

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

WANDER FONSECA DA SILVA

**CONTRIBUIÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MONTE
CARLO NA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS PARA
GESTÃO DE CUSTOS NA ÁREA DE
LATICÍNIOS**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

Orientador: Prof. Edson de Oliveira Pamplona, Dr.

Co-orientador: Prof. Pedro Paulo Balestrassi, Dr.

Itajubá, Dezembro de 2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

WANDER FONSECA DA SILVA

**CONTRIBUIÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MONTE
CARLO NA PROJEÇÃO DE CENÁRIOS PARA
GESTÃO DE CUSTOS NA ÁREA DE
LATICÍNIOS**

Banca Examinadora:

Prof. Edson de Oliveira Pamplona, Dr.

Prof. Pedro Paulo Balestrassi, Dr.

Prof. Fábio Roberto Fowler, Dr.

Prof. José Luiz Contador, Dr.

Itajubá, Dezembro de 2004

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Jacqueline Rodrigues de Oliveira Balducci – CRB_6/1698

S586c

Silva, Wander Fonseca da.

Contribuição da Simulação de Monte Carlo na projeção de cenários para gestão de custos na área de laticínios / por Wander Fonseca da Silva -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2004.

137 p. : il.

Orientador : Prof. Dr. Edson de Oliveira Pamplona

Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Paulo Balestrassi

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá –
Departamento de Engenharia de Produção .

1. Simulação de Monte Carlo. 2. Cenários de custos. 3. Laticínios.
I. Pamplona, Edson de Oliveira, orient. II. Balestrassi, Pedro Paulo,
co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá . IV. Título.

CDU 657.47:519.245 (043)

*Dedico este trabalho
Aos meus amados pais Altivo e Geraldina*

*À minha esposa Luciene e aos meus queridos
filhos Arianna e Wander Jr.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença em minha vida, permitindo-me sonhos como a conclusão deste trabalho.

Ao meu professor e orientador, Dr. Edson de Oliveira Pamplona, que, possuidor de grande sabedoria, é capaz de tornar simples seus ensinamentos através de sua cotidiana paciência, perspicácia e compreensão.

Ao professor e co-orientador, Dr. Pedro Paulo Balestrassi, que, com sua natural descontração, é exímio no ensino da ciência da estatística, ponto fundamental para o desenvolvimento de pesquisadores.

Ao amigo de sempre, Vicente Camiloti por me incentivar neste trabalho desde a idéia inicial de frequentar o curso até o momento certo quando abriu as portas de sua empresa para que a pesquisa pudesse ser desenvolvida.

Ao mestre e doutorando Anderson Paulo de Paiva, pela grande orientação e apoio.

Aos professores da banca examinadora pela dedicação e interesse em avaliar o conteúdo do texto e oferecer suas valiosas contribuições.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá, por me proporcionarem esta oportunidade de aprendizado e por sempre estarem disponíveis para orientações.

A todos os colegas do programa de mestrado, pela convivência e pela troca de experiências, ponto importante para evolução deste trabalho.

A minha família por sempre me apoiar, principalmente nos momentos difíceis que com certeza passei ao longo deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| Dedicatória | iii |
| Agradecimentos | iv |
| Sumário | v |
| Resumo | viii |
| Abstract | ix |
| Lista de Figuras | x |
| Lista de Tabelas | xi |
| Lista de Quadros | xii |
| Lista de Gráficos | xiii |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Justificativa do tema | 1 |
| 1.2 Objetivos | 3 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 3 |
| 1.2.2 Questões a serem respondidas | 4 |
| 1.3 Limitações | 4 |
| 1.4 Metodologia do trabalho | 5 |
| 1.5 Estrutura do trabalho | 6 |
| | |
| 2. SISTEMA TRADICIONAL DE CUSTOS E SUAS INCERTEZAS | 8 |
| 2.1 Considerações iniciais | 8 |
| 2.2 Sistemas de Custeio | 8 |
| 2.3 O Sistema Tradicional de Custos | 9 |
| 2.3.1 Conceitos básicos | 11 |
| 2.4 Incertezas do Sistema Tradicional de Custos | 14 |
| 2.4.1 O ambiente de Incertezas | 14 |
| 2.5 Variações dos Custos Industriais | 16 |
| 2.5.1 Custo Real | 16 |
| 2.5.2 Custo-Padrão | 16 |
| 2.5.3 Estabelecimento do Custo-Padrão | 18 |
| 2.5.4 Padrões de Custo do Material | 19 |
| 2.5.5 Padrões de Custo da Mão-de-Obra | 24 |
| 2.5.6 Padrões dos Custos Indiretos de Fabricação | 29 |
| 2.6 Considerações Finais | 33 |
| | |
| 3. SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO | 35 |
| 3.1 Considerações Iniciais | 35 |
| 3.2 Metodologia da Simulação | 35 |
| 3.2.1 Uso da Simulação | 35 |
| 3.2.2 Vantagens e desvantagens da simulação | 37 |
| 3.2.3 O modelo de simulação | 37 |
| 3.2.4 Passos da simulação | 39 |
| a) Formulação do Problema e Planejamento do Estudo | 39 |
| b) Coleta de Dados e Definição do Modelo | 40 |
| c) Validação do Modelo Conceitual | 42 |
| d) Construção do Programa Computacional e Verificação | 42 |
| e) Realização de Execuções Piloto | 43 |

| | |
|---|-----|
| f) Validação do Modelo Programado | 43 |
| g) Experimentação | 44 |
| h) Realização das Execuções de Simulação | 45 |
| i) Análise dos Resultados | 45 |
| j) Documentação e Implementação | 46 |
| 3.3 Números Aleatórios | 47 |
| 3.4 Simulação de Monte Carlo | 50 |
| 3.4.1 Passos para a simulação de Monte Carlo | 56 |
| 3.4.2 Utilização da simulação de Monte Carlo na Área Financeira | 59 |
| 3.4.3 Contribuição da Simulação de Monte Carlo para a gestão de custos | 64 |
| 4. DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO | 67 |
| 4.1 Identificação do Problema | 67 |
| 4.1.1 Sistema de Compra de Leite no Brasil | 69 |
| 4.1.2 Rendimento das Indústrias de Queijos | 71 |
| 4.1.3 Controle dos Custos nas Indústrias de Laticínios | 74 |
| 4.2 Apresentação da Empresa | 77 |
| 4.2.1 Objetivo do Estudo da Simulação | 79 |
| 4.2.2 Questões a Serem Respondidas | 80 |
| 4.2.3 Configurações do Sistema a ser Modelado | 80 |
| 4.2.4 Avaliadores de Desempenho | 81 |
| 4.2.5 Recursos Computacionais Utilizados | 81 |
| 4.2.6 Estrutura de Tempo para o Estudo | 82 |
| 4.3 Coleta de Dados e Definição do Modelo | 82 |
| 4.3.1 Fluxograma de Fabricação de Queijo Minas Padrão | 82 |
| 4.3.2 Estrutura de Custos | 83 |
| a) Fórmula do Cálculo de Custo | 84 |
| b) Custo-Padrão | 85 |
| 4.4 Validação do Modelo Conceitual | 86 |
| 4.5 Construção do Modelo de Simulação | 87 |
| 4.5.1 Programação do Modelo em Excel | 87 |
| 4.5.2 Verificação do Programa de Simulação Computacional | 95 |
| 4.6 Realização de Execução Piloto | 97 |
| 4.7 Validação do Modelo Programado | 97 |
| 4.7.1 Coleta de Informações e Dados de Alta Qualidade do Sistema | 98 |
| 4.7.2 Validação da Saída do Modelo de Simulação | 98 |
| 4.8 Experimentação | 103 |
| 4.9 Execuções das Simulações | 105 |
| 4.10 Análise dos Resultados | 105 |
| 4.11 Documentação e Implementação | 107 |
| 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES | 108 |
| 5.1 Conclusões | 108 |
| 5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros | 110 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 112 |
| ANEXO A – Valores de custo – Queijo Minas Padrão – Laticínios Condessa | 117 |

| | |
|---|------------|
| ANEXO B – Distribuição de frequência dos parâmetros de custo do Queijo Minas Padrão | 118 |
| ANEXO C – Probabilidade do custo ser maior que R\$ 4.721,00 | 119 |
| ANEXO D – Crystal Ball x Excel: 1000 SMC | 121 |
| ANEXO E – Custo médio 1000 SMC Crystal Ball – Dados Especialista | 123 |
| ANEXO F – Valores custo médio para diferentes simulações Excel – Planilha Especialista | 124 |

RESUMO

A abertura econômica dos anos 90 desafia as empresas com relação à sobrevivência, pois a globalização intensificou enormemente a concorrência. Para que as empresas possam se manter no mercado, torna-se indispensável uma gestão eficiente dos seus custos. No entanto, a maioria das decisões que são tomadas e que se baseiam em custos não contempla as suas possíveis variações, o que compromete a sua qualidade. Nesta condição de mudanças, este trabalho teve por objetivo verificar se a Simulação de Monte Carlo poderia contribuir para o processo de decisão através da utilização de cenários possíveis dos custos. Considerando a metodologia científica da Simulação, e utilizando a Simulação de Monte Carlo com a criação de cenários dos custos em uma empresa de laticínios do Estado de Minas Gerais, foi possível verificar sua contribuição para as decisões, processo validado de acordo com os resultados encontrados e pelos especialistas da empresa.

ABSTRACT

The 1990s economics opening challenge the enterprises how to survive, the globalization aggravated greatly the competition for the enterprises do keep in the market, it becomes extremely important an efficient administration of the costs not considering its possible variations, what compromises its quality.

In this condition of changes, this work has the aim verify if the Monte Carlo's Simulation could contribute to the decision process through the use of possible costs setting. Considering the scientific methodology of the simulation, and using the Monte Carlo's Simulation with the creation of the costs setting in a dairy enterprise of Minas Gerais State, it was possible see its contribution to the decisions, a valid process according to the results met by the enterprise's specialists.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Figura 1.1 | – Vantagem competitiva | 2 |
| Figura 1.2 | – Passos simulação | 6 |
| Figura 2.1 | – Demonstração do Resultado do Exercício no Custeio por Absorção | 11 |
| Figura 2.2 | – Esquema básico de custos | 12 |
| Figura 2.2a | – Esquema básico de custos por departamentalização | 14 |
| Figura 2.3a | – Gráfico Variação de materiais diretos | 23 |
| Figura 2.3b | – Gráfico Variação de mão-de-obra | 28 |
| Figura 2.4 | – Esquema básico das variações dos custos indiretos de fabricação | 32 |
| Figura 3.1 | – Evolução das ferramentas de simulação computacional | 36 |
| Figura 3.2 | – Processo simples de modelagem | 38 |
| Figura 3.3 | – Distribuição probabilidade <i>Latin Hypercube</i> | 50 |
| Figura 3.4 | – Peneira com abertura w | 52 |
| Figura 3.5 | – Método de Monte Carlo | 54 |
| Figura 3.6 | – Distribuição de demanda | 57 |
| Figura 3.7 | – Distribuição acumulada de demanda | 58 |
| Figura 3.8 | – Plano de simulação de investimentos | 62 |
| Figura 4.1 | – Características do controle dos custos industriais | 74 |
| Figura 4.2 | – Empresa Leitaria de Minas – Tanque de fermentação e coagulação | 78 |
| Figura 4.3 | – Empresa Leitaria de Minas – Drenoprensa e prensa | 78 |
| Figura 4.4 | – Empresa Leitaria de Minas – Linha automática de processamento | 79 |
| Figura 4.5 | – Empresa Leitaria de Minas – Queijo minas padrão | 79 |
| Figura 4.6 | – Medidas de Desempenho Utilizadas | 81 |
| Figura 4.7 | – Empresa Leitaria de Minas – Fluxograma de fabricação Queijo Minas Padrão | 83 |
| Figura 4.8 | – Menu de comando planilha S. Monte Carlo dados históricos | 93 |
| Figura 4.9 | – Menu de comando planilha S.Monte Carlo dados Especialistas | 93 |
| Figura 4.10 | – Tabela de dados históricos | 94 |
| Figura 4.11 | – Resultados 10.000 simulações dados históricos Queijo Minas Padrão | 95 |
| Figura 4.11a | – <i>Best Fitting</i> 1000 SMC Crystal Ball dados históricos | 96 |
| Figura 4.11b | – <i>Best Fitting</i> 1000 Simulações <i>LH</i> Crystal Ball dados históricos | 97 |
| Figura 4.12 | – Dados dos especialistas para validação planilha SMC Especialista | 101 |
| Figura 4.13 | – Planilha Especialistas 1000 SMC | 102 |
| Figura 4.14 | – Resultados simulação planilha com dados Especialistas | 102 |
| Figura 4.15 | – Gráfico Boxplot ANOVA diferentes planilhas Excel Especialistas | 104 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.1 – Ficha de Custo-Padrão | 20 |
| Tabela 2.2 – Orçamento flexível | 30 |
| Tabela 3.1 – Números aleatórios | 48 |
| Tabela 3.2 – Coeficientes de confiança para distribuição normal | 56 |
| Tabela 3.3 – Intervalos de classes | 58 |
| Tabela 3.4 – Números aleatórios | 59 |
| Tabela 3.5 – Números esperados para vários níveis de demanda em 10.000 tentativas | 59 |
| Tabela 3.6 – Intervalo de confiança dos resultados gerados | 60 |
| Tabela 4.1 – Parâmetros estudados no modelo | 80 |
| Tabela 4.2 – Estrutura de custos Queijo Minas Padrão | 84 |
| Tabela 4.3a – Valor Custo-padrão Queijo Minas Padrão | 85 |
| Tabela 4.3b – Resumo 1000 valores simulados custo Queijo Minas Padrão | 90 |
| Tabela 4.4 – Teste Anderson Darling SMC Excel 1000 simulações | 96 |
| Tabela 4.5 – Teste Hipóteses SMC CB e Excel 1000 simulações dados Históricos | 99 |
| Tabela 4.6 – Teste Hipóteses SMC CB e Excel 1000 simulações dados Especialistas | 100 |
| Tabela 4.7 – Teste ANOVA SMC CBall, SMC Excel e LH | 103 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 4.1 – Métodos adotados para controle dos custos na indústria laticinista brasileira | 76 |
| Quadro 4.2 – Distribuição da frequência do preço do leite | 89 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 4.1 – Setores da indústria de alimentos | 68 |
| Gráfico 4.2 – Produção de Láceos Estabelecimentos com SIF - Brasil | 69 |
| Gráfico 4.3 - Leite industrializado em Minas Gerais | 70 |
| Gráfico 4.4 – Preços de leite ao produtor – Minas Gerais | 70 |
| Gráfico 4.5 – Variação de preços de leite safra / entressafra – Minas Gerais | 71 |
| Gráfico 4.6 – Gráfico <i>Boxplot</i> ANOVA Custo Médio diferentes planilhas Excel Especialistas | 104 |

CAPÍTULO 1

Introdução

Este trabalho tem a expectativa de verificar a contribuição da Simulação de Monte Carlo na projeção de cenários em Custos, e obter melhores informações que permitam tomar decisões mais acertadas nas empresas contemporâneas.

1.1 Justificativa do tema

A partir da abertura econômica efetuada no início dos anos 90, a indústria brasileira passou a ter um grande desafio em relação à sobrevivência, principalmente devido às operações multinacionais que aplicam o conceito de mercado local com fornecimento global, e conforme Drucker (1993), este ambiente globalizado fez com que as empresas multinacionais, facilitadas pela capacidade de troca de informações de forma rápida e dinâmica na busca pela maximização de seus mercados de atuação, intensificassem a concorrência de maneira extraordinária.

A queda das barreiras comerciais estabelece condições para que as empresas se posicionem num mercado globalizado, fornecendo inúmeras oportunidades de negócio para que as organizações possam maximizar suas vantagens competitivas, mas esta condição evidencia também a entrada de novos competidores com maior volume de capital, experiência internacional e agressividade de marketing, pontos relevantes que ameaçam a rentabilidade e a sobrevivência de muitas empresas nacionais, principalmente daquelas que ainda não possuem um sistema de gestão adequado a estes novos tempos.

Toda esta evolução no mundo dos negócios vem sendo afetada por uma instabilidade da economia mundial, principalmente a economia brasileira, que somadas à conscientização dos clientes e consumidores em relação a seus direitos e com relação aos seus poderes de negociação, impõem às organizações estabelecidas uma gestão integrada e eficiente de seus recursos de forma a poderem atingir seus objetivos, explorar as novas oportunidades e assim permanecerem viáveis ao longo do tempo.

Para Porter (1989), a base fundamental do desempenho acima da média a longo prazo é a vantagem competitiva sustentável. O autor afirma que, embora a empresa possa ter muitos pontos fracos e muitos pontos fortes em relação aos seus concorrentes, existem dois tipos básicos de vantagem competitiva que uma empresa pode possuir: baixo custo ou diferenciação. Estes dois pontos, combinados com o escopo de atividades que uma empresa procura obter, levam a três estratégias genéricas para alcançar o desempenho acima da média em uma indústria: liderança em custo, diferenciação e enfoque. A estratégia do enfoque, por sua vez, tem duas variantes: enfoque no custo e enfoque na diferenciação. As estratégias genéricas apresentadas por Porter (1989) estão descritas na Figura 1.1:

| | | Custo Mais Baixo | Diferenciação |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Escopo Competitivo | Alvo Amplo | 1.Liderança de Custo | 2.Diferenciação |
| | Alvo Estreito | 3 A. Enfoque no Custo | 3 B. Enfoque na Diferenciação |

Figura 1.1 – Vantagem Competitiva. Fonte: Porter (1989).

Porter (1989) conclui que, se uma empresa alcançar e sustentar a liderança no custo total, ela será uma competidora acima da média desde que possa comandar os preços na média da indústria ou perto dela.

Desta forma ressalta-se a importância da administração dos custos dentro das empresas de forma a constituir uma ferramenta fundamental na manutenção da competitividade e da rentabilidade, colaborando de forma especial para o posicionamento estratégico.

De acordo com Pamplona (1997), os sistemas de custos devem ser gerenciados de forma ativa e fazer parte do sistema de gestão de todas as empresas que pretendem se tornarem e se manterem competitivas.

A administração atual de custos em certos momentos está pouco preparada para suportar adequadamente as decisões estratégicas que a direção das empresas devem tomar. É

necessário buscar a implantação de novas metodologias que possam suprir esta lacuna dos sistemas atuais de gestão.

Uma destas lacunas e que tem peso substancial no processo decisório são as decisões que se tomam de forma determinística. Conforme Corrar (1993), esta forma de decisão não contempla as probabilidades inerentes aos diversos estados da natureza, isto é, não se consideram as incertezas ou as variações que existem nos processos das empresas.

As incertezas dos custos correspondem às suas variações quando se comparam o Custo Real, aquele realmente apurado, e o Custo Padrão, aquele especificado ou desejado.

Segundo Martins (2001), estas variações são devidas a várias causas como: matérias-primas (quantidade, preço), mão-de-obra (eficiência, valor) e custos indiretos de fabricação. Todos estes pontos são ocorrências que acontecem no cotidiano empresarial e que causam grandes incertezas nos processos decisórios pelo importante impacto que causam nos custos.

Nesta condição de permanentes mudanças, real ambiente que as empresas se inserem, a Administração de Custos poderia fornecer um suporte mais rico às decisões se puder utilizar simulações operacionais que mostrem vários cenários possíveis perante as incertezas. Em ambientes de incertezas, uma das simulações possíveis de se utilizar é a Simulação de Monte Carlo (CORRAR, 1993).

