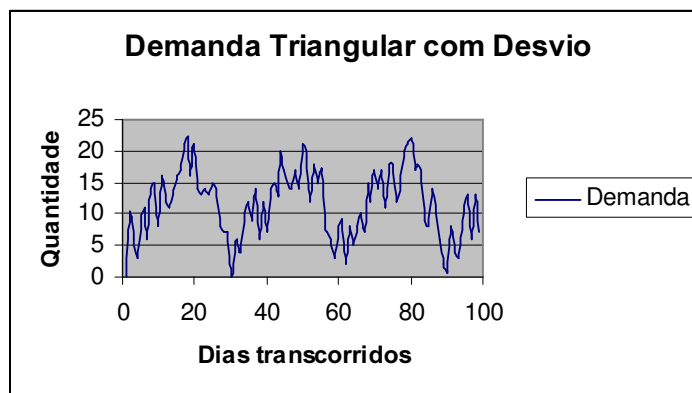
2. Demanda variável: aqui a demanda variará uniformemente ao redor de uma média. Nesse caso o “Parâmetro 1” será o valor mínimo dessa distribuição e o “Parâmetro 2” o máximo; a média em torno da qual o valor da demanda oscilará será, portanto, a média entre esses dois valores. Os valores escolhidos no caso abaixo, por exemplo, são 10 (“parâmetro 1”) e 20 (“Parâmetro 2”).



3. Demanda Triangular: aqui triangular não se refere ao tipo de distribuição propriamente dito, mas é um termo para indicar uma demanda que possui um mínimo no mês e vai crescendo uniformemente até alcançar um dia de pico. Nesse caso o “Parâmetro 1” indica o mínimo, “Parâmetro 2” indica a demanda máxima no dia de pico ao longo do mês, que é o “Parâmetro 3”. Esse último pode, portanto, variar de 1 a 30. Vejamos seu comportamento com “Parâmetro 1” igual a 5, “Parâmetro 2” igual a 20 e dia de pico (“Parâmetro 3”) igual a 20.



4. Demanda Triangular com Desvio: essa é o modelo de demanda mais realista da simulação. Aqui, tal qual o modelo triangular simples, temos um mínimo ("Parâmetro 1") e um máximo ("Parâmetro 2"), que é alcançado no dia de pico ("Parâmetro 3"), mas também um desvio, uma variabilidade aleatória em torno da curva descrita no modelo de demanda anterior. Vejamos um exemplo com os mesmos valores da demanda anterior, mas agora com a variabilidade de 5 ("Parâmetro 4").



Transportes

Temos agora a necessidade de inserção de alguns parâmetros em relação ao transporte. Podemos aqui também particularizar conforme o CD em questão, isto é, podemos ter, por exemplo, um tamanho de pedido para abastecer Salvador maior do que o tamanho de Belém.

A primeira escolha a ser feita se refere ao tipo de distribuição a ser aplicada ao tempo de transporte. O tempo de transporte pode ser constante (invariável, demorará sempre o mesmo intervalo de tempo para ir de Santo André a Curitiba,

exemplificando) ou conforme uma distribuição triangular propriamente dita, isto é, com um valor mínimo (“Parâmetro 1”), uma moda (“Parâmetro 2”) e um máximo (“Parâmetro 3”). É importante notar que, assim como todos os valores de tempo da simulação, temos esses dados em “dias”.

Podemos assinalar, ainda, como já mencionado, se aceitamos ou não cargas fracionadas. Escolheremos 1 se só aceitarmos cargas inteiras (o caminhão deve ser totalmente carregado para partir em direção ao CD) ou 2 se aceitarmos encher o caminhão pela metade. Obviamente a primeira opção tende a ser mais rentável, mas isso depende também de outros parâmetros de transporte: pode ser, por exemplo, que o custo de manter o estoque que teremos a mais no CD (para encher inteiramente o caminhão) ultrapasse o custo de enviar um caminhão com carga fracionada.

Devemos ainda determinar a capacidade do caminhão, em quantidade de produtos, o tamanho da frota e o valor financeiro do caminhão. Mais uma vez, esse último valor nos serve para determinar o custo de oportunidade.

Custos

Além dos dados financeiros anteriormente mencionados (preço de venda do produto em cada CD e valor dos caminhões), temos mais alguns custos, a saber:

- Custo por quilômetro rodado: se refere, obviamente, ao custo variável em relação à distância percorrida pelo caminhão.
- Custo por não atendimento: aplica-se aqui um custo pelo não atendimento devido à falta de produtos em estoque nos CDs. Isso porque temos uma perda do lucro em relação àquele pedido e um custo de perda do cliente e propaganda negativa que será realizada a outras pessoas que são clientes potenciais.
- Custo de produção: é o quanto gastamos, por unidade, para produzir nosso produto.
- Custo de oportunidade: como já explicado, devemos aplicar um custo de oportunidade ao capital imobilizado em estoques e ao capital imobilizado em caminhões. Sabemos que esse capital poderia, caso desimpedido, estar rendendo juros em um fundo qualquer.

Taxa de Fabricação

Temos, para finalizar os dados de entrada, uma taxa de fabricação que se refere à fábrica em Santo André. Ela está indicada em produtos fabricados por dia para abastecer todo o consumo nacional.

Objetivos e Saídas do Modelo

Na tela em que corre a simulação temos alguns parâmetros indicativos do desempenho do sistema. Obviamente, o mais importante ao final das contas é o lucro líquido que, como supracitado, é na maioria das vezes o indicador mais relevante em um sistema produtivo.

Devemos, portanto, gerenciar todos os dados de entrada, que são dados possíveis de serem controlados no dia a dia do gerente de supply chain ou, ao menos, planejados.

Devemos balancear, por exemplo, os estoques nos CDs com a demanda e a taxa de fabricação na matriz, sem perder pedidos ou, pelo menos, minimizando essa perda ao máximo. Talvez compense, exemplificando, perder alguns poucos clientes (e aqui vale enfatizar esse “poucos”) em prol de não manter os estoques em níveis absurdamente elevados.

Podemos ainda utilizar o modelo para dimensionar a frota adequada de caminhões em nosso sistema.

E, desse modo, podemos visualizar com acurada precisão a dinâmica de uma Supply Chain ou Cadeia de Suprimentos.

Esperamos que esse modelo lhes seja útil e que desperte a admiração de sistemas produtivos e logísticos.

Atenciosamente,

Equipe de Desenvolvimento Simulate.

MODELO DE SIMULAÇÃO

A large, bold, blue graphic of the number 6 followed by the Greek letter sigma (σ), representing Six Sigma.

SEIS SIGMA

SIMULATE TECNOLOGIA DE SIMULAÇÃO
WWW.SIMULATE.COM.BR

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. SEPTEMBER/2003.

Instalação

Você vai precisar basicamente de dois arquivos para instalar e rodar a Simulação de Seis Sigma:

- Simul8 Viewer: Software de simulação que permite visualizar o modelo Seis Sigma (download em www.simul8.com/viewer/download.htm);
- O arquivo Seis Sigma.s8, que vem juntamente com esse manual.

Depois de ter obtido o Simul8 Viewer, instale-o. Você agora está pronto para abrir o modelo. Basta abrir o Simul8 viewer, clique em “file” no menu e, então, em “open”, digitando o nome do modelo: Seis Sigma.s8. Verifique se o caminho está correto.

Introdução

Seis Sigma é uma metodologia que, através da melhoria de processos de uma empresa, visa ganhos na produtividade e melhoria na qualidade com conseqüente redução nos custos e aumento nos lucros. Uma de suas principais armas é a redução de retrabalho e gastos com qualidade.

Para tal, o Seis Sigma se vale de diversas ferramentas, tais como CEP (Controle Estatístico de Processos), produção enxuta, gerenciamento de processos, simulação, entre outros.

A metodologia se baseia em cinco etapas básicas:

1. Definição: determinar os projetos seis sigma que serão realizados na empresa;
2. Medição: mapear os processos que tenham impacto direto na característica crítica de qualidade do cliente;
3. Análise: determinar as variáveis que são fontes de variação do processo. Aqui se adota o amplo uso de ferramentas estatísticas;
4. Melhoria: eliminar ou reduzir as fontes de variações dos processos da empresa e aumentar sua capacidade;

5. Controle: monitoramento do processo a fim de garantir que os ganhos com o seis sigma se perpetuem.

Como se falou anteriormente, umas das ferramentas de uso na metodologia Seis Sigma é a Simulação de Processos. Esse Modelo didático de simulação é justamente um exemplo de uso dessa ferramenta em um projeto Seis Sigma.

O Processo

O que temos nesse modelo é o processo de produção de programas computacionais em uma fábrica de softwares.

Uma fábrica de softwares é uma empresa que, utilizando-se da metodologia de produção industrial, monta softwares customizados para seus clientes. Um exemplo da adoção de metodologia industrial de produção é a utilização de rotinas pré-preparadas, módulos para a fabricação.

Em nosso caso temos alguns consultores que vão às empresas clientes, levantam suas necessidades e delineiam o software necessário àquele caso. Temos três tipos de consultores: senior, pleno e junior, cada qual demorando em certo tempo para levantar os dados enecessidades (o senior é o mais eficiente e o junior o mais inexperiente).

Após essa etapa temos a fase de programação propriamente dita. Temos separação dos programadores em equipes, de acordo com o tipo de programação: BD (banco de dados), Interface e Linguagem de Programação (programam em C++). Para cada uma das três equipes também temos a separação entre profissionais seniors, plenos e juniors.