Neste contexto, a gestão operacional e estratégica dos custos, através da sistemática simulação de alteração de cenários, pode ser uma alternativa de inquestionável valor para as empresas, e a simulação de Monte Carlo é uma ferramenta oportuna para isto.

A opção de se trabalhar com simulação foi considerada a melhor por utilização de modelo matemático com frações algébricas, por considerar o modelo robusto capaz de incorporar outras variáveis quando assim for necessário, e por fim porque se alteram simultaneamente todas as variáveis de entrada durante a simulação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é verificar a contribuição da Simulação de Monte Carlo no processo de decisão através de cenários probabilísticos dos custos.

1.2.2 Questões a serem respondidas:

Para alcançar o objetivo geral, propõe-se responder as seguintes perguntas:

- Em caso de variações no preço do leite, quais seriam os impactos no custo do produto?
- Como variações no rendimento técnico (eficiência operacional), na umidade do queijo, no valor da mão-de-obra e na sua eficiência podem afetar o custo?
- Qual seria a probabilidade do custo do produto se situar acima de um determinado valor?

1.3 Limitações

O trabalho foi desenvolvido em uma fábrica de laticínios de médio porte que opera no Estado de Minas Gerais produzindo queijos do tipo Prato, Ricota, Parmesão, Mussarela, e principalmente o Queijo Minas Padrão.

O mercado principal da empresa é o industrial, ou seja, aquele que tem estes queijos como matérias-primas para outros tipos de produtos, muito embora também tenha os atacadistas e eventualmente supermercadistas como clientes, podendo fabricar também conforme especificações dos clientes.

Com relação à tecnologia de fabricação de queijos, a empresa pode ser considerada de alto nível de automação quando comparada com a concorrência principalmente na fabricação dos queijos Mussarela e Minas Padrão.

A pesquisa se limitou somente ao trabalho nesta empresa. Ressalta-se, porém, que, devido à similaridade dos negócios da área industrial de laticínios brasileira, é possível aplicar esta simulação nos sistemas de custos de outras empresas do ramo.

1.4 Metodologia do Trabalho

Conforme Gavira (2003), a simulação, sendo uma técnica de Pesquisa Operacional, utiliza-se do método científico para desempenhar seu papel. Um processo de simulação baseia-se numa série de etapas que pode ser chamado de metodologia de simulação. Devido a se basear no mesmo método científico, semelhantes metodologias têm sido apresentadas por vários autores, entre eles Maria (1997) e Bertrand (2002). Neste trabalho, serão utilizados os passos sugeridos por Pareja (2003), e Gavira (2003) que, após estudar vários métodos, considerou mais eficiente o seguinte método, cujos passos recomendados por este autor serão abordados com mais detalhes no capítulo 3, sendo agora resumidos a seguir e apresentados na Figura 1.2.

1. Formulação do problema e planejamento do estudo.
2. Coleta de dados e definição do modelo.
3. Validação do modelo conceitual.
4. Construção do programa conceitual computacional e verificação.
5. Realização de execuções piloto.
6. Validação do modelo programado.
7. Experimentação
8. Realização das execuções de simulação.
9. Análise dos resultados.
10. Documentação e implementação.

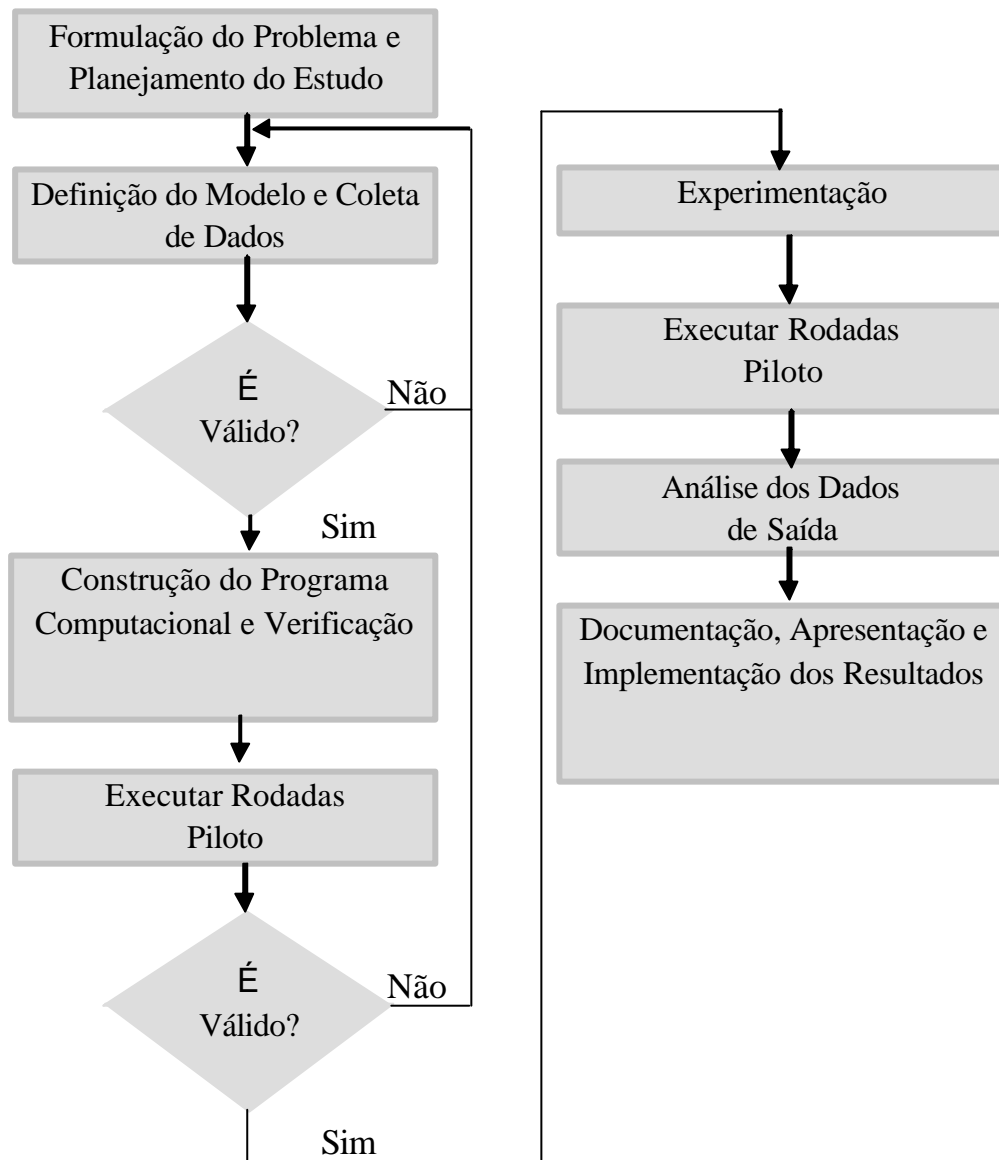


Figura 1.2 – Passos da simulação. Fonte: Gavira (2003).

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em 6 partes:

- *Capítulo 1 – Introdução*: Apresenta a justificativa do tema, os objetivos, as limitações, a metodologia adotada e a estrutura do trabalho.

- *Capítulo 2 – Sistema Tradicional de Custos e suas Incertezas* : apresenta uma revisão bibliográfica do Sistema de Gestão de Custos usualmente utilizado, focando no sistema tradicional, seus riscos e incertezas. Apresenta também os fatores que contribuem para as variações dos custos e as suas principais causas.
- *Capítulo 3 – Simulação de Monte Carlo*: aborda simulação, passos para uma simulação, a Simulação de Monte Carlo (SMC), utilização da SMC na área financeira.
- *Capítulo 4 – Desenvolvimento da Simulação*: de forma breve descreve a indústria de laticínios no Brasil e suas características, a apresentação da empresa na qual estará sendo aplicada a proposta, discorrendo de forma geral sobre o sistema de custo atual utilizado por ela, um histórico dos componentes do custo da empresa, a proposta de aplicação da simulação de Monte Carlo no sistema de custo, os resultados e a análise dos mesmos.
- *Capítulo 5 – Conclusão e recomendações*: verifica o cumprimento dos objetivos, e as recomendações para trabalhos futuros que possam avançar neste campo de pesquisa.
- *Referências bibliográficas e Anexos*.

CAPÍTULO 2

Sistema Tradicional de Custos e suas Incertezas

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta o sistema tradicional de custos, ou o custeio por absorção e as suas variações mais comuns que, ocorrendo, provocam incertezas no gerenciamento das empresas.

2.2 Sistemas de Custeio

Sistema de custeio significa um sistema de apropriação de custos que surgiu com a revolução industrial e a necessidade de evolução das informações contábeis. Por volta de 1920, é gerado o sistema de custeio tradicional ou por absorção.

Segundo Mauad (2001), conforme a classificação e comportamento dos custos e despesas foram desenvolvidos, basicamente, dois métodos de custeio:

- Custeio por absorção ou tradicional;
- Custeio direto ou variável;

Esses métodos, considerados clássicos, apresentam como ponto comum a preocupação com a administração dos custos indiretos e como diferença fundamental as informações gerenciais que irão atender a necessidades distintas da contabilidade de custos.

2.3 O Sistema Tradicional de Custos

Para Padoveze (1997), custeio por absorção é o método tradicional de custeamento que, para se chegar ao custo dos produtos, consideram-se todos os gastos industriais, diretos ou indiretos, fixos ou variáveis. Os gastos industriais indiretos ou comuns são atribuídos aos produtos por critérios de distribuição.

Conforme Sales (1998), o Custeio por Absorção classifica os gastos da empresa em custos, quando os valores estão relacionados com o processo produtivo (matéria-prima, mão-de-obra e custos indiretos de fabricação), ou em despesas, quando não estão ligados à produção (tais como de vendas e administrativas). A diferença entre o conceito de custo e despesa está no tratamento dado a cada gasto e no período em que cada um deles é lançado no demonstrativo de resultados da empresa.

Martins (2001) afirma que o custeio por absorção é o método que consiste na apropriação de todos os custos de produção, e só os de produção, aos bens elaborados; todos os gastos relativos ao esforço de fabricação são distribuídos para todos os produtos feitos. Não se incluem nesse grupo os gastos financeiros, administrativos e de vendas.

De acordo com Motta (2000), o custeio por absorção foi desenvolvido para o controle da produção, considerando que os produtos e seu correspondente volume de produção causam custos. Assim, fizeram dos produtos individualmente o centro do sistema de custos, sendo os custos classificados em diretos e indiretos, fixos e variáveis em relação aos produtos e alocados a estes com rateios baseados em volumes. Como características deste método tem-se:

- Origem no chão-de-fábrica;
- Orientação para controle de produção;
- Produção como elemento gerador de riqueza;
- Todos os custos são passíveis de serem imputados aos produtos;
- Lucro unitário como parâmetro de análise;
- Projeção para monitorar a produção em termos de volume, tempo e custo.

Como vantagens, este método pode ser considerado:

- Por ser o método adotado pela Contabilidade Financeira, é, portanto, válido tanto para fins de Balanço Patrimonial e Demonstração de Resultados como também para o Imposto de Renda na apresentação dos Lucros Fiscais (MARTINS, 2001);

- Um método para trazer melhores informações à gerência para as finalidades de estabelecimento de preços de venda visando a recuperação de todos os custos incorridos pela empresa (MOTTA, 2000).

De acordo com Motta (2000), as desvantagens do método são:

- Devido aos custos indiretos fixos serem alocados aos produtos através de rateios baseados em volume de consumo de matéria-prima ou mão-de-obra direta e, devido a estes critérios não expressarem uma relação de proporcionalidade ou relação de causa e efeito que explique o porquê da alocação daquela proporção de custos indiretos àqueles produtos, tem-se como resultado uma alocação arbitrária.
- O custo do produto fica dependente do volume de produção, variando os custos indiretos alocados com as alterações de volume, isto é, quando o volume aumenta, o custo unitário diminui e vice-versa.

Porém, conforme Motta (2000), este é um dos sistemas utilizados rotineiramente para suporte ao processo decisório.

O custeio por absorção consiste na alocação de todos os custos de fabricação aos produtos, sejam eles fixos ou variáveis, diretos ou indiretos. Os custos diretos são apropriados aos produtos de acordo com a medida de consumo estabelecida. Já, os custos indiretos são alocados aos produtos por intermédio de um rateio estabelecido pela empresa. É nesse rateio que se faz necessário o método de custeio, para proporcionar a alocação mais justa possível, obtendo a informação de custo próxima da realidade.

Apesar da aceitação legal, o custeio por absorção falha como instrumento gerencial por apropriar os custos fixos aos produtos através de critérios de rateio o que pode, algumas vezes, causar distorções consideráveis no custo dos produtos (MOTTA, 2000).

A Figura 2.1 mostra a Demonstração do Resultado do Exercício do Custeio por Absorção.

| |
|------------------------------|
| Receita de Venda |
| (-) Custo do Produto Vendido |
| Custos Variáveis |
| Custos Fixos |
| Lucro Bruto |
| (-) Despesas Fixas |
| (-) Despesas Variáveis |
| Lucro Líquido |

Figura 2.1 – Demonstração do Resultado do Exercício no Custeio
Fonte: Strumiello (1999).

2.3.1 Conceitos básicos

Abaixo alguns termos comumente empregados em custos e com seus respectivos conceitos:

Custos - De acordo com Martins (2001), custo é o gasto relativo a bem ou serviço utilizado na produção de outros bens e serviços.

Custos dos Produtos Vendidos (CPV) – Valor dos gastos incorridos no processo de produção dos bens que foram sacrificados para que a empresa gerasse receita de vendas de produtos (KROETZ, 2001).

Gastos - De acordo com Martins (2001), gasto é o sacrifício financeiro necessário para se conseguir qualquer produto ou serviço, sacrifício esse representado por entrega ou promessa de entrega de ativos (normalmente dinheiro).

Despesas - São bens ou serviços consumidos direta ou indiretamente para obtenção de receitas (MARTINS,2001).

Custos Variáveis - São custos que variam de acordo com o objeto de custeio ou ainda, em alguns casos, que se modificam em função da variação do volume/atividades das operações, ou seja, da variação na quantidade produzida no período. Quanto maior o volume de produção, no período, maior será o custo variável (KROETZ, 2001).

Custos Fixos – Segundo Kroetz (2001), custos fixos são aqueles que mantêm um dimensionamento constante, independentemente do volume de produção, ou ainda, os custos de estrutura que permanecem, período após período, sem variações, não ocorrendo em consequência de variação no volume de atividade em períodos iguais.

Ressalta-se que a classificação entre fixo e variável também é aplicada às despesas, enquanto direto e indireto são uma classificação aplicável somente a custos (MAUAD, 2001).

Custos Diretos - São aqueles diretamente incluídos no cálculo dos produtos. São os materiais diretos usados na fabricação do produto e a mão-de-obra direta. Os custos diretos têm a propriedade de serem perfeitamente mensuráveis de maneira objetiva. Os custos são qualificados aos portadores finais (produtos), individualmente considerados (KROETZ, 2001).

Custos Indiretos - Conforme sua própria definição, são aqueles custos que só podem ser apropriados aos produtos de forma indireta mediante estimativas, critérios de rateio, sendo assim, pela subjetividade da alocação, considerados em muitos casos de forma arbitrária (MARTINS, 2000)

A forma esquemática de alocação básica de custos é apresentada na Figura 2.2.

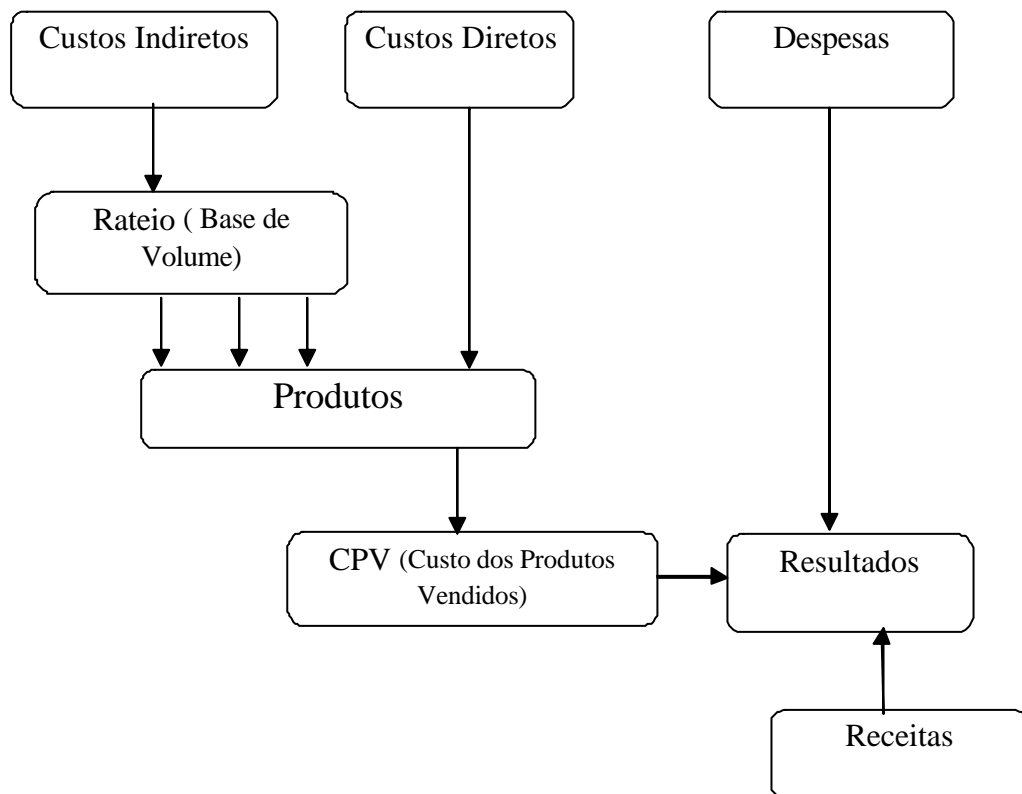


Figura 2.2 – Esquema básico de custos. Fonte: Martins (2000)

O custeio por absorção sem a departamentalização tem nos Custos Indiretos de Fabricação – CIF, a alocação por uma base de volume que, empregada de maneiras diferentes e critérios nem sempre ideais, levam muitas vezes à obtenção de resultados distorcidos. Não existindo uma maneira ideal de se fazer a distribuição, é possível no máximo procurar, entre as diferentes opções, aquela que seja mais adequada às características do processo de produção.

Assim, de acordo com Martins (2000), para uma distribuição mais racional dos custos indiretos de fabricação, a departamentalização passa a ser obrigatória no sistema de custos por absorção.

Para Leone (1997) a departamentalização é o resultado de um estudo feito pela administração da empresa, que leva em conta as várias especialidades e as diversas atividades ou funções. É a divisão do trabalho baseada na capacidade específica de cada pessoa ou grupo de pessoas. A departamentalização destina-se a separar as atividades de uma empresa, de acordo com a natureza de cada uma delas, procurando maior eficiência nas operações. Os departamentos resultantes são centros onde se realizam operações da mesma natureza. Desse modo, a administração faz a delegação de autoridade e responsabilidades. Em termos práticos, a departamentalização é visualizada no organograma da empresa.

A **Figura 2.2a** representa o esquema básico de custos por departamentalização

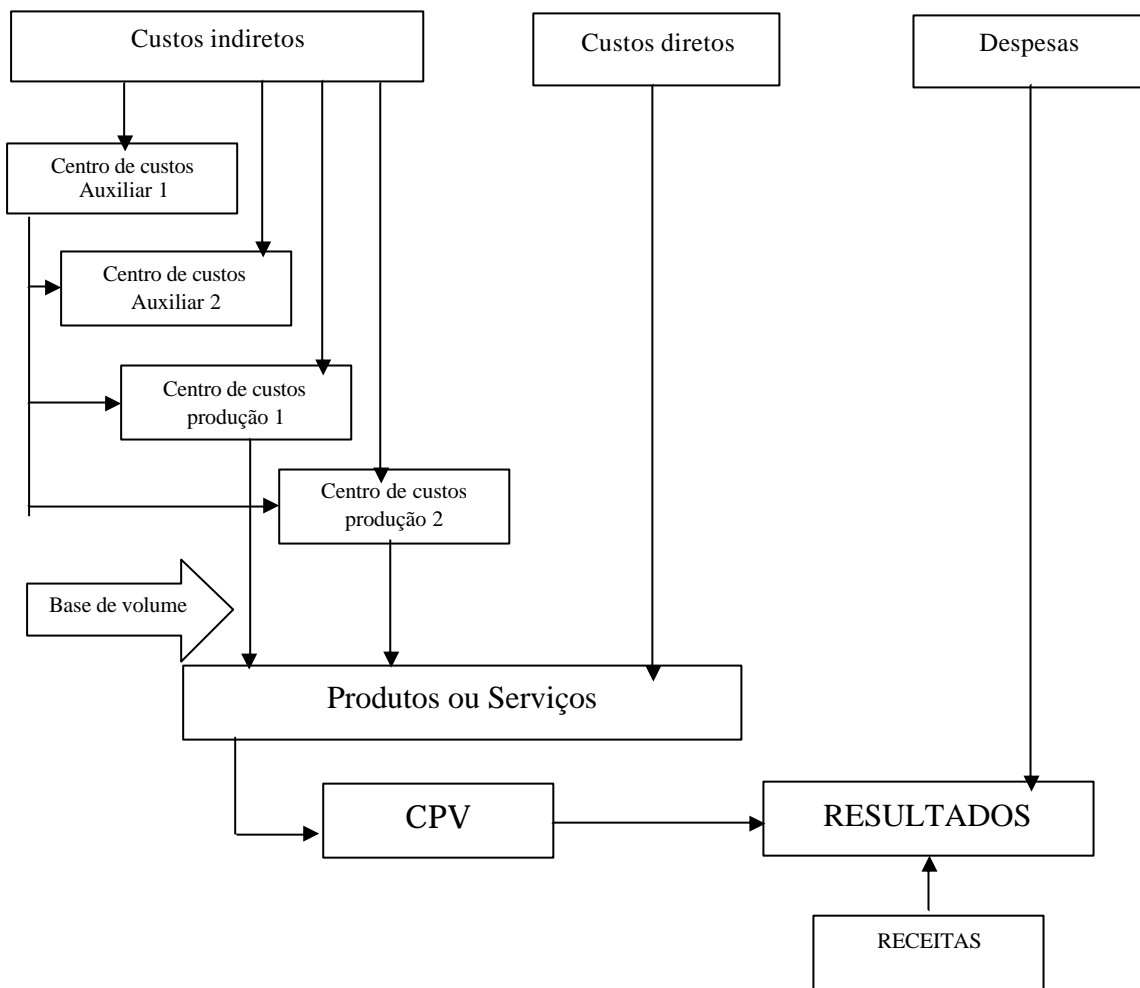


Figura 2.2.a - Esquema básico de custos por departamentalização

Fonte: baseado em Martins (2000)

2.4 Incertezas do Sistema Tradicional de Custos

2.4.1 O ambiente de Incertezas

A maioria das decisões gerenciais que são encaminhadas dentro das organizações se faz frente a um ambiente comumente cheio de incertezas devido, principalmente, à impossibilidade de uma previsão mais acertada para o futuro, ocorrendo assim que grande parte das alternativas apresentadas, para embasar a tomada de decisão, normalmente não são perfeitas levando à obtenção de resultados equivocados (CORRAR, 1993).

As decisões normalmente são tomadas sobre respaldos subjetivos o que propiciam resultados com poucas probabilidades positivas de sucesso.

Conforme Thompson (1995), a administração não tem condições de prever com exatidão os resultados de suas decisões devido a fatos desconhecidos como:

- Mudanças na tecnologia;
- Modificações no gosto e preferência do consumidor;
- Entrada numa nova competição;
- Incertezas políticas relativas a uma nova legislação, continuidade de tarifas e quotas de importação, e contratos do governo;
- Impactos de controles federais fiscais e monetários;
- Mudanças nas taxas de produtividade; e
- Flutuações nos preços de matéria-prima, salários, disponibilidade de mão-de-obra, etc. - todos eles fora do controle da firma.

Todos estes fatores afetam as organizações influenciando diretamente nos seus diferentes processos como marketing, vendas, produção e principalmente na contabilidade de custos.

Além destas influências, os sistemas tradicionais de custos vêm perdendo relevância ao longo do tempo por terem se tornados obsoletos e, assim, são uma fonte de grandes problemas para os administradores.

Conforme Kaplan (1998), os sistemas contemporâneos de contabilidade de custos e controle gerencial já não fornecem sinais precisos da eficiência e rentabilidade das transações internamente administradas o que, por conseqüência, não permite aos administradores as informações que os auxiliem na comparação entre transações externas e internas para escolher as melhores.

Assim, com a deficiência, ou mesmo com a falta de informações apropriadas de custos e rentabilidade num ambiente extremamente complexo e a necessidade de administrar e tomar decisões importantes, a eficácia administrativa torna-se seriamente comprometida.

Esta complexidade pela busca da sobrevivência e da competitividade faz com que, de acordo com Ostrenga (1997), as empresas trabalhem com um grande número de produtos e uma importante gama de serviços, onerando toda a cadeia produtiva: da engenharia de produto/processo ao serviço ao cliente, tornando a execução do trabalho uma das causas principais de aumento dos custos.

Em função desse cenário, os custos totais de quaisquer produtos ou serviços variarão tanto para uma mesma empresa em diferentes períodos de tempo, como para empresas concorrentes em um mesmo momento do tempo. Os parâmetros que compõem as estruturas de custos estão sujeitos a mudanças, tanto de forma alternada como simultânea, variando com: os preços das matérias-primas, os valores da mão de obra, os volumes de vendas, as falhas internas e externas, os retrabalhos e as atividades que não agregam valor, provocando uma grande instabilidade na gestão dos custos.

2.5 Variações dos custos industriais

As variações de custos correspondem às diferenças que ocorrem entre o Custo Real apurado e o Custo Padrão estabelecido para cada organização em particular. Além do termo Variação, outro comumente encontrado na literatura é o de Variância. A variação que ocorre poderá ser Favorável ou Desfavorável, quando acontece do custo Real ser respectivamente menor ou maior que o Padrão, sendo também chamada de Credora e Devedora ou ainda de Positiva e Negativa.

2.5.1 Custo Real

O sistema de custo real é assim chamado por se alicerçar em volumes de produção efetiva e de despesas reais incorridas, e não em grandezas pré-determinadas. As despesas reais devem ser quantificadas em regime de competência que considera o período em que os gastos são incorridos, independentemente do fato de serem ou não pagos nesse período.

2.5.2 Custo-Padrão

A opção de utilizar o conceito de custo-padrão neste trabalho deveu-se à grande importância deste custo dentro das empresas que possuem um sistema de gestão eficiente, e porque através da comparação de alterações de custos com este padrão torna-se possível visualizar facilmente o impacto destes cenários e sua contribuição para a melhor gestão das empresas.

Para Martins (2001), o Custo-Padrão tem o objetivo principal de servir como parâmetro de comparação entre o que ocorreu de custo, Custo Real, e o que deveria ter ocorrido. Já, Custo Real é aquele ocorrido no período e que esteja sendo apurado através de qualquer sistema, Variável ou Absorção. O autor classifica de duas maneiras principais o Custo-Padrão: o Ideal fixado, considerando condições ideais de qualidade de materiais, da eficiente mão-de-obra e utilização de 100 % da capacidade instalada, sem quaisquer paradas por quaisquer motivos, etc; e, o Padrão Corrente, considerado mais válido e de maior praticidade, obtido por pesquisas e testes práticos, próximos à realidade, que considera deficiências existentes em termos de qualidade de materiais, de mão-de-obra, de instalações e equipamentos, energia, etc. desconsiderando apenas aquelas deficiências que são julgadas possíveis de serem eliminadas. O Custo Padrão Corrente é, apesar de difícil, possível de ser alcançado. Neste trabalho, o conceito de Custo Padrão Corrente será considerado tanto pela sua importância como pelas vantagens em utilizá-lo.

Backer e Jacobsen (1972), apresentam algumas vantagens de se utilizar os custos-padrão:

- O sistema é um instrumento importante para avaliações de desempenho, pois pode incentivar as pessoas a procurar um desempenho mais eficaz, desde que os padrões sejam realistas e atingíveis. Os indivíduos são mais eficazes quando os mesmos reconhecem o que deles se espera.
- O sistema permite a adoção de uma política de redução de custos, pois, com as informações dos desvios, pode-se focar a atenção em pontos que se apresentam fora da norma, o que possibilitará aperfeiçoamentos de métodos de trabalhos, melhor seleção de mão-de-obra e de materiais, organização de programas de treinamentos, melhoria da qualidade de produtos e até justificados investimentos em meios de produção.
- Os custos-padrão auxiliam a direção da empresa no estabelecimento de planos, pois o trabalho de se instituir os padrões, prescreve um cuidadoso planejamento em diversas áreas da empresa tais como: produção, RH, Contabilidade de Custos, Engenharia, etc.
- O sistema permite que, ao considerar as variâncias esperadas em relação ao padrão, o planejamento de orçamentos futuros possa ser mais realista.
- Os custos-padrão podem ser úteis ao processo decisório quando, por exemplo, o padrão de custos dos produtos for separado segundo os elementos de custos fixos e

variáveis e quando os custos de materiais e mão-de-obra se basearem em níveis esperados de preços durante o ano seguinte.

No entanto, Backer e Jacobsen (1972) também consideram algumas limitações dos custos-padrão:

- Mesmo que as premissas teóricas que estabeleçam os padrões sejam simples de serem estabelecidas, pode ser muito mais difícil, na prática, aceitar um arcabouço preconcebido. Os graus de aperto ou folga dos padrões podem não ser calculados com a mesma intensidade em todos os setores da organização, mesmo que a direção tenha estabelecido as normas a respeito.
- É possível que os padrões tendam a se tornar rígidos ou inflexíveis, mesmo em períodos curtos de tempo, pois pode acontecer de as condições da produção mudarem e, em contrapartida, a revisão dos padrões não ser efetuada em tempo.
- As revisões e padrões podem criar problemas para os estoques, pois uma mudança de preço de uma matéria-prima exige ajustes do seu respectivo estoque como também da produção que está em processo e dos produtos acabados que contém aquela matéria.
- Quando padrões são mudados com muita frequência, pode acontecer de se comprometer a eficácia de aferição de desempenho. Porém, a não revisão sistemática dos padrões quando da ocorrência de mudanças significativas nas condições de produção, resulta em medições impróprias e irreais.

Os autores ressaltam, todavia, que o conhecimento das limitações dos custos-padrão torna-se essencial, visto que, superando estas dificuldades, os custos-padrão podem ser uma ferramenta de grande valia para o planejamento dos dirigentes no controle e no processo de decisão, desde que criteriosamente usados.

2.5.3 Estabelecimento do Custo-Padrão

Martins (2001) recomenda que a implantação do custo-padrão deve ser feita de forma gradual, ressaltando que não deve ser imposta à empresa, podendo ser utilizada para apenas

alguns produtos ou departamentos ou para certos tipos de custos: matéria-prima ou mão-de-obra direta, etc.

Para Leone (1997), o custo-padrão corrente é estabelecido em bases racionais de produção, ou seja, este sistema considera perdas ou sobras de materiais, ineficiência ou ganho de produtividade da mão-de-obra, ineficiência de máquinas e a não utilização da capacidade total da fábrica. Para o autor, fábricas trabalham com imperfeições e, muitas vezes, não se viabiliza eliminá-las. Além disso, algumas considerações sobre os custos-padrão são identificadas:

- O sistema só fornece informações valiosas desde que implementado juntamente com outro sistema de custeamento com base em custos reais históricos, como por exemplo, o sistema de custeio por absorção.
- O sistema tem grande valor em relação á elaboração de orçamentos, principalmente quando se deseja orçar custos diretos tais como materiais e mão-de-obra. Quando isto acontece, as informações disponíveis dos custos-padrão unitários são multiplicadas pelas quantidades requeridas dos respectivos materiais e mão-de-obra.
- Quando utilizado para comparação com os custos reais, um alerta deve ser disparado em caso de detecção das variações entre eles. No entanto, o valor destas variações deverá ser discutido entre as áreas de contabilidade, operações e administração para que não se perca tempo com pequenas discrepâncias e que se deixe passar as grandes.

2.5.4 Padrões de Custo do Material

Backer e Jacobsen (1972) afirmam que o custo-padrão do material é composto por dois elementos, quantidade e preço, argumentando que os padrões de quantidade dos materiais devem considerar além das matérias-primas, as peças compradas, os materiais de revestimento e as embalagens em geral tais como: engradados, caixas e itens de embalagens que podem ser observados no produto ou serem identificados no mesmo. As quantidades-padrão ou físicas (Kg/un, litros, metros, etc.) normalmente são especificadas por técnicos, Engenheiros de Produção, juntamente com a Contabilidade de Custos e consistem em materiais adequados ao desenho e qualidade do produto, além de possuírem o melhor valor

econômico. No caso de o processo requerer a mistura de materiais, o indicado é o estabelecimento de fórmulas-padrão de dosagem. As tolerâncias tais como: estragos, possíveis encolhimentos, refugos, sobras, unidades defeituosas devem também ser incluídas nos custos-padrão dos produtos, desde que apenas aquelas consideradas normais ou inevitáveis.

Backer e Jacobsen (1972) também recomendam a preparação de uma ficha de custo-padrão para cada produto, indicando: por quais operações o produto passa, quais materiais fazem parte de sua composição, o custo total e unitário da matéria-prima, a mão-de-obra direta envolvida no produto e os custos gerais de produção. A Tabela 2.1, mostra uma tabela com um exemplo de ficha de custo-padrão.

| Produto: lenço modelo nº 105 | | | | | | | | | | | Custo por 100 unidades | | |
|------------------------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--|
| Processo | Material | | | | Mão-de-obra | | | Custo gerais | | Custo total de prod | Tolerância perdas | Custo cum. por 100 un | |
| | Item | Quant. por 100 un | Preço unitário | Custo | Horas por 100 un | Salário hora | Custo | Taxa horária | Custo | | | | |
| Corte | Linho | 40 | 0,075 | 3,00 | 0,4 | 3 | 1,20 | 3,75 | 1,50 | 5,70 | 0,3 | 6,00 | |
| Costura | Bainha | 160 | 0,0031 | 0,50 | 0,357 | 2,8 | 1,00 | 3,00 | 1,07 | 2,57 | | 8,57 | |
| Passagem a ferro | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,25 | 2,8 | 0,70 | 4,00 | 1,00 | 1,70 | | 10,27 | |
| Embalagem | Caixa | 33,3 | 0,027 | 0,90 | | | | | | 0,90 | | 11,16 | |
| | Suprimentos | | | 0,3 | 0,5 | 2,6 | 1,30 | 3,00 | 1,50 | 3,10 | | 14,26 | |
| | | | | 4,70 | | | 4,20 | | 5,07 | 13,96 | 0,30 | | |

Tabela 2.1 – Ficha de Custo Padrão. Fonte: Backer e Jacobsen (1972)

O elemento preço do custo-padrão de materiais pode ser considerado de difícil determinação, pois os preços de materiais são controlados mais por fatores externos do que pela gerência da empresa (LEONE, 1997). Além disso, Leone (1997) afirma que o preço-padrão de materiais depende de uma série de fatores, tais como:

- A quantidade de materiais a ser comprada: É comum ter-se a possibilidade de comprar por um menor preço uma quantidade maior de mercadoria e vice-versa. Alguns fornecedores exigem cotas mínimas de compra e lotes menores que estas cotas podem ter maiores preços.
- O tempo de entrega: Quando se tem a necessidade de adquirir com urgência uma determinada mercadoria, é bem provável que o comprador fique sujeito às

condições do mercado e, nestes momentos, o preço favorece mais vendedor do que o comprador.

- O custos de estocagem, os descontos obtidos, as condições financeiras.

Para Backer e Jacobsen (1972), o preço padrão de matéria-prima a ser utilizado depende das diretrizes adotadas pela empresa para este item, podendo ser baseado nos preços médios do passado recente, nos preços atuais ou nos preços esperados. Cabe ao departamento de compras a responsabilidade da aquisição dos materiais após a cotação de preços dos itens entre os vários fornecedores disponíveis e, de preferência, certificados previamente, escolhendo a compra após considerar o preço, a qualidade, as datas de entrega e o custo do frete.

Este trabalho não considera a influência de inflação na determinação do preço padrão de materiais nem no padrão de salário-hora da mão-de-obra.

Variações de Custo do Material

As variações de custo do material são as diferenças apresentadas quando se confrontam os resultados reais com os valores padrões e acontecem em consequência de fatores internos ou externos. A administração tem pouco ou nenhum controle sobre os fatores externos, mas poderá influenciar significativamente os fatores internos. A análise das variações tem grande importância na gestão empresarial, pois permite à administração cobrar dos responsáveis ações que visem medidas corretivas e que, principalmente, seja feito um acompanhamento constante do sucesso da implantação das medidas e suas influências, com a cooperação da Contabilidade dos Custos.

Considerando-se que o custo-padrão dos materiais é formado por quantidade e preço, tem-se, então, variações destes dois componentes quando se confronta o custo real com o respectivo custo-padrão.

Variação de quantidade

Variação de quantidade é a diferença entre as quantidades reais usadas de materiais diretos e as quantidades-padrão consideradas, multiplicada pelo custo-padrão unitário. As quantidades-padrão se referem às quantidades especificadas e predeterminadas de materiais diretos que compõem uma unidade do produto acabado, multiplicada pelo número de unidades produzidas. Desta forma, é possível obter-se a Equação 2.1 que mostra a variação da quantidade de materiais diretos e que, conforme Cashin e Polimeni (1982), pode ser:

$$\text{Variação da quantidade dos materiais diretos} = \frac{[\text{quantidade real utilizada} - \text{quantidade padrão considerada}] \times \text{custo padrão unitário}}{\text{custo padrão unitário}} \quad (2.1)$$

De acordo com Cashin e Polimeni (1982), a variação é de responsabilidade do departamento de produção ou centro de custo que controla o insumo de materiais diretos no processo produtivo.

Leone (1997) apresenta algumas possíveis causas das variações da quantidade dos materiais:

- Qualidade inferior ao padrão, levando a um consumo maior que o preestabelecido.
- Prazos de produção apertados, acarretando em erros no tratamento dos materiais.
- Máquinas e ferramentas mal ajustadas que levam a um maior consumo.
- Necessidade de troca de operários e um maior contingente de novatos com menor experiência, constituindo em desperdício ou maior consumo.
- Perda de qualidade dos materiais quando estocados de forma inadequada, fazendo com que as especificações se alterem e, tendo como consequência um consumo maior que o padrão.
- Com a rotina, há uma diminuição do rigor dos controles, de forma que evaporações, vazamentos, quebras começam a ocorrer freqüentemente.