Os softwares são testados no setor de qualidade após estarem prontos. Existe uma certa probabilidade de o programa precisar sofrer retrabalho. Essa chance deve ser tanto menor quanto maior for o número de vezes que já sofreu retrabalho. As probabilidades são definidas pelo usuário. Assim podemos aferir, através da Simulação, quais os ganhos em produtividade quando temos uma redução da necessidade de retrabalho graças à adoção da metodologia Seis Sigma.

Quando abrimos o modelo de simulação temos instruções e alguns dados a serem preenchidos. Abrir-se-á uma planilha com os projetos a serem realizados e

dados do sistema: os tempos de especificação e programação e a quantidade de recursos disponíveis (isto é, programadores, consultores e funcionários de qualidade).

Seguindo as instruções das caixas de diálogo que se abrem automaticamente ao início da simulação, faremos com que o modelo de simulação comece a rodar.

Resultados

Agora, finalmente, podemos colher os resultados da simulação. Temos a todo instante na tela da simulação um gráfico que indica a quantidade de projetos presentes no sistema. Além disso, à direita desse gráfico temos três ícones que abrem outros gráficos pertinentes à simulação: utilização dos consultores, programadores e funcionários de qualidade ao longo do tempo. Através deles podemos determinar, por exemplo, se vale a pena contratar mais funcionários ou treinar um programador pleno para esse se tornar senior (obtendo assim um aumento da eficiência).

Além dos supracitados gráficos temos, à direita na tela de simulação, alguns índices de desempenho do sistema: número de atrasos, dias de atraso (soma do número total de dias de atraso na entrega dos projetos), atraso médio e máximo, número de não atrasos, dias de adiantamento (soma do número total de dias de adiantamento na entrega dos projetos), atraso médio e máximo na entrega dos projetos.

Com esses resultados é possível controlar o sistema e otimizá-lo.

Lista de Referências

- BALCI, O. – **Validation, Verification and Testing Techniques Throughout the Life Cycle of a Simulation Study** In *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*, 215 –220, 1994.
- CARRIE, A.S., **Simulation of Manufacturing Systems**, East Kilbride: John Wiley and Sons, 1988.
- CHISMAN, J.A - **Industrial Cases in Simulation Modeling**, Duxbury Press, 1996.
- CHUNG, K.L. 1974, **A course in Probability Theory**, Academic Press, New York.
- FELDER, R.M. 1993. **Reaching the Second Tier: Learning and Teaching Styles in College Science Education**, In *J Coll. Sci. Teaching*, 23(5), pp. 286-290, 1993
- FERREIRA, A.B.H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**, 3 ed. – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999
- FIGUEIREDO, R. S. et al. **A Introdução da Simulação como Ferramenta de Ensino e Aprendizagem**, In *Enegep (Encontro Nacional de Engenharia de Produção)*, Salvador, Bahia, 2001.
- GALVÃO, J. R. et. Al, **Modeling Reality with Simulation Games for Cooperative Learning**, In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 1692 – 1698, Ed. J.A Joines,, R.R Barton, K. Kang and P.A Fishwick, 2000.
- HARB, J.N., DURRANT S.O., TERRY, R.E. **Use of the Kolb Learning Cycle and the 4MAT System in Engineering Education**. In *J Engr. Education*, 84(2), pp. 70-77, 1993.
- LUMSDAINE, M., LUMSDAINE, E., **Thinking Preferences of Engineering Students: Implications for Curriculum Restructuring**. In *J. Engr. Education*, 84(2), pp. 193-204, 1995.
- MARCOS. A. **Modelling Cooperative Multimedia Support Software Development and Stand-Alone Environment**, Phd. Thesis, Darmstat Tech University, 1997.
- MCCAULLEY, M.H. **The MBTI and Individual Pathways in Engineering Design**. In *J Engr. Education*, 80, p. 537-542, 1990
- RIIS, J., HOHANSEN J. AND H. MIKKELSEN. **Simulation Games and Learning in Production Management: an Introduction**, University of Aalborg, Denmark, Chapman & Hall, England, 1995.

- RODRIGO, M. J. **Domínios do Conhecimento da Prática Educativa**, vol 2, Ed. Ática, São Paulo, 1998.
- SANTORO, M. C. **Estudo de Caso Sequeum**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- SARGENT, R. G., **Verification, Validation and Accreditation of Simulation Models**, In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Ed. J.A Joines,, R.R Barton, K. Kang and P.A Fishwick, 2000.
- SAVAGE, S.L. **Decision Making With Insight** – 2nd edition. Wadsworth Publishing, 2003
- SENGE, P. M. **The Fifth Discipline**, New York: Doubleday Currency, 1990
- WIENDAL, H., SCHOLTISSEK, P. E FASTABEND, H., **Simulation Based Training System for Job Control**. Institute for Production Systems, Univ. Hannover, Germany, 1995