Variação de preço

Variação de preço é a diferença entre o custo unitário real e o custo-padrão unitário dos materiais diretos comprados, multiplicado pela quantidade real comprada. Com objetivo de identificar a diferença de preço relativa às compras e não ao uso, considera-se a quantidade real comprada em lugar da quantidade-padrão preestabelecida. Assim, Cashin e Polimeni (1982) apresentam a Equação 2.2 que mostra a variação de preços de materiais diretos:

$$\text{Variação de preço dos materiais diretos} = \frac{[\text{custo unitário real} - \text{custo padrão unitário}] \times \text{quantidade real comprada}}{\text{custo padrão unitário}} \quad (2.2)$$

Cashin e Polimeni (1982) afirmam que a gerência tem pouco controle sobre os preços, principalmente quando os mesmos resultam em elevação. Os autores argumentam que, para se procurar encomendar quantidades econômicas e encontrar fornecedores que ofereçam itens

com qualidade e a preços menores, é possível um certo controle de preços. Algumas empresas atribuem a responsabilidade das variações de preço ao departamento de compras.

Martins (2001) considera as seguintes situações que levam a uma variação de preços dos materiais:

- Compra malfeita por deficiência do setor de Compras.
- Compra malfeita por deficiência do departamento de Controle e Programação da Produção que não previu o item de forma adequada (quantidade, prazo), obrigando a aquisição de forma urgente.
- Imposição do departamento de Vendas para entrega rápida do produto, obrigando o setor de Compras a adquirir de quem tinha em estoque, mesmo que a um maior preço.
- Determinação da Diretoria de se comprar de outro Fornecedor para não ficar na dependência de um único fornecimento.

Outros pontos podem levar a variações de preço conforme a argumentação de Leone (1997) são que, mesmo em condições de estabilidade econômica, os preços sofrem variações, como no caso de produtos agrícolas, cujos preços são regulados nos mercados internacionais, ou a materiais regulados pelo governo, ou a materiais que são sazonais. Nestes casos, fica evidente que a Contabilidade de Custos ou mesmo o departamento de Compras podem fazer muito pouco a respeito.

Para melhor visualização das variações de quantidade e preço dos materiais diretos, é apresentada na Figura 2.3.a de Silva (1977):

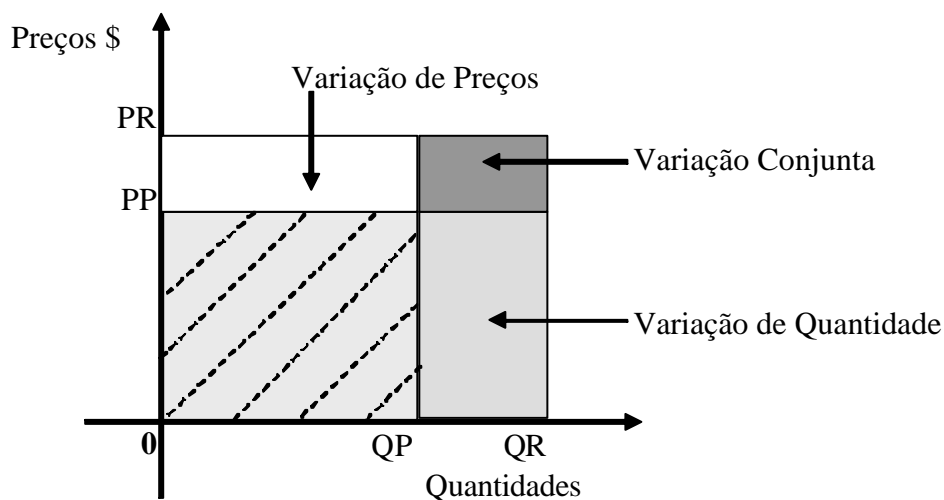


Figura 2.3.a – Gráfico de variação de materiais diretos. Fonte: Silva (1977).

Onde:

PR = Preço Real

PP = Preço-Padrão

QP = Quantidade-Padrão

QR = Quantidade Real

Leone (1997), apresenta algumas equações que podem ser utilizadas para o cálculo das variações dos materiais diretos:

QP X PP = Custo Padrão

QR X PR = Custo Real

(PR - PP) X QR = Variação de Preço

(QR - QP) X PP = Variação de Quantidade

Se **PR > PP**, a variação de preço é desfavorável.

Se **PR < PP**, a variação de preço é favorável.

Se **QR > QP**, a variação de quantidade é desfavorável.

Se **QR < QP**, a variação de quantidade é favorável.

2.5.5 Padrões de Custo da Mão-de-Obra

O custo padrão da mão-de-obra direta pode ser dividido em dois elementos: padrão de eficiência, ou produção-padrão, ou quantidade por hora e padrão da taxa de salário-hora.

O estabelecimento do padrão da taxa de salário-hora pode ser considerado fácil, pois normalmente ele é estipulado em acordos coletivos de trabalhos firmados entre os sindicatos representantes dos empregados e a administração das empresas. Esta taxa deve ser incluída dos devidos encargos sociais e trabalhistas. De maneira geral, dentro das condições normais de operação e em um ambiente de economia estável, este valor não é alterado a não ser nas datas-base de negociação entre as partes (LEONE, 1997).

Backer e Jacobsen (1972), afirmam que para se estabelecer o padrão de salário-hora, torna-se necessário conhecer: as operações que serão executadas, a qualidade da mão-de-obra requerida ou desejada para tal e a respectiva taxa média horária que se pretende remunerar.

Para Leone (1997), o padrão de eficiência é considerado mais difícil de ser estabelecido, pois os parâmetros que entram em sua determinação são dependentes de vários fatores, muito embora sejam considerados controláveis pela administração da produção. O autor apresenta alguns desses fatores:

- Estudo dos tempos e movimentos: Este trabalho é executado pela engenharia de produção e trata-se da identificação das atividades que compõem as operações, relatando-as de maneira minuciosa e em condições normais de trabalho como: espaço adequado, temperatura confortável, iluminação suficiente, supervisão, segurança, posição adequada das máquinas em relação aos operários, vestuários, uniformes, etc. É importante que para a determinação dos tempos-padrão sejam consideradas as tolerâncias relativas ao descanso, aos tempos necessários para satisfazer as necessidades fisiológicas, à fadiga das pessoas e aos ajustes e trocas de ferramentas.

Conforme Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos poderá ser usado para se determinar o número-padrão de minutos que uma pessoa qualificada, devidamente treinada e com experiência, deveria gastar para executar uma tarefa ou operação específicas trabalhando normalmente. O autor considera que o método mais comum para se determinar o tempo-padrão é a medição do trabalho humano através da cronometragem. Para isto, divide-se a operação a ser estudada em elementos, sendo em seguida cronometrado cada um destes elementos. É calculado um valor representativo para cada elemento e, o somatório destes tempos de cada elemento fornece o tempo total para se executar a operação. É importante que o responsável pelo trabalho de cronometragem observe a velocidade que o operador trabalha. O tempo selecionado é aquele ajustado em que um operador qualificado, trabalhando em ritmo normal, possa executar sem dificuldade. Este tempo é denominado tempo normal e deverá ser adicionado das tolerâncias devidas à fadigas, à esperas, resultando no tempo-padrão para a operação.

- Curva de aprendizagem: Com o passar do tempo, à medida que se vai produzindo uma quantidade maior de produtos, obedecendo a operações semelhantes, os operários vão se tornando mais hábeis e produzindo com mais eficiência. Porém, esta eficiência tende a se estabilizar em um determinado nível e começará a

diminuir com o aumento contínuo da quantidade produzida. Este fenômeno é um fato conhecido e normalmente ocorre com operações manuais repetitivas.

- Saúde, hábitos, fatores psicológicos como responsabilidade, maturidade, relações humanas, perseverança, amor-próprio, ambição e idade, são variáveis de difícil análise, mas que devem ser considerados, pois afetam a eficiência.

Variações de Custo da Mão-de-Obra

As variações do custo da mão-de-obra estão relacionadas aos componentes de eficiência e taxa salarial quando do momento de confronto do custo real com o custo-padrão para este item.

Variação da eficiência

A variação da eficiência é a diferença entre o número de horas da mão-de-obra direta reais trabalhadas e o número de horas-padrão de mão-de-obra, multiplicada pela taxa salarial padrão de mão-de-obra. O valor da "hora-padrão" é igual ao número de horas de mão-de-obra direta que deve ser trabalhada na produção de uma unidade de produto acabado, multiplicado pelo número de unidades produzidas. Desconsiderando as alterações de preços, ou seja, utilizando-se a taxa salarial padrão, quaisquer variações que possam surgir podem ser atribuídas à eficiência ou ineficiência do operário.

Cashin e Polimeni (1982) apresentam a seguinte Equação 2.3 que mostra a variação na eficiência da mão-de-obra direta:

$$\text{Variação de eficiência da mão-de-obra direta} = \frac{[\text{número de horas reais trabalhadas} - \text{número de horas padrão consideradas}]}{X \text{ taxa salarial padrão}} \quad (2.3)$$

Segundo Cashin e Polimeni (1982), o supervisor do departamento ou centro de custos onde o trabalho é desenvolvido, é normalmente considerado responsável por esta variação de eficiência.

Silva (1977) enumera as seguintes causas que podem levar à variação da eficiência:

- Operários mal treinados normalmente levam à utilização de mais tempo para a execução do serviço.
- Alguns tipos de produção podem ser mais importantes e urgentes em um determinado momento e necessitar de um maior número de operários.
- Materiais fora de especificações, que são difíceis de serem trabalhados e variam também em quantidade, podem acarretar uma menor eficiência da mão-de-obra.

Martins (2001) aponta as seguintes razões da variação de eficiência:

- Uso de pessoal não adequado para a tarefa.
- Inexistência de pessoal treinado para substituir o pessoal em férias.
- Padrão em horas muito "apertado", válido apenas para pessoal de extrema habilidade, do qual a empresa possua talvez um único elemento.

Leone (1997) ainda acrescenta que a ineficiência, às vezes, é devida a outras causas que podem ser ocasionadas por outros departamentos da empresa. Ele cita como exemplo os equipamentos mal ajustados com problemas de funcionamento, máquinas que quebram e paradas de fábrica devido a fatores fora da responsabilidade dos supervisores diretos.

Variação da taxa

A variação da taxa é a diferença entre a taxa salarial real e a taxa salarial padrão da mão-de-obra, multiplicada pelo número real de horas trabalhadas. Utiliza-se o número real de horas trabalhadas e não o número de horas-padrão, pois se tem como interesse encontrar a diferença de custos de alterações nas taxas salariais reais e não de horas trabalhadas.

Assim, Cashin e Polimeni (1982) apresentam a seguinte Equação 2.4 que mostra a variação da taxa salarial da mão-de-obra direta:

$$\text{Variação da taxa mão-de-obra direta} = \left[\text{taxa salarial real} - \text{taxa salarial padrão} \right] \times \text{número de horas trabalhadas} \quad (2.4)$$

Estes autores mencionam que, sobre as variações de taxas, a gerência tem muito pouco controle. Porém, algumas empresas responsabilizam o supervisor do departamento ou centro de custos onde o trabalho é desempenhado com o intuito de controlar, por exemplo, a

condição de se utilizar operários que possuem salários de taxas maiores para uma tarefa que requeira um operário menos caro.

Para Leone (1997), o departamento de pessoal é o responsável pelas variações de taxas. Este setor que administra os acordos com os empregados, estabelece os planos de cargos e salários, e contrata os operários.

Já para Martins (2001), as variações da taxa podem ser devidas a, por exemplo, um acréscimo do seu valor determinado pela Direção, pela legislação ou pelo sindicato da categoria de trabalhadores ou pela necessidade de se contratar pessoal acima da faixa estipulada no padrão, devido à falta de oferta de mão-de-obra naquela faixa salarial preestabelecida.

De maneira geral, as variações de mão-de-obra são apresentadas por Silva (1977), conforme a Figura 2.3b:

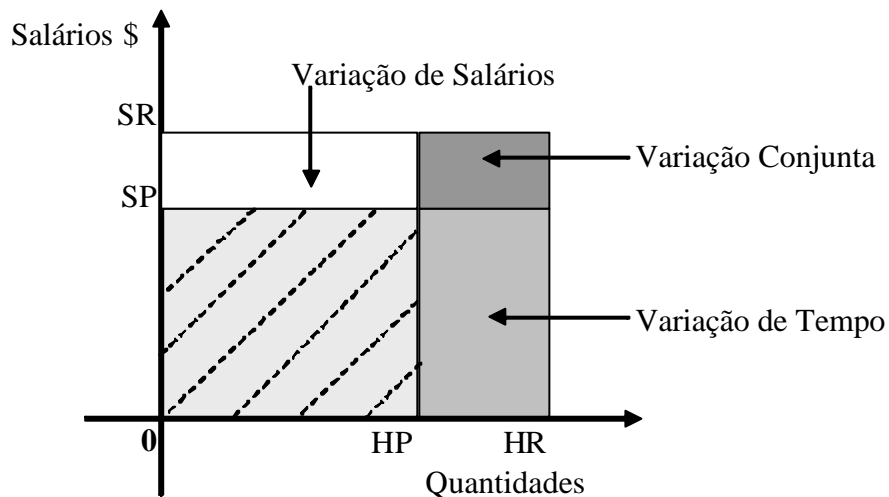


Figura 2.3b - Gráfico de variação de mão-de-obra. Fonte: Silva (1977)

Onde se tem a seguinte simbologia:

- SR** = Taxa Salarial Real
- SP** = Taxa Salarial Padrão
- HP** = Tempo-Padrão (Horas)
- HR** = Tempo Real

Leone (1997), apresenta algumas fórmulas utilizadas para o cálculo das variações de mão-de-obra:

$HP \times SP =$ Custo Padrão

$HR \times SR =$ Custo Real

$(SR - SP) \times HR =$ Variação de Taxa

$(HR - HP) \times SP =$ Variação de Eficiência

2.5.6 Padrões dos Custos Indiretos de Fabricação

Cashin e Polimeni (1982) recomendam que os orçamentos dos custos indiretos de produção ou de fabricação sejam preparados por um departamento separado constituído para este propósito ou pelo Departamento de Contabilidade, visto que este possui todas as informações necessárias de custos e, por ser aconselhável que aqueles que estabelecem os padrões sejam diferentes daqueles que tem a responsabilidade de fazê-los cumprir. Os orçamentos se baseiam nos custos que se esperam ocorrer durante o processo de produção e depende da experiência e conhecimento das influências que podem afetar os custos futuros. Como componentes dos custos indiretos, entre outros se tem: Mão-de-obra indireta, Materiais indiretos, Energia Elétrica, Depreciação, Aluguel, Peças de Manutenção. Ao se estabelecer o custo-padrão, separa-se os componentes dos custos indiretos em custos "variáveis" e "fixos".

Custos Fixos são aqueles que, dentro de determinada capacidade de produção da empresa, tendem a permanecer constantes em seu total, apesar das variações do volume de produção ou de vendas. Por exemplo, a depreciação do equipamento não se modifica com a variação do volume da produção ou de vendas. Do mesmo modo, o aluguel do escritório de uma empresa será fixo, quer sejam produzidas ou vendidas zero unidades ou a produção total.

Em geral, os custos fixos possuem as seguintes características: são quantias fixas dentro de certos limites de produção ou até a capacidade máxima: são fixos em seu total, mas diminuem unitariamente à medida que a produção aumenta. O controle de sua incidência depende da alta administração e não dos supervisores.

Já os custos variáveis se alteram no total em proporção direta ao volume de atividades, permanecendo relativamente constantes do ponto de vista unitário e podendo ser facilmente apropriados com certa precisão, aos departamentos. O controle de sua possível incorrência e consumo é de responsabilidade dos supervisores dos departamentos. Custos variáveis são aqueles que tendem a variar em seu total, conforme flutuem as atividades produtivas da empresa. A matéria-prima consumida é um exemplo de custo que varia de acordo com a flutuação da produção.

Considerando-se que os níveis de vendas e produção flutuam, Cashin e Polimeni (1982) recomendam que os orçamentos dos custos indiretos de fabricação sejam flexíveis, isto é, que mostrem os custos segundo diferentes níveis de produção, o que permitirá uma comparação mais adequada entre os custos efetivos e os custos-padrão para aquele nível de produção realizada. A Tabela 2.2 apresenta um exemplo de orçamento flexível.

| | Nível de produção | | | Taxa estimada por hora de mão-de-obra direta |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| | 700 | 1000 | 1300 | |
| Horas estimadas de mão-de-obra direta | 2.450 | 3.500 | 4.550 | |
| Custos indiretos de produção variáveis: | | | | |
| Mão-de-obra indireta | \$ 1.470 (A) | \$ 2.100 (D) | \$ 2.730 (G) | \$ 0,60 |
| Materiais indiretos | 637 (B) | 910 (E) | 1.183 (H) | 0,26 |
| Suprimentos | 441 (C) | 630 (F) | 819 (I) | 0,18 |
| Custos indiretos de produção variáveis totais | \$ 2.548 | \$ 3.640 | \$ 4.732 | \$ 1,04 |
| Custos indiretos de produção fixos: | | | | |
| Aluguel | \$ 1.100 | \$ 1.100 | \$ 1.100 | |
| Impostos prediais | 200 | 200 | 200 | |
| Depreciação do equipamento | 800 | 800 | 800 | |
| Total de custos fixos de produção | \$ 2.100 | \$ 2.100 | \$ 2.100 | |
| Total de custos indiretos de produção | \$ 4.648 | \$ 5.740 | \$ 6.832 | |
| Cálculos: | | | | |
| | (A) 2.450 X \$ 0,60 | (D) 3.500 X \$ 0,60 | (G) 4.550 X \$ 0,60 | |
| | (B) 2.450 X \$ 0,26 | (E) 3.500 X \$ 0,26 | (H) 4.550 X \$ 0,26 | |
| | (C) 2.450 X \$ 0,18 | (F) 3.500 X \$ 0,18 | (I) 4.550 X \$ 0,18 | |

Tabela 2.2 – Orçamento Flexível. Fonte: Cashin e Polimeni (1982)

Também em relação aos orçamentos, Leone (1983) afirma que a Contabilidade de Custos deve utilizá-los para se determinar a taxa de absorção que é empregada para apropriar estes custos à produção, sendo que esta taxa pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{Taxa de absorção} = \frac{\text{DIF orçadas}}{\text{Base de volume}} \quad (2.5)$$

E a base de volume pode ser relacionada com:

- Produção estimada em unidades,
- Valor estimado de materiais,
- valor estimado de mão-de-obra direta,
- Horas estimadas de mão-de-obra direta,
- Horas estimadas de máquina.

Variações dos Custos Indiretos de Fabricação

De acordo com Martins (2001), é de grande importância identificar e localizar a razão das diferenças como por exemplo:

- Variação de Volume que pode ter como causas: um problema de mercado fora do controle da empresa, uma falha do Departamento de Vendas corrigível com medidas específicas, problemas com quebras de máquinas, falta de energia, falta de matéria-prima ou ineficiência do pessoal.
- Variação de Eficiência que tem as seguintes causas possíveis: Padrão muito apertado, baixa produtividade em função da qualidade do pessoal, falta de pessoal especializado que se encontra em férias, rotação de pessoal.

A Figura 2.4 mostra um esquema básico das causas das variações dos Custos Indiretos de Fabricação, onde:

VE = Variação de Eficiência

HR = Tempo real de mão-de-obra

HP = Tempo padrão de mão-de-obra

TA = Taxa de absorção

VV = Variação de volume

HO = Tempo orçado de mão-de-obra

VO = Variação de orçamento

CIF = Custos Indiretos de Fabricação

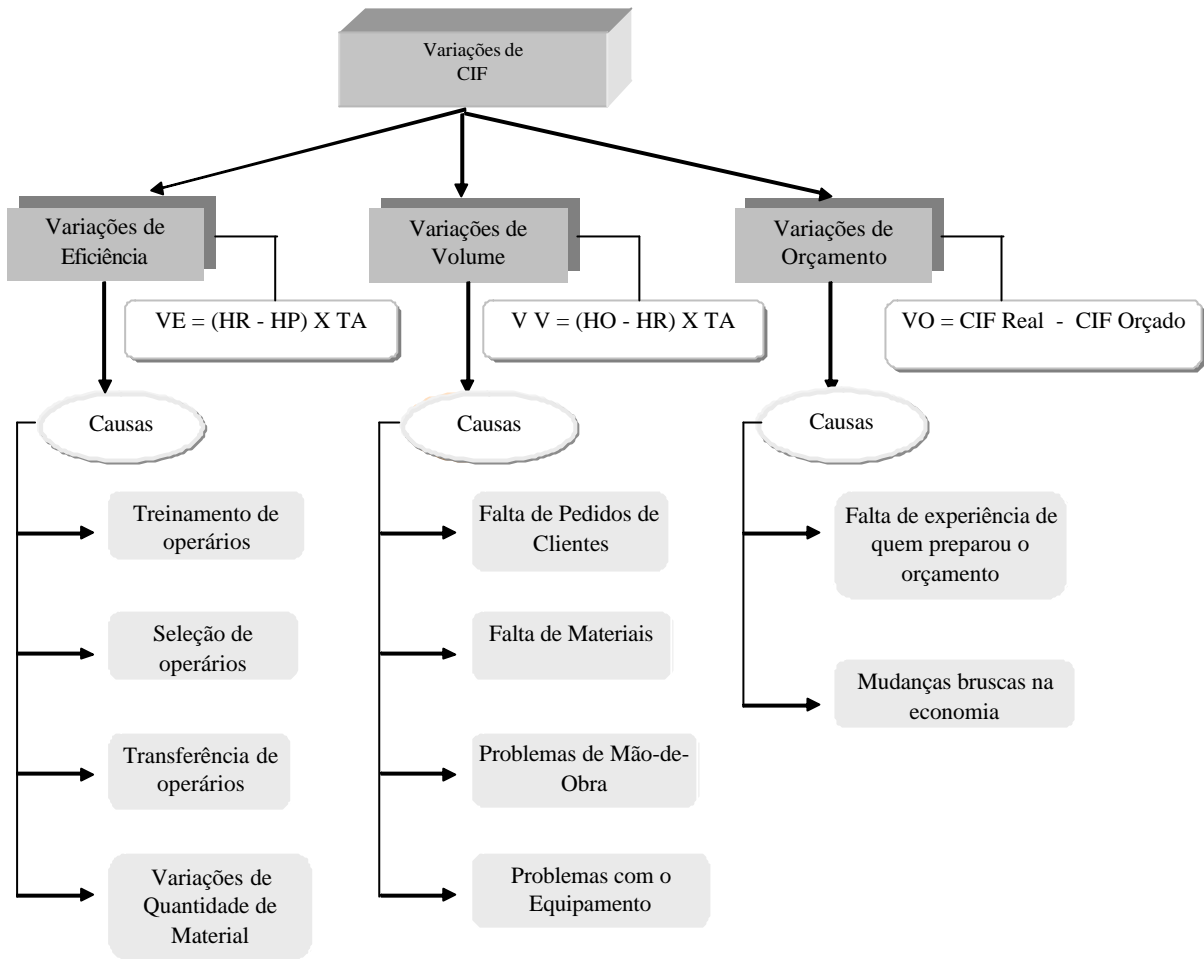


Figura 2.4 – Esquema básico das variações dos Custos Indiretos de Fabricação (CIF).
 Fonte: Adaptação de Silva (1977).

Para Leone (1997), as discrepâncias são os desvios observados quando se confronta os custos-padrão e os custos históricos de um item, de uma atividade, de um objeto de custeio, sendo os custos históricos aqueles custos e despesas que podem ser facilmente identificados com os objetos de custeio.

De posse de um bom custo padrão e de um sistema de boa apuração do custo real, o importante para a gestão dos custos é que se tenha a conduta de se questionar os desvios ocorridos, analisando-se cuidadosamente as divergências e tomando-se as medidas rápidas para a correção das mesmas. No entanto esta atitude, mesmo sendo considerada importante a ser praticada pelos gestores, ainda poderá ser enriquecida e contribuir melhor para a qualidade das tomadas de decisões quando incorporada à uma atitude mais proativa que considere a construção prévia de cenários. Para isto, o entendimento das possíveis variações das parcelas que constituem os custos poderá ajudar na elaboração destes cenários.

De acordo com Santos (1998), o resultado econômico global da organização está diretamente relacionado ao resultado de cada decisão gerencial tomada e o modelo de decisão deve evidenciar os impactos financeiros, operacionais e econômicos das diversas alternativas de realização de uma transação. Com estas abordagens entende-se que:

- O modelo de decisão deve evidenciar os impactos financeiros que estão diretamente relacionados à estrutura de custos conforme mostrado na Figura 2.1;
- A viabilidade financeira de uma empresa se relaciona diretamente com seu fluxo de caixa que depende das suas receitas, dos custos e despesas de seus produtos ou serviços;
- Os custos estão susceptíveis a muitas variações e a grande maioria delas foge do controle das empresas, o que cria um ambiente de incertezas afetando diretamente a gestão e as decisões organizacionais.

2.6 Considerações Finais

A contabilidade de custos, nos últimos anos, tem sido criticada por não apresentar sistemas de custeio correspondentes à crescente complexidade e à evolução tecnológica dos sistemas produtivos das organizações.

Entre os autores que afirmam esta condição estão Johnson e Kaplan (1993) cujo livro traduzido no Brasil como *Contabilidade Gerencial: a restauração da relevância da contabilidade nas empresas*, são criticados os métodos que têm sido utilizados pela contabilidade de custos, considerando-os inadequados para as empresas contemporâneas devido à distância que os custos atualmente possuem da atividade produtiva da empresa.

Conforme Johnson (1993), isto ocorreu porque a principal finalidade dos atuais sistemas de custos contábeis tem sido fornecer informações para a análise dos resultados da empresa tais como o retorno sobre o investimento ou somente para prestação de contas ao governo no caso de impostos.

De fato, estas informações são utilizadas apenas para justificar o resultado contábil da empresa não tendo, de maneira geral, eficácia na gerência dos custos incorridos na empresa.

De acordo com Kaplan (1998), os sistemas de custeio entre outras finalidades devem oferecer *feedback* (retorno de informações) econômico sobre a eficiência do processo a

gerentes e operadores e, para tal, as informações sobre os custos devem ser precisas e adequadas, de forma a agregar valor às decisões estratégicas e proporcionar aprimoramentos operacionais.

Para Martins (2001), com o incremento da competição na maioria dos mercados, sejam eles industriais, comerciais ou de serviços, os custos tornam-se extremamente relevantes para alicerçar uma boa tomada de decisão no ambiente empresarial, visto que os preços a praticar não devem estar de acordo com os custos incorridos, mas sim baseados naqueles preços praticados nos respectivos mercados de atuação.

Porém, as decisões tomadas não se apresentam acompanhadas de previsões exatas devido a uma série de fatores tais como as flutuações de preços de matérias-primas, salários, condição normalmente fora do controle das empresas (THOMPSON, 1995). Esta imprevisibilidade ou estas incertezas naturais que compõe o dia a dia dos processos decisórios normalmente não são consideradas e as decisões tradicionalmente são determinísticas (CORRAR, 1993).

Corrar (1993) recomenda que em condições de incerteza, uma das alternativas para se obter cenários mais objetivos que propicie as melhores decisões é o emprego do modelo de Simulação de Monte Carlo (SMC).

Tendo como relevante a possibilidade de utilização da simulação para a construção de cenários em ambientes de incertezas e, considerando que o sistema de custeio é pilar importante para o processo de decisão nas empresas, este trabalho tem o objetivo de propor a SMC como forma de contribuição para a gestão dos custos industriais.

CAPÍTULO 3

Simulação de Monte Carlo (SMC)

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo aborda os conceitos da Simulação de Monte Carlo, sua utilização na área financeira e a contribuição da mesma na gestão de custos.

3.2 Metodologia da Simulação

3.2.1 Uso da Simulação

Trabalhar para que as decisões empresariais sejam tomadas de maneira mais científica, de forma que as informações sejam acompanhadas de mudanças que ocorrem nos seus mercados de atuação, aumenta o impacto das estratégias para clientes e consumidores no contexto de complexidade que se inserem as organizações empresariais no mundo de hoje, e assim uma das formas evolutivas se dá através da simulação.

Na simulação é considerada a intuição, a experiência de profissionais e especialistas juntamente com uma lógica matemática. Com o desenvolvimento expressivo da informática, muitas ferramentas têm se tornado cada vez mais acessíveis em relação a custos e praticidade de uso, o que tem contribuído substancialmente para a melhoria das decisões empresariais.

Gavira (2003) apresenta algumas atividades onde pode ser empregada a técnica de simulação:

- Experimentação e avaliação, isto é, na tentativa de prever conseqüências de mudanças sem a necessidade de implementá-las no sistema real, o que poderia acarretar gastos excessivos sem a garantia de se obter os resultados esperados;
- Projetos e análise de sistemas de manufatura;
- Compreensão de um sistema real (componentes, interações, processos);
- Análise dos efeitos de variações do meio-ambiente na operação de um sistema;

- Verificação ou demonstração de uma nova idéia, sistema ou maneira de resolução de um problema;
- Projeção do futuro, isto é, previsão e planejamento quantitativo.

Assim, a simulação torna-se bastante útil, pois possibilita a análise de algumas situações que a empresa pode enfrentar antes que chegue este momento, além de permitir um entendimento mais aprofundado do problema que está sob estudo. A simulação permite o estudo do sistema real com muito menos risco, com o mínimo custo e de forma rápida.

Segundo Lobato (2000), simulação é o processo de projetar um modelo lógico ou matemático de um sistema real e conduzir experimentos em computador com o modelo para descrever, explicar e prever o comportamento do sistema real.

Para Pinto (2001), simulação é uma ferramenta versátil que permite às Companhias responder questões tipo “*what if*” (o que aconteceria se..) sobre mudanças em seus sistemas sem ser necessário efetuar as mudanças na prática.

Com o avanço dos computadores, a simulação estendeu-se a muitas indústrias através da criação de programas específicos, mais flexíveis, com melhor animação, menor tempo de programação, maior foco na análise dos resultados, melhores recursos gráficos, melhor comunicação e interação com os usuários, permitindo o acesso de profissionais de diversas áreas com diferentes níveis de conhecimento em simulação. A Figura 3.1 resume a evolução das ferramentas de simulação nas últimas décadas:

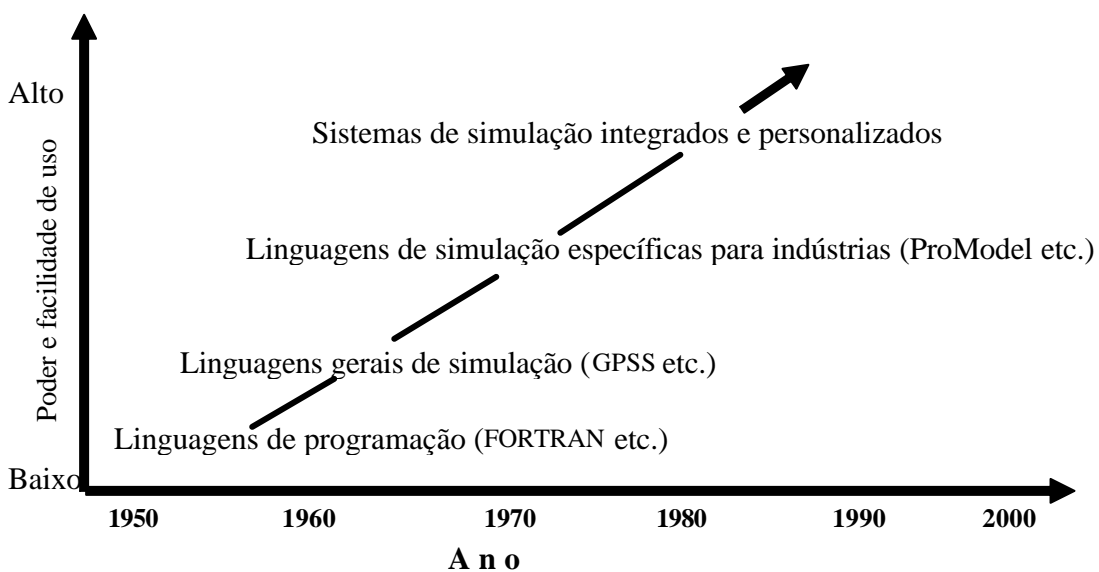


Figura 3.1 – Evolução das ferramentas de simulação computacional. Fonte: Gavira (2003).

3.2.2 Vantagens e desvantagens da Simulação

A simulação apresenta inúmeras vantagens conforme citam Law e Kelton (2000) e Saliby (1989):

- Soluções rápidas: no contexto de incertezas em que se insere o ambiente das empresas, onde tudo muda muito rápido, o emprego da simulação pode ser uma vantagem muito importante;
- Grande flexibilidade: a simulação pode ser aplicada aos mais variados problemas;
- Escolha correta: a simulação permite que se teste muitos pontos de uma possível mudança, sem que haja comprometimento de recursos;
- Diagnóstico de problemas: nos casos de sistemas complexos, a simulação permite entender de forma melhor as interações entre suas variáveis, o que leva a um diagnóstico mais eficiente dos problemas.

Além das vantagens, Law e Kelton (2000) e Saliby (1989) enumeram também algumas desvantagens de simulação, tais como:

- A modelagem e a análise da simulação podem ser dispendiosas em termos de recursos financeiros e de tempo;
- Os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar, pois geralmente as saídas da simulação são variáveis aleatórias;
- Os resultados da simulação podem ser de difícil implementação;
- Dificuldade de modelagem;
- A construção de modelos requer experiência, fato que exige treinamento especial e tempo para o aprendizado e o aperfeiçoamento.

3.2.3 O modelo de Simulação

De acordo com Shamblin (1979), a simulação é uma ferramenta muito valiosa por permitir obter uma resposta a um problema particular, principalmente quando se tem um sistema complexo. Dentre os vários tipos de simulações, destaca-se aquele descrito por

modelos matemáticos que após manipulações adequadas de um determinado sistema real, tem-se os resultados.

Um modelo matemático estudado através da simulação é chamado de modelo de simulação. Toda simulação requer a construção de um modelo com o qual serão feitos os experimentos (SALIBY, 1989).

Gavira (2003) explana que os modelos são de baixo custo e permitem o conhecimento mais rápido quando comparados com o sistema real que representam. Assim, estes modelos têm sido aceitos como um meio de estudar fenômenos complexos e de provar a melhoria da compreensão das características de comportamento do sistema real. Um modelo resume o funcionamento do sistema num pequeno número de variáveis que permite sua apreensão pelo intelecto humano. A Figura 3.2 apresenta uma noção dos princípios utilizados no processo de modelagem.

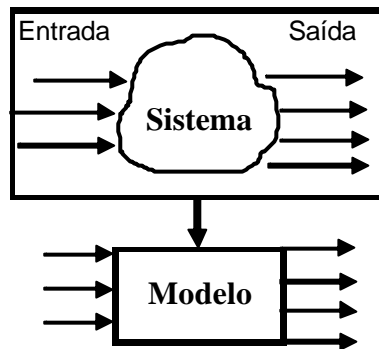


Figura 3.2 Processo simples de modelagem. Fonte: Gavira (2003).

Gavira (2003) recomenda que, para a construção de modelos e sua explicação com alto grau de precisão, torna-se necessário uma seleção correta das variáveis mais significativas que descrevem o comportamento do sistema e, embora a perfeita exatidão seja dada por um grande número de variáveis, apenas um pequeno número delas explica a maior parte do mesmo. Assim, o ponto certo é descobrir as variáveis certas e a relação entre elas. Neste trabalho serão abordadas variáveis contínuas que assumem qualquer valor real e variáveis aleatórias, caracterizados pela função contínua de densidade de probabilidade, o que permite elaborar uma simulação probabilística.

A simulação estocástica ou probabilística de um sistema oferece meios para a geração de inúmeras seqüências independentes do fenômeno. Cada sorteio gera uma nova série, diferente da histórica, mas com as mesmas propriedades estatísticas e igualmente provável. Como as séries são distintas entre si, são obtidos diversos resultados provenientes das simulações ao invés de um único resultado, caso apenas a série histórica estivesse disponível permitindo ao planejador tomar sua decisão baseado, não em um evento isolado, mas na análise probabilística do fenômeno estudado (STUDART, 2000).

Pareja (2003) sugere os seguintes passos para se efetuar uma simulação probabilística:

- a) Preparar um modelo dos resultados, levando-se em conta a relação entre as diferentes variáveis.
- b) Determinar as variáveis que participarão da simulação.
- c) Determinar as distribuições de probabilidade das variáveis a serem simuladas, sendo que estes dados podem ser históricos ou obtidos através de uma análise subjetiva.
- d) Estabelecer as correlações entre variáveis.
- e) Calcular o número de simulações a fazer, considerando o erro aceitável e a confiabilidade, pois simulação é uma amostra que se toma de um universo infinito de possibilidades.
- f) Rodar a simulação. Cada rodada é um cenário possível e consistente baseado nos supostos estabelecidos do modelo. Cada resultado deve ser guardado.
- g) Analisar estatisticamente os resultados. Por exemplo, valor esperado, variância, probabilidade de que os resultados assumam certos valores, histograma ou gráfico de probabilidades, lucro esperado, etc.

3.2.4 Passos da Simulação

Conforme Gavira (2003), os passos considerados para se efetuar este estudo de simulação estão apresentados na Figura 1.2 deste trabalho e enumerados a seguir.

a) **Formulação do problema e Planejamento do estudo**

Para começar um experimento de simulação, deve-se iniciar a formulação do problema e o planejamento do estudo decidindo também se o estudo será feito pelas pessoas ligadas diretamente ao problema a ser simulado ou por analistas de simulação. Independente da decisão da escolha de um ou outro, o importante é que as partes trabalhem juntas para se obter uma maior eficiência. Este primeiro passo se compõe das seguintes etapas:

- O problema de interesse é detectado pelo tomador de decisão do sistema;
- Reuniões entre os tomadores de decisão, analistas e especialistas nos problemas devem ser realizadas para se determinar:

- Objetivos do estudo;
- Questões a serem respondidas;
- Avaliadores de desempenho que serão utilizados para se medir a eficácia de diferentes configurações do sistema;
- Configurações do sistema a ser modelado;
- Equipamento e programa de simulação a serem utilizados;
- Estrutura de tempo para o estudo e recursos requeridos.

O problema pode ser reformulado à medida que se realiza o estudo. O planejamento do estudo deve conter uma declaração de sistemas alternativos a serem considerados e o método de avaliação da eficiência dos mesmos.

b) Coleta de dados e Definição do Modelo

Nesta fase, o sistema real sob investigação é abstraído através de um modelo conceitual e, ao mesmo tempo, dados do sistema são coletados.

Segundo Gavira (2003), a coleta refere-se a dados quantitativos e qualitativos sobre entradas e saídas do sistema, bem como informações sobre os componentes do sistema e suas relações. Também se decide entre a utilização de dados empíricos diretamente no modelo ou o uso de distribuições probabilísticas teóricas. Segundo esse autor, a construção do modelo é mais arte do que ciência, sendo obrigatório conhecer algo sobre o sistema que se quer estudar e sobre o método a ser utilizado. O conhecimento que se usa para construir o modelo é obtido através de referências bibliográficas e experiência. Como este estudo vale-se de modelos de simulação, a utilização de equações matemáticas serão as ferramentas empregadas.

Conforme Gavira (2003), a formulação do modelo consiste na especificação de seus componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais. Conforme o autor, para que um modelo seja considerado válido ele deve:

- Ser simples de entender pelo usuário;
- Ser simples de ser controlado e manipulado pelo usuário;
- Ser completo em questões importantes;
- Ser robusto, isto é, não deve dar respostas incoerentes;
- Ser adaptativo, com um procedimento simples para modificação e atualização do modelo.

Esta fase consiste nos seguintes pontos:

- Coleta de informações nos procedimentos de operação e no arranjo físico;
- Coleta de dados para especificar os parâmetros do modelo e as distribuições de probabilidade das entradas;
- Delineamento das informações e dados do item anterior no modelo conceitual;
- Determinação dos níveis de detalhe do modelo, tais como:
 - Objetivos do projeto de simulação;
 - Medidas de desempenho;
 - Disponibilidade de dados;
 - Credibilidade;
 - Restrições computacionais;
 - Opiniões das pessoas ligadas ao sistema;
 - Restrições de tempo e capital.
- Interação regular com o tomador de decisão.

Outro aspecto que se possível deve ser considerado nesta fase é que os resultados a partir de testes realizados em materiais supostamente idênticos e em circunstâncias supostamente idênticas geralmente não são idênticos, atribuindo-se as diferenças a erros aleatórios inevitáveis, presentes nos procedimentos dos testes. Conforme Hamaoka (1998), em Estatística, pode-se definir precisão de um método de teste como sendo o grau de dispersão de uma variável em uma distribuição de resultados obtidos da aplicação de procedimentos estabelecidos, sob as mesmas condições; quanto menor for a dispersão, maior será a precisão dos resultados. Normalmente, a variabilidade entre os testes realizados por operadores ou equipamentos diferentes será maior do que entre os testes realizados com um único operador e usando o mesmo equipamento. Na interpretação dos resultados de testes, deve-se considerar estas variabilidades e conforme Moura (1998), utilizar os conceitos de:

Repetibilidade

Também chamada de repetitividade, é o valor limite da variação nas medidas de uma grandeza, obtidas com um dispositivo de medição, quando usado várias vezes por um mesmo operador, medindo a mesma característica na mesma peça e em condições iguais de testes. As medições são realizadas em um intervalo mínimo de tempo e apresentam a menor

variabilidade possível nos resultados. A repetibilidade, indicada pela letra r , é associada a um nível de confiança, usualmente 95%, estabelecido juntamente com as demais condições de teste. Desta forma, a repetibilidade é o valor abaixo do qual a probabilidade de haver uma diferença entre dois resultados de um teste é 95%.

Reprodutibilidade

Denominada também de reprodutividade, é o valor limite da variação na média das medidas realizadas por diferentes operadores, utilizando o mesmo dispositivo de medição, medindo característica idêntica nas mesmas peças e nas mesmas condições. As medições são feitas em um intervalo máximo de tempo e apresentam a maior variabilidade possível nos resultados. Da mesma forma que a repetitividade, é avaliada geralmente para um nível de 95% de confiança, comparando-se instrumentos ou equipamentos diferentes, utilizados na determinação da mesma característica. Desta forma, a reprodutibilidade, indicada pelo símbolo R , é o valor abaixo do qual a diferença entre dois resultados possui uma probabilidade de ocorrência de 95%.

c) Validação do modelo conceitual

Esta fase tem por finalidade fazer uma análise estruturada do modelo conceitual de forma a garantir que as suposições do modelo estejam corretas e completas, além de evitar reprogramações futuras.

d) Construção do programa computacional e verificação

Esta fase é dividida em duas atividades:

- Programação do modelo em uma ferramenta de simulação;
- Verificação do programa de simulação, com a devida eliminação de erros.

Sistemas reais resultam em modelos que requerem um grande esforço de manipulação de informações, por isso o modelo deve ser concretizado em um formato computacional reconhecível. Nesta etapa, o modelador deve decidir se programa o modelo numa linguagem de proposto geral (FORTRAN ou C), numa linguagem de simulação (GPSS/H, SIMAN V, SIMSCRIPT II.5), ou se usa um pacote de simulação (STELLA, ProModel, ARENA, etc). Cada tipo de ferramenta se apresenta com vantagens e desvantagens.

O segundo passo consiste na verificação do programa computacional, se ele é adequado para o modelo e se funciona adequadamente.

e) Realização de execuções piloto

Esta etapa consiste na realização de execuções piloto para validação proposta no item **f**. Alguns termos são empregados, tais como:

- Execuções ou replicações: refere-se à realização de uma simulação (execução do programa) com os mesmos parâmetros com as mesmas distribuições de probabilidade de entrada, etc.
- Simulação: referem-se às execuções do programa usando diferentes parâmetros; uma simulação é composta de diversas execuções.

As execuções são necessárias para que se tenha resultados mais confiáveis para o modelo, pois em se tratando de variáveis aleatórias, cada execução produzirá respostas diferentes, o que significará maior proximidade de uma situação real.

f) Validação do modelo programado

Validação é a determinação de que o modelo é uma representação confiável do sistema real. A validação é geralmente conseguida através da calibração do modelo, consistindo de um processo iterativo de comparação entre o modelo e o comportamento real do sistema, bem como do uso de discrepâncias entre os dois e das idéias obtidas para melhorar o modelo. Dentre as técnicas de ponderação da validade e credibilidade do modelo pode-se citar:

- Coleta de informações e dados de alta qualidade no sistema:
 - . Comunicação com especialistas no sistema;
 - . Observações do sistema;
 - . Teoria existente;
 - . Resultados relevantes de estudos de simulação similares;
 - . Experiência e intuição dos modeladores;
- Interação constante entre gerentes e analista;
- Validação da saída do modelo de simulação;

- Comparação das saídas do modelo e do sistema;
- Análise de especialistas.

Os métodos de validação podem seguir os preceitos abaixo:

- Se há um sistema real, compara-se as medidas de desempenho e os resultados do modelo e do sistema real;
- Independente de haver ou não um sistema real, os analistas de simulação ou pessoas ligadas ao sistema devem revisar os resultados do modelo para correções;
- A utilização de análise de sensibilidade para determinar quais fatores do modelo tem um impacto significativo nas medidas de desempenho e devem, então, ser modelados com cuidado;
- A avaliação pode ser feita através da comparação dos resultados obtidos de um método interno com os resultados obtidos de um método de referência a fim de estudar o grau de proximidade dos resultados obtidos pelos dois métodos, ou seja, avaliar a exatidão interna relativamente ao método de referência (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2002).

Conforme Milone (2001), Sain (2001), Accorsi (2003), uma forma de validação de modelos internos quando comparados com modelos-padrão consiste na utilização do método *Back Test*, que se trata de uma técnica que faz comparação dos dados previstos com os dados reais, condição que deve ser avaliada quando se trabalha por exemplo em análise de riscos no mercado financeiro.

g) Experimentação

Nesta etapa são determinados os seguintes itens:

- Comprimento das simulações;
- Número de simulações e suas configurações;
- Condições iniciais da simulação.

Conforme Maria (1997), projetar os ensaios da simulação envolve a resposta de questões como: que resultados serão necessários obter, em que forma, e quanto?

Este autor argumenta que na condição de um modelo complexo de simulação, é recomendado o emprego do projeto de experimentos para se determinar aquelas poucas variáveis de entrada que possam exercer forte influência no processo.

Conforme Paiva (2004), Projetos de Experimentos (*Design of Experiments – DOE*) pode ser utilizado como:

- projeto Exploratório, para determinar dentro de um grande número de variáveis (X) que podem influenciar uma ou mais respostas (Y), aquelas variáveis realmente significativas que deveriam ser levadas adiante em um estudo mais complexo;

- projetos fatoriais, para determinar a função de transferência entre os poucos X's vitais e a resposta Y.

Ainda, segundo este autor, para se projetar experimentos eficientes, dados históricos devem ser utilizados para se avaliar o número de níveis adotados para cada fator, ressaltando que a aleatorização do experimento é importante para garantir a variação incontrolável seja da mudança de níveis dos fatores seja do erro aleatório.

Conforme Acorssi (2003) na Simulação com dados históricos a composição dos mesmos, por exemplo utilizando-se os mais recentes, leva a uma maior confiabilidade das informações simuladas, mas pouco informa com antecedência as variáveis X's que interferem na resposta Y. Assim, pode-se dizer que o projeto de experimentos e simulação são procedimentos distintos, porém o primeiro pode ser utilizado para auxiliar na modelagem do segundo (simulação), concluindo assim que os mesmos podem ser considerados complementares.

h) Realização das execuções de simulação

Várias simulações e execuções são realizadas para que os resultados e medidas de desempenho sejam empregados na Seção i).

i) Análise de Resultados

Os dois maiores objetivos na análise dos dados de saída são:

- a. Determinação do desempenho absoluto de certas configurações do sistema;
- b. Comparação de configurações alternativas do sistema em termos relativos.

Para se comparar os dados de saída do modelo e do sistema, alguns procedimentos estatísticos são empregados, tais como:

- Testes estatísticos clássicos (como t, qui-quadrado, *Kolmogorov-Smirnov*, etc.) para determinar se dois conjuntos de dados podem ser considerados semelhantes;
- Abordagem por inspeção: onde estatísticas como média, variância simples, função de correlação e histogramas.
- Abordagem de intervalo de confiança baseado em dados independentes.
- Abordagem de séries temporais.

j) Documentação e implementação

Um projeto de simulação para ser considerado completo deve ser aceito, compreendido e usado. Uma documentação adequada serve para auxiliar o entendimento do estudo realizado e para dar credibilidade aos resultados do processo, facilitando modificações pelo analista por permitir o conhecimento de um conjunto de subprogramas que pode ser reutilizado em projetos futuros. Uma cuidadosa e completa documentação de todas as fases do projeto também auxiliam muito o estágio de implementação. Assim, esta atividade possibilita:

- A utilização do mesmo programa, ou de parte dele, pelo mesmo analista ou por outro;
- A mudança de parâmetros do modelo pelos usuários;
- A diminuição dos esforços para determinação de relacionamentos, parâmetros de entrada e medidas de desempenho;
- A cronologia do trabalho realizado e das decisões tomadas.

Há dois tipos de documentação em estudo de simulação: do programa e do desenvolvimento da simulação (relatórios parciais e final).

Gavira (2003) sugere que sejam realizados relatórios freqüentes (pelo menos mensais) durante o desenvolvimento do estudo de simulação, reforçando que esses relatórios devem prover um registro compreensivo das realizações, mudanças e decisões chave do processo. Já o relatório final deve ser composto de especificações do modelo, demonstrações da evolução da construção do modelo, análises intermediárias, configurações alternativas do sistema,

critérios de comparação de alternativas, resultados de treinamentos, animações, documentação do programa, resumo dos relatórios parciais do progresso e a (as) solução (ões) final (is) do problema.

Esses relatórios ajudam a dar confiabilidade ao estudo e ao modelo frente aos gerentes, assim como permite aos envolvidos uma maior compreensão do sistema estudado.

O sucesso da fase de implementação depende do bom desenvolvimento de todas as fases anteriores. Esta etapa é favorecida no caso de analistas e gerentes trabalharem juntos durante todo o estudo, pois o tempo necessário para persuadir o gerente sobre os benefícios do projeto é menor e sua motivação e comprometimentos com o estudo são estimulados.

Esta fase se resume em:

- Documentação das suposições, do programa de simulação e dos resultados do estudo para uso em projetos atuais e futuros;
- Resultado do estudo atual.
 - Uso de animação para difundir o modelo entre os tomadores de decisão e outras pessoas que não estão familiarizadas com os detalhes do modelo.
 - Discussão da construção do modelo e do processo de validação para promover sua credibilidade.
- Utilização dos resultados no processo de tomada de decisão, caso eles sejam válidos e tenham credibilidade.

Apesar dos passos de simulação serem seqüenciais, as simulações não são simples processos seqüenciais. Há, muitas vezes, a necessidade de se refazer passos anteriores, fato indicado na Figura 1.2 através das setas retroativas.

Os passos abordados nesse item são explicados concisamente já que seu estudo é muito amplo. As investigações sobre a metodologia de simulação são tão extensas que alguns de seus passos (análise de dados estatísticos, construção de modelos) tornaram-se temas principais de diversos livros, teses e dissertações.

3.3 Números aleatórios

A geração de observações aleatórias se realiza por meio de números ou dígitos (de 0 a 9) aleatórios. Número aleatório é um número em uma seqüência de números cuja probabilidade de ocorrência é a mesma que de qualquer outro número na seqüência sendo que

os números sejam selecionados de maneira que cada um deles tenha a probabilidade igual de aparecer, sem levar em conta o número de vezes que cada um deles tenha aparecido antes.

De acordo com Levin (1987), a amostra aleatória ou casual, pode ser obtida através de um processo semelhante à técnica onde se escreve o nome de cada um em pedacinhos de papel e, com os olhos vendados, extrai-se apenas alguns nomes de um chapéu. Neste procedimento, somente um pedaço de papel por pessoa é colocado no chapéu, o que dá a cada membro da população oportunidade igual de ser selecionado. Por razões práticas, não se usa esta técnica em simulação, mas sim uma tabela de número aleatórios como pode ser observado na Tabela 3.1, que reproduz parte de uma tabela completa.

| | | <i>C o l u n a</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| <i>L</i> | 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 7 | 5 | 4 | 8 | 5 | 9 | 0 | 1 | 8 | 3 | 7 | 2 | 5 | 9 | 9 | 3 |
| <i>i</i> | 2 | 6 | 2 | 4 | 9 | 7 | 0 | 8 | 8 | 6 | 9 | 5 | 2 | 3 | 0 | 3 | 6 | 7 | 4 | 4 | 0 |
| <i>n</i> | 3 | 0 | 4 | 5 | 5 | 5 | 0 | 4 | 3 | 1 | 0 | 5 | 3 | 7 | 4 | 3 | 5 | 0 | 8 | 9 | 0 |
| <i>h</i> | 4 | 1 | 1 | 8 | 3 | 7 | 4 | 4 | 1 | 0 | 9 | 6 | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 4 | 8 |
| <i>a</i> | 5 | 1 | 6 | 0 | 3 | 5 | 0 | 3 | 2 | 4 | 0 | 4 | 3 | 6 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 |

Tabela 3.1 – Números aleatórios. Fonte: Levin (1987).

Estas tabelas especiais contêm uma série muito grande de números ou dígitos, cumprindo a condição de igualdade de probabilidade de ocorrência e permitindo uma amostra não-viesada semelhante à produzida pela retirada de nomes, com olhos vedados, de um chapéu.

Conforme Levin (1987), para se extrair uma amostra casual simples ou aleatória através da tabela, o pesquisador deve organizar primeiro uma lista dos componentes da população e, em seguida, atribuir a cada um deles, um (e somente um) número de identificação. O autor apresenta um exemplo prático de utilização da tabela dado pelos passos abaixo:

- a) Pesquisar 500 alunos matriculados em uma disciplina específica
- b) Obter a lista dos nomes dos alunos e, para cada um deles, atribuir, sem repetição, um número de série 001, 002, 003, etc. até 500.
- c) Obter uma amostra de 50 alunos, que representem os 500 membros da população, extraindo números da tabela de números aleatórios.

- d) Consultar a tabela, a partir de qualquer número e, de olhos fechados por exemplo, mover-se em qualquer sentido para pegar os números adequados até que os 50 membros fossem selecionados.
- e) Olhando a tabela de números aleatórios, por exemplo, a intersecção entre a coluna 1 com a linha 3, caminhando para a direita e pegando todos os números entre 001 e 500, teríamos que os primeiros números que aparecem são 0,4 e 5. Assim, o aluno número 045 é o primeiro membro da população selecionado para compor a amostra. Continuando para a direita, verifica-se que os próximos números que aparecem dentro da faixa desejada são o 4, 3 e 1, de modo que o aluno de número 431 da lista também é selecionado para a amostra. Este processo continua até que os 50 alunos completem a amostra desejada. É importante ressaltar que números que se repetem, ou que não estão dentro da faixa desejada, não devem ser utilizados.

Com o advento dos computadores usa-se muito pouco tabela, pois estes equipamentos permitem a geração de números aleatórios em frações de segundos.

Conforme Levine (2000), existem duas funções no Excel, ALEATÓRIOENTRE() e ALEATÓRIO(), que fornecem números aleatórios com base em amostras simples. A função ALEATÓRIOENTRE produz valores *inteiros*, enquanto a função ALEATÓRIO fornece valores entre 0 e 1.

A função ALEATÓRIOENTRE assume a forma:

ALEATÓRIOENTRE (limite inferior, limite superior)

A função ALEATÓRIO assume a forma:

ALEATÓRIO()

e fornece um número aleatório entre 0 e 1.

De acordo com Bruni; et al. (1998) é impossível a obtenção de números aleatórios genuínos, mas sim números pseudo-aleatórios ou quase-aleatórios, pois para se garantir o caráter de aleatoriedade, seria necessário efetuar infinitos testes gerados por um mesmo processo e seguidos por uma infinidade de testes estatísticos. Conforme estes autores os critérios de aleatoriedade dos números pseudo-aleatórios gerados em computador seriam: a) uniformemente distribuídos; b) estatisticamente independentes; c) reproduzíveis, a fim de permitir comparação entre programas; d) não repetibilidade da série no intervalo de interesse; e) velocidade de geração; f) utilização de memória mínima do computador na geração.

Quando o modelo envolve amostragem aleatória de uma distribuição probabilística, é possível utilizar dois métodos similares de simulação sejam o Monte Carlo (MC) e o *Latin Hypercube* (LH). Conforme Niccoli; et al. (1998), o LH é uma combinação de amostras aleatórias simples com técnicas estratificadas de amostragem que conduzem a resultados estatísticos significantes com muito menos simulações e, comparado ao MC, produz estimativas imparciais da média e da função de distribuição de probabilidade do modelo de saída criando uma menor variância.

De acordo com informações colhidas no site do fabricante de softwares de análises de risco *Decisioneering, Inc.*, o LH trabalha segmentando a distribuição de probabilidade das hipóteses em um número de intervalos não sobrepostos, cada um de igual probabilidade. Para cada intervalo o software seleciona um valor aleatório de acordo com a distribuição de probabilidade dentro do intervalo. O conjunto de valores forma a amostra do LH. A Figura 3.3 ilustra como a distribuição pode ser fracionada em dez partes:

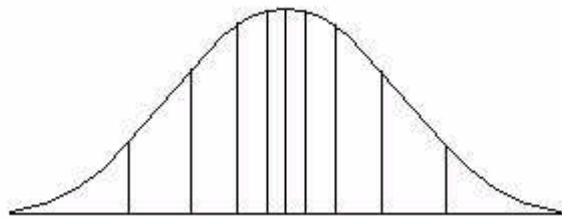


Figura 3.3 – Distribuição de probabilidade *Latin Hypercube*.

Fonte: *Decisioneering, Inc.* (2004).

Ainda conforme informações deste fabricante, a amostragem do LH é geralmente mais precisa para produzir amostras aleatórias do que o MC porque a totalidade da área da distribuição é amostrada de forma igual e consistente, o que permite uma mesma exatidão com um menor número de ensaios para um maior número de ensaios com o MC. Porém este método requer uma memória extra do computador para suportar toda a amostra de cada hipótese enquanto roda a simulação.

Apesar do foco estar na Simulação de Monte Carlo, este trabalho utiliza, de maneira breve, a simulação com *Latin Hypercube*.

3.4 Simulação de Monte Carlo

Para Bruni (1998), a simulação de Monte Carlo é uma técnica de amostragem artificial, empregada para operar numericamente sistemas complexos que tenham componentes aleatórios.

Quando se utiliza variável aleatória com distribuição de probabilidade conhecida, faz-se uso da Simulação de Monte Carlo cujo surgimento remonta ao ano 1949 com a publicação do artigo “The Monte Carlo Method” por Metropolis e Ulam (SOBOL, 1994).

No estudo da metodologia da Simulação de Monte Carlo, os matemáticos americanos John Von Neumann e Stanislaw Ulam são considerados os principais autores deste método. Na União Soviética, os primeiros documentos referentes ao Método de Monte Carlo foram publicados entre 1955 e 1956 por V.V. Chavchanidze, Yu. A. Shreider e V. S. Vladimirov. Destaca-se que a fundamentação teórica do método foi conhecida bem antes da publicação do artigo de Von Neumann e Ulam. Além disso, antes de 1949, foram resolvidos vários problemas estatísticos de amostragem aleatória, quer dizer, pelo Método Monte Carlo. Porém, devido à simulação de variáveis aleatórias ser muito trabalhosa de ser processada à mão, o uso do Método de Monte Carlo como uma técnica numérica universal só se tornou realmente prático com o advento de computadores (SOBOL, 1994).

Segundo Correia Neto, Moura e Forte (2002), a simulação de Monte Carlo teve sua origem durante a Segunda Guerra Mundial, no Projeto Manhattan, para a construção da bomba atômica, com a intenção de chegar a soluções aproximadas de problemas referentes à difusão randômica de nêutrons no material nuclear, através de simulações. O nome Monte Carlo foi dado por um de seus criadores, o matemático austríaco Stanislaw Ulam e é uma referência aos jogos de roletas nos cassinos de Mônaco. É um método baseado na utilização de números aleatórios que são sorteados para gerar resultados e as distribuições de probabilidade correspondentes.

Segundo Vose (1996), a Simulação de Monte Carlo oferece inúmeras vantagens sobre os demais métodos:

- As distribuições de probabilidades das variáveis não precisam ter exatidão;
- ser aproximadas;
- Correlações e outras interdependências podem ser modeladas;
- O nível de matemática envolvido na simulação não é muito alto;
- Existem *softwares* comercialmente disponíveis;
- Níveis mais elevados de precisão podem ser obtidos pelo aumento do número de interações;

- Cálculos matemáticos complexos podem ser incluídos sem muita dificuldade;
- O Método de Monte Carlo é amplamente reconhecido como uma técnica válida, de modo que os resultados de sua utilização podem ser facilmente aceitos;
- Mudanças no modelo podem ser feitas rapidamente.

Maia (2003) apresenta uma das considerações sobre a Simulação de Monte Carlo que representa a malha de uma peneira cuja abertura é considerada como sendo w , como mostra a Figura 3.4. Admitindo-se que a seção do fio de arame constituinte da peneira seja circular e com diâmetro igual a D , solicita-se a determinação da probabilidade da partícula esférica de diâmetro d ficar retida na malha da peneira.

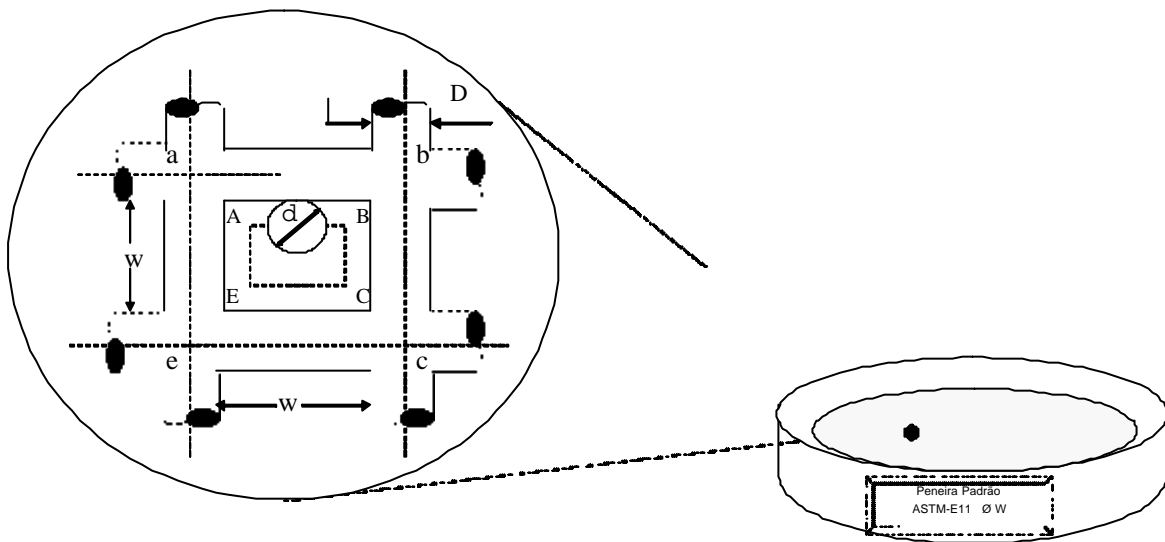


Figura 3.4 Peneira com abertura w . Fonte: Maia (2003).

Os possíveis resultados podem ser relatados a partir da localização do centro da esfera relativo à malha. Pode-se considerar, em toda malha da peneira, somente um quadrado desde que todos os quadrados presentes sejam similares. A probabilidade de a esfera atingir a malha pode ser medida pela probabilidade do centro da esfera se encontrar fora do limite $ABCE$. Os resultados possíveis são medidos pela área do quadrado $abce = (w+D)^2$. Assumindo que as esferas se encontrem uniformemente sobre a área $abce$, a região favorável é medida pela área do quadrado $ABCE$ e o quadrado $abce$, ou seja $(w+D)^2 - (w-d)^2$. O espaço amostral é a área $(w+D)^2$. Então a probabilidade requerida é dada por:

$$P(\text{esfera ficar retida}) = 1 - [(w-d) / (w+D)]^2 \tag{3.1}$$

$$P(\text{esfera passar}) = [(w-d) / (w+D)]^2 \tag{3.2}$$

Estes resultados fornecem indicações sobre que acontece no processo de peneiramento. Assumindo que não há interferência entre partículas, numa malha de #200, com $w = 0,074 \text{ mm}$, $D = 0,021 \text{ mm}$, a partícula com o diâmetro 90% da abertura $d = 0,067 \text{ mm}$ tem a probabilidade de 0,9915 de ficar retida na malha sob condições fixas. Se a peneira é movimentada através de N ciclos, a probabilidade de a partícula ficar retida após estes N ciclos será de $(0,9915)^N$. Para calcular o número de ciclos N necessários para haver o peneiramento, considerando que a probabilidade da partícula passar na peneira é de 90% e que a probabilidade dela ficar retida é de 10%, tem-se que $(0,9915)^N = 0,10$ ou $N = 270$ ciclos, uma tarefa manual dificilmente realizada.

Agora o objetivo é realizar o cálculo de outra maneira. Deseja-se calcular o valor numérico da integral limitada por $0 = f(x) = c$, $a = x = b$ dada por:

$$I = \int_b^a f(x)dx \quad (3.3)$$

Com o objetivo de realizar o cálculo do valor numérico por meio da Equação 3.3, Maia (2003) considera um retângulo de área $(b-a)c$, como apresentado na Figura 3.5a, e plotado dentro dos limites da integral $f(x)$. O valor da integral seria a área (região hachurada) limitada pela curva $f(x)$ dentro do intervalo (a, b) . Supõem-se agora, arremessos de dardos (ou pequenas esferas) aleatoriamente na direção do retângulo. Assim pode-se dizer que N_H são os acertos sobre a região hachurada, e N_M são os erros. Com a hipótese de uniformidade e um amplo estoque de dardos, a integral pode ser estimada por:

$$I \sim c(b-a)p \quad (3.4)$$

Onde:

N_H : Dardos que atingiram a região hachurada

N_M : Dardos que não atingiram a região hachurada

N : $N_H + N_M$

p : N_H/N , é a probabilidade dos acertos.

No lugar dos dardos, pode-se pensar em dois grandes grupos de números aleatórios uniformemente distribuídos r_1 e r_2 , com $a = r_1 = b$ e $0 = r_2 = c$. Como apresentado na figura

3.5b, seria gerado r_1 e avaliado $r_2 > f(r_1)$ constituindo a área fora do alvo e $r_2 < f(r_1)$, a região do alvo. Repetindo este processo para um grande número de pares de números aleatórios, a integral I pode ser estimada pela Equação 3.4.

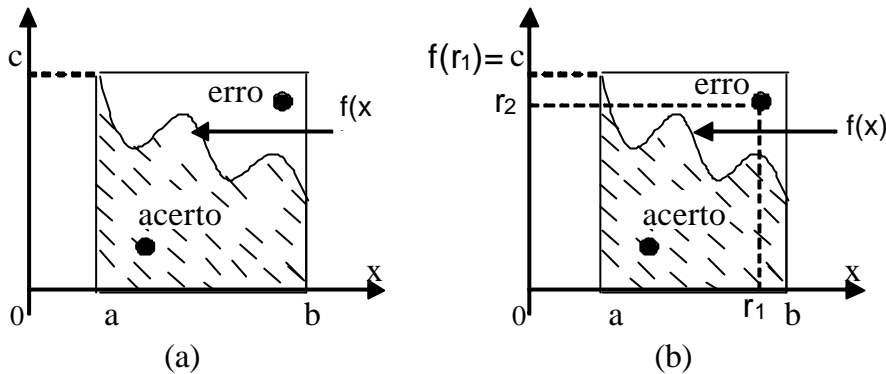


Figura 3.5 – Método de Monte Carlo: a) Arremesso de dardos e b) Função de integração.

Fonte : Maia (2003).

A metodologia descrita acima é denominada Metodologia de Monte Carlo do Erro-ou-Acerto. Assim, para que essa metodologia seja implementada, é necessário um gerador de números aleatórios, pois o método de Monte Carlo atualmente se baseia em procedimentos determinísticos dados por uma relação de recorrência, expressa pela seguinte equação:

$$X_N = AX_{N-1} \pmod{M} \tag{3.5}$$

Na equação 3.5, M é o multiplicador e A são números inteiros positivos. Como muitos computadores utilizam a base binária ou decimal, M é geralmente uma potência de 2 ou 10, ou seja, 2^Z ou 10^Z , com A escolhido próximo de $2^{Z/2}$. A notação $x = y \pmod{M}$ significa que x é o resto da divisão do número y por M . Por exemplo, $152 \pmod{100} = 52$. Com efeito, um valor inicial de x_0 é selecionado (usualmente como um número desconhecido), e então é multiplicado por A e operado pelo \pmod{M} para convergir a x_1 . O processo é repetido para produzir uma seqüência de números aleatórios uniformes (pseudo-aleatórios).

Para checar o número de Monte Carlo são necessárias várias tentativas, que conduzem ao êxito dentro de um nível específico de confiança. Cada tentativa é o resultado de um experimento com a probabilidade de sucesso R e a probabilidade de insucesso $(1 - R)$, sendo todas as tentativas independentes. Por conseguinte, as tentativas geram uma distribuição binomial. Para N tentativas, onde N é amplo, pode ser usada a aproximação normal para a

distribuição binomial com valor esperado de NR e desvio padrão de $\sqrt{NR(1-R)}$. O número x é definido como o número de sucesso das N tentativas (se a simulação de Monte Carlo for correta), tendo uma distribuição normal. O símbolo $x_{\tilde{a}/2}$ representa o número das N tentativas, de forma que a probabilidade de ter valores menores não serão maiores do que $\tilde{a}/2$. Conseqüentemente, tem-se a seguinte equação:

$$\frac{1}{2} - \frac{\tilde{a}}{2} = \mathbf{I} \left[\frac{\bar{x} - x_{\tilde{a}/2}}{s(x)} \right] = \mathbf{I} \left[\frac{NR - x_{\tilde{a}/2}}{\sqrt{NR(1-R)}} \right] \quad (3.6)$$

Após alguns cálculos algébricos tem-se:

$$N = \frac{R(1-R)^2}{e^2} h_{\tilde{a}/2}^2 \quad (3.7)$$

Onde:

$$h_{\tilde{a}/2} = \mathbf{I}^{-1} = \left(\frac{1}{2} - \frac{\tilde{a}}{2} \right) = \text{Valor apresentado na Tabela 3.2,}$$

$$e = R - \left(\frac{x_{\tilde{a}/2}}{N} \right) = \text{O máximo erro permissível na estimativa de } R.$$

O valor $R(1-R)$ é máximo quando $R = \frac{1}{2}$, e conservativamente adota-se como

$$R(1-R) = \frac{1}{4}.$$

Assim, simplificando a Equação 3.7 tem-se:

$$N = \frac{h\tilde{\alpha}/2}{4e^2} \quad (3.8)$$

| Nível de Confiança (%) ($1 - \tilde{\alpha}$) | $h\tilde{\alpha}/2$ |
|--|---------------------|
| 90 | 1,64 |
| 95 | 1,96 |
| 95,45 | 2,00 |
| 98 | 2,33 |
| 99 | 2,58 |
| 99,5 | 2,81 |
| 99,73 | 3,00 |
| 99,9 | 3,29 |
| 99,99 | 3,89 |
| 99,994 | 4,00 |

Tabela 3.2 – Coeficientes de confiança para distribuição normal.
Fonte: Maia (2003).

Quando se deseja uma simulação de Monte Carlo que não diferencie mais do que 5% do valor estimado ($e = 0,05$), ou seja, com 95% de confiança, ($1 - \alpha = 0,95$), recorre-se à Tabela 3.2, onde é obtido o valor de $h\tilde{\alpha}/2 = 1,96$. Agora de posse dos dados ($h\tilde{\alpha}/2$ e e) necessários, por meio da Equação 3.8 obtém-se o valor de N :

$$N = \frac{h\tilde{\alpha}/2}{4e^2} \quad \therefore \quad N = \frac{(1,96)^2}{4(0,05)^2} = 384,16 \text{ tentativas}$$

Para cada variável efetua-se N tentativas.

3.4.1 Passos da simulação de Monte Carlo

Conforme Shamblin (1979), a técnica de Monte Carlo pode ser apresentada através dos seguintes passos:

- a) Estabelecimento da distribuição de probabilidade.

A idéia básica da SMC é gerar valores para as variáveis que compõem o modelo a ser estudado. Existem muitas variáveis nos sistemas reais que são probabilísticas por natureza e

que podem ser simuladas tais como: tempo das atividades de um projeto, número de empregados ausentes ao trabalho cada dia, volume de vendas, preço de matéria-prima, custo de produtos, etc. Uma forma comum de estabelecer a distribuição de probabilidade para uma dada variável é através da consulta de dados históricos ou estimativas.

Quando se utilizam dados históricos, vale o pressuposto de que estes dados poderão descrever adequadamente o futuro. Porém, se isto não for correto, o recomendável é que se trabalhe com estimativas.

Como exemplo tem-se a demanda diária de determinado bem que pode ser expressa pela distribuição da Figura 3.6 e que se pretenda gerar um padrão de demanda de 10 dias.

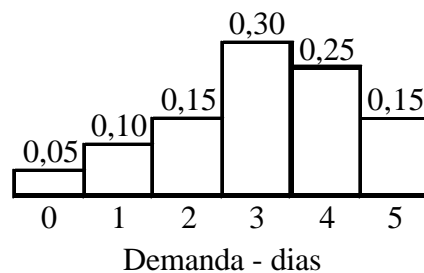


Figura 3.6 – Distribuição de demanda.
Fonte: Shamblin (1979).

- b) Construção da função de distribuição acumulada (FDA) para cada variável.

A distribuição de probabilidade acumulada para cada nível de demanda é a soma do número de probabilidade de cada demanda adicionada da probabilidade acumulada anterior. A função de distribuição acumulada é mostrada na Figura 3.7:

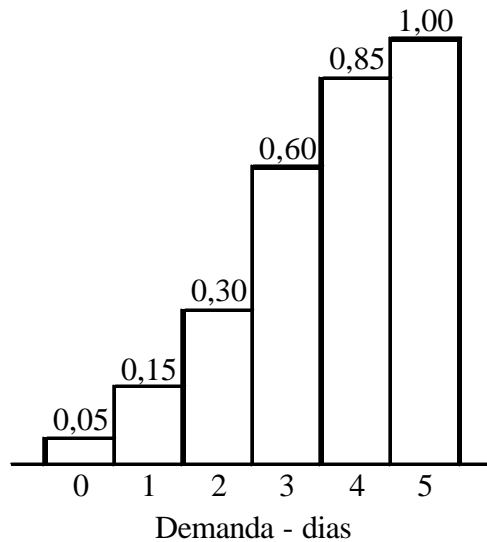


Figura 3.7 – Distribuição acumulada de demanda.
 Fonte: Shamblin (1979)

c) Estabelecimento dos números de etiqueta ou dos intervalos de classe.

Os números de etiqueta são atribuídos de tal forma que reflitam a probabilidade dos vários valores da variável e a seqüência dos mesmos deve ser fechada. O número de dígitos (por exemplo, dois dígitos de 01, 02, ..., 98, 99, 00) deve ser o mesmo que o número de casas decimais usados nas probabilidades dos valores da variável. A Tabela 3.3 mostra os números de etiqueta ou intervalos de classes para o exemplo que está sendo comentado.

| Demanda / dia | Intervalo de Classes |
|---------------|----------------------|
| 0 | 00 – 04 |
| 1 | 05 – 14 |
| 2 | 15 – 29 |
| 3 | 30 – 59 |
| 4 | 60 – 84 |
| 5 | 85 - 99 |

Tabela 3.3 – Intervalos de classe. Fonte: Shamblin (1979).

d) Geração de números aleatórios

Os números aleatórios podem ser obtidos através de tabelas ou gerados pelo computador. Da mesma forma, o número de dígitos usados nos números aleatórios deve ser o mesmo que o número de dígitos usado nos números de etiqueta. Ao se utilizar uma tabela de números aleatórios, recomenda-se não escolher os números. A Tabela 3.4 mostra os números aleatórios obtidos de uma tabela:

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 14 | 74 | 24 | 87 | 07 | 45 | 26 | 66 | 26 | 94 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

Tabela 3.4 – Números aleatórios. Fonte: Shamblin (1979).

e) Simulação do experimento

Com os números aleatórios coletados da respectiva tabela, elaborase o padrão de demanda de acordo com o interesse, neste caso para o período de 10 dias. Para cada número aleatório, por exemplo para o número 14, observa-se que ele se situa no intervalo de classe compreendido entre 05 e 14 que corresponde a uma demanda de 1 unidade por dia. Já o número aleatório de 74 corresponde a demanda de 4 un /dia e, o último número aleatório 94 corresponde a uma demanda de 5 unidades para o décimo dia pesquisado. A Tabela 3.5 mostra a demanda para 10 dias.

| Dia | Demanda |
|-----|---------|
| 1 | 1 |
| 2 | 4 |
| 3 | 2 |
| 4 | 5 |
| 5 | 1 |
| 6 | 3 |
| 7 | 2 |
| 8 | 4 |
| 9 | 2 |
| 10 | 5 |

Tabela 3.5 – Números esperados por vários níveis de demanda em 10.000 tentativas.

Fonte: Shamblin (1979).

Um ponto que pode ser levantado em relação à simulação de Monte Carlo é que sendo as frequências (probabilidades) dos valores da variável conhecidos, então, por que o uso de números aleatórios para simular? Conforme Shamblin (1979), a resposta é que, embora a probabilidade de cada nível de demanda seja conhecida e também por sua vez a respectiva frequência de cada nível, a ordem da ocorrência não é conhecida. O que é simulado, então, é a ordem de ocorrência que se supõe aleatória.

3.4.2 Utilização da Simulação de Monte Carlo na Área Financeira

Um dos importantes autores a indicar a Simulação de Monte Carlo na área financeira foi Hertz (1964), afirmando que as decisões mais desafiadoras que os executivos devem tomar estão entre aquelas que envolvem oportunidades de investimentos de capital da mesma forma que as dificuldades que se apresentam são devidas à somatória de incertezas que se multiplicam e se transformam em uma incerteza de proporções críticas. Neste caso, o risco envolvido sugere o uso de melhores técnicas de apoio. O método desenvolvido por Hertz (1964) segue quatro passos, sendo os dois primeiros a identificação dos custos e das variáveis de renda que afetam o resultado do investimento e, a construção de um perfil de risco para cada variável. Isto pode ser feito conseguindo-se informações disponíveis de tendências históricas, estudos estatísticos, registros administrativos, experiências obtidas, etc. O perfil de risco pode ser representado por uma curva de distribuição de probabilidades com os resultados medidos ao longo do eixo horizontal e as chances de cada valor do resultado plotadas no eixo vertical. No terceiro passo, um valor é selecionado ao acaso para cada variável, independente de seu perfil de risco. No quarto passo, os valores selecionados são usados para calcular a taxa de retorno do investimento pelo valor presente líquido, por exemplo.

Resumindo, é feita uma simulação que combina a variabilidade inerente a cada fator de influência dando uma clara visão dos riscos e probabilidades de retorno. Hertz (1964) sugere a observação dos seguintes passos:

- a) Estimar a média dos valores de cada fator, tais como: média do preço de vendas, taxa do crescimento de vendas, e assim por diante e, dentro desta média a probabilidade de ocorrência de cada valor,
- b) Selecionar da distribuição de valores, para cada fator, um valor particular, combinar os valores de todos os fatores e anotar a taxa de retorno ou valor presente, da combinação. Por exemplo, valores mais baixos de preços poderiam ser combinados com valores mais altos de crescimento e outros fatores. Deve-se levar em conta que os fatores são dependentes.
- c) Repetir este processo várias vezes para se definir e avaliar as probabilidades de ocorrência de cada possível taxa de retorno.

Os demais passos estão baseados nas repetições dos passos dois e três, quando o computador seleciona jogos adicionais de valores (passo 2) e calcula uma nova taxa de retorno para cada jogo (passo 3) e assim sucessivamente até que milhares de taxas de retorno tenham sido calculadas, sendo listados os resultados do mais alto para o mais baixo. A probabilidade de ocorrência para cada extensão de taxas de retorno é acumulada para se obter um perfil de risco para o investimento proposto. O perfil de risco mostrará a chance de um ganho qualquer dado pela taxa de retorno do investimento e mostrará também o retorno máximo que poderá ser ganho como também a chance de sofrer uma perda.

Para Hertz (1964), uma análise de risco na área de investimentos deve ter perguntas como: Este é um bom investimento? Qual o retorno que a companhia espera obter? Quais os riscos envolvidos? É necessário que pesquisas de mercado e análises financeiras sejam desenvolvidas, de forma que a gerência possa ter uma visão mais clara de um mundo incerto e que os principais fatores selecionados pela gerência pela sua importância possam ser visualizados no plano esquemático de simulação de investimento da Figura 3.8.

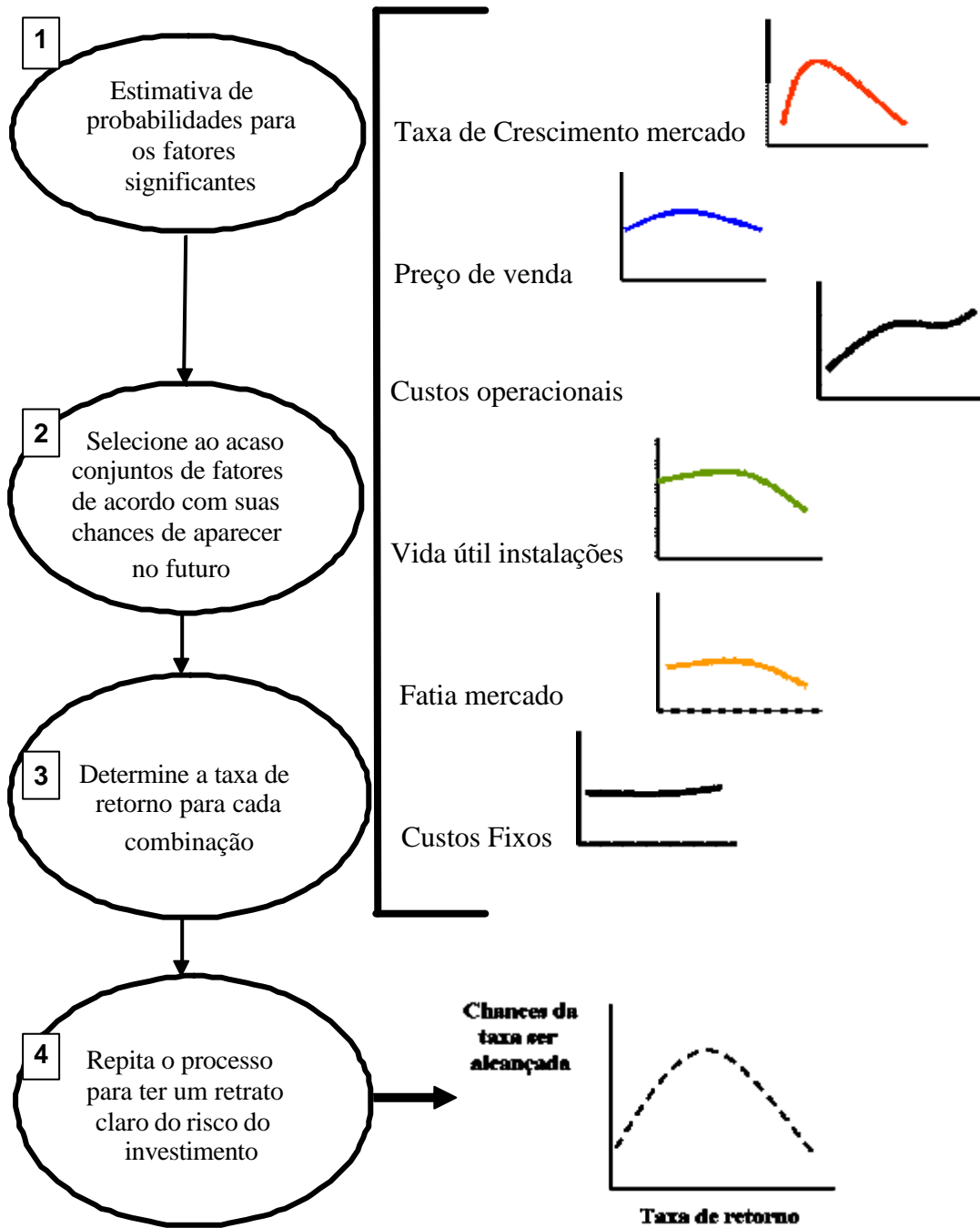


Figura 3.8 – Plano de Simulação de Investimento. Fonte: Hertz (1964).

De acordo com Hertz (1964), as práticas de tomadas de decisão não são satisfatórias, pois são alicerçadas em estimativas que possuem graus de incerteza não considerados. Porém, no método proposto, o conhecimento destas incertezas podem maximizar o valor das informações para a tomada de decisão. A simulação que Hertz (1964) propõe é simples e requer somente o melhor da habilidade dos executivos em entrar com estimativas em termos de probabilidades. Para isso, o computador tem um grande valor ao desenvolver resultados claros considerando os riscos e incertezas das alternativas consideradas.

De acordo com Coates (2003), os problemas de engenharia econômica requerem informações bem definidas como o custo de um novo maquinário ou a estrutura dos valores de impostos. Porém, muitas destas informações são incertas tais como o atual fluxo de caixa de custos e receitas, o valor de recuperação de equipamentos, a taxa de interesse ou até mesmo a vida do projeto. O autor menciona que a análise de cenários com informação das probabilidades de ocorrências das variáveis envolvidas permite um refinamento da análise econômica do risco e fornece boas probabilidades das informações dos resultados concluindo que a técnica de Monte Carlo pode ser usada em modelos de finanças corporativas por produzir as probabilidades associadas de ocorrência, intervalos de confiança e desvios padrões em adição aos relatórios financeiros padrão.

A Simulação de Monte Carlo é uma metodologia adotada com bastante frequência no campo da Análise de Risco, seja para analisar a variabilidade das características estudadas, sob diversos cenários diferentes, seja para quantificar o risco de certos eventos (STUDART, 2000).

A abordagem *Value at Risk* (VaR) é uma das técnicas mais utilizadas no gerenciamento de risco tornando-se padrão na indústria bancária. Uma grande vantagem da estimativa do risco através do VaR consiste na capacidade de mensurar e agregar diversas posições de risco de toda a instituição em um único valor, tornando a compreensão muito mais fácil do nível de risco da empresa para seus diretores, acionistas e investidores. A Simulação de Monte Carlo vem sendo largamente utilizada no campo das finanças, constituído em inúmeros trabalhos na literatura, como exemplo:

- A simulação de Monte Carlo como um método a partir do qual se obtém soluções numéricas para problemas de estimativas de opções. A técnica é simples e flexível, pois permite ser modificada para aceitar diferentes processos que comandam os lucros de ações. O método utiliza a distribuição de preços de ações terminais que se determina pelos movimentos futuros do preço da ação, conseguindo-se, assim, uma estimativa do valor da opção. Como vantagem, o método permite o cálculo simultâneo do desvio padrão o que permite informar a precisão dos resultados (BOYLE, 1977).
- O modelo tradicional de decisão pode ser classificado como determinístico porque dado um valor para cada uma das variáveis de entrada, o lucro é determinado de forma inequívoca. Por outro lado, quando para cada valor das variáveis de entrada existe uma distribuição de probabilidades dos valores a serem assumidos pela variável dependente, o modelo é

denominado probabilístico ou estocástico. Os modelos probabilísticos são os mais adequados à realidade porque levam em conta o fator incerteza, bem como as relações entre as variáveis que o compõem. O método de Monte Carlo é um tipo especial de simulação utilizada em modelos envolvendo eventos probabilísticos. Considerando as distribuições de cada variável e computando o lucro para cada combinação simulada do preço de venda, custo variável, custo fixo e volume de vendas, demonstra-se que o uso desta técnica de simulação pode ser de grande utilidade como instrumento auxiliar no processo de planejamento e tomada de decisões por parte da administração (CORRAR, 1993).

- A simulação de Monte Carlo incorporada a modelos de Finanças fornece como resultado aproximações para as distribuições de probabilidade dos parâmetros que estão sendo estudados. São realizadas diversas simulações onde, em cada uma delas, são gerados valores aleatórios para o conjunto de variáveis de entrada e parâmetros do modelo que estão sujeitos à incerteza. Tais valores aleatórios gerados seguem distribuições de probabilidades específicas que devem ser identificadas ou estimadas previamente (BRUNI, 1998).
- O value-at Risk (VaR) é uma importante ferramenta na área de gerenciamento de riscos e a Simulação de Monte Carlo é um dos métodos mais robustos para tal, pois vários aspectos do mercado financeiro podem ser modelados com mais realismo (SALIBY, 2001).
- Para avaliar a capacidade da abordagem *Value-at Risk* e quando comparado com os métodos denominados paramétricos, as evidências empíricas sugerem que a estimativa do VaR pela simulação de Monte Carlo supera a dos métodos paramétricos, notadamente em carteiras não-lineares (BEZERRA, 2002).

3.4.3 Contribuição da Simulação de Monte Carlo para a gestão de custos

O emprego da Simulação de Monte Carlo na área de Custos não é muito comum. Porém, alguns autores já o fizeram:

Para Spinney (1996), a Simulação de Monte Carlo oferece uma série de vantagens sobre os métodos mais usados para analisar os valores relativos e os riscos nas decisões de recursos do controle elétrico, particularmente aquelas que envolvem grande comprometimento de capital. A SMC apropriadamente empregada permite a quantificação e análise das diferenças entre decisões competentes de recursos e os riscos relativos associados a cada uma, usando convenções e construções formais de estatística.

Lee; et al (1998) utilizam a SMC para estimar o custo do ciclo de combustível nuclear quando são utilizadas várias alternativas com distribuições probabilísticas dos dados de entrada e, após a simulação, os dados obtidos são analisados, comparados com valores calculados por métodos determinísticos. Os autores concluem que a utilização desta simulação, com uma subsequente análise de sensibilidade, permite verificar a propagação de incertezas fornecendo informações mais eficientes aos tomadores de decisões quando comparadas com os métodos determinísticos.

De acordo com Sales (2001), o emprego da simulação de Monte Carlo na tomada de decisão, com o uso de softwares específicos, por exemplo o Crystall Ball, permite a suposição de cenários que possibilitam a observação dos efeitos da incerteza das variáveis de decisão e por conseqüência apresentando os riscos nos processos de decisão facilitando, de forma substancial, o gerenciamento empresarial.

Conforme Correia Neto, Moura e Forte (2002), uma forma de diagnosticar a viabilidade financeira de uma empresa é efetuar projeções de fluxos de caixa considerando risco e para tal a utilização do Método de Monte Carlo (MMC) se apresenta oportuna.

Pamplona (2003) apresenta a SMC para o gerenciamento do Risco em Custo ou o CaR, índice definido pelo nível de significância dos cálculos estatísticos considerados na simulação. Conforme o autor, para se gerenciar o risco dos custos faz-se necessário medir a variabilidade dos custos, fator que depende de fatores internos e externos à empresa e que em último caso, muitas vezes são de difícil controle. No entanto este gerenciamento é de suma importância, pois permite atuar sobre os fatores controláveis e possibilita respostas para as questões:

- Qual o valor esperado do custo de um produto?
- Qual o desvio padrão deste custo?
- Qual a probabilidade do custo ultrapassar ao valor máximo para obtenção de lucro?
- Qual o máximo custo no próximo mês?

Este projeto propõe a simulação de Monte Carlo como uma ferramenta que contribua para a melhoria da qualidade das decisões gerenciais através da criação de cenários em custos na área de Laticínios.

CAPÍTULO 4

Desenvolvimento da Simulação

Aplicação no Setor de Laticínios

Este trabalho tem o objetivo de verificar a contribuição da Simulação de Monte Carlo na projeção de cenários em custos e que auxiliem a tomada de decisão dos gestores. Para desenvolvimento da simulação escolheu-se o contexto de uma indústria de laticínios, abordado neste capítulo.

4.1 Identificação do problema

O leite é considerado um dos alimentos mais completos existentes devido à sua composição em proteínas, gorduras, sais minerais e vitaminas. Por seu valor nutritivo, seu consumo no estado líquido, pasteurizado ou esterilizado e através de seus derivados como o queijo, a manteiga, o iogurte, etc., é sempre recomendado por médicos, nutricionistas e outros profissionais ligados às áreas de nutrição humana e da saúde.

Das indústrias de alimentos do Brasil, a área de laticínios exerce grande importância com participação econômica expressiva, aproximadamente R\$17,2 bilhões, o que pode ser verificado no Gráfico 4.1.

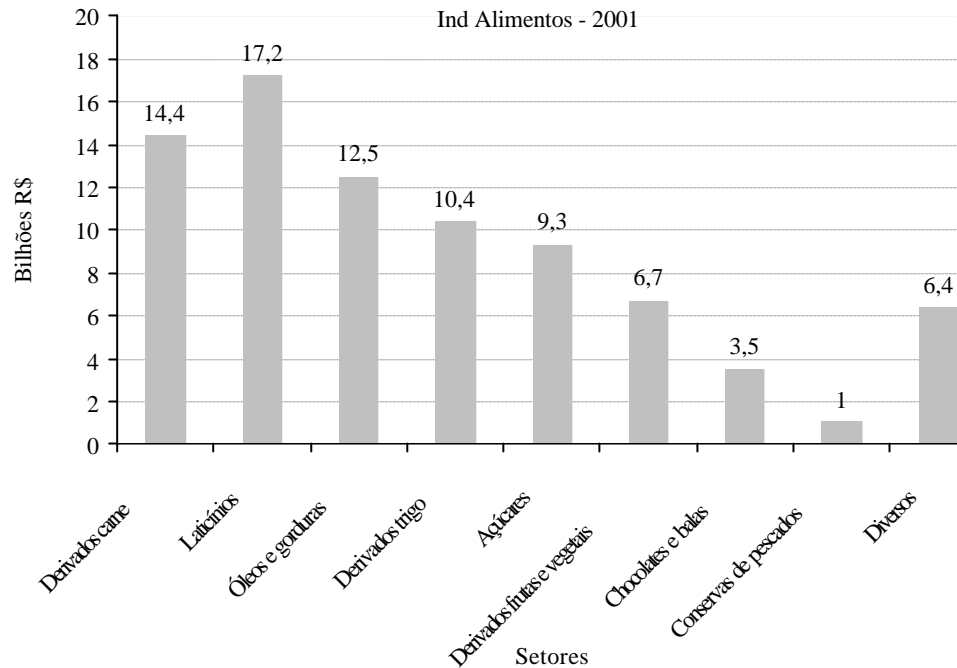


Gráfico 4.1 – Setores da Indústria de Alimentos.

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Alimentos (2004c).

É relevante também a contribuição do PIB da indústria de Laticínios com R\$3,64 bilhões (1,5 %) em relação ao PIB do Agronegócio brasileiro de R\$244 bilhões, conforme dados da Associação Brasileira das Indústrias de Alimentos (2004a) em relação ao ano de 2001.

Além da importância econômica da atividade de laticínios é importante ressaltar também que se trata de um ramo de negócios que está crescendo ano a ano, conforme se verifica no Gráfico 4.2, destacando principalmente o negócio de queijo, objeto de consideração deste trabalho.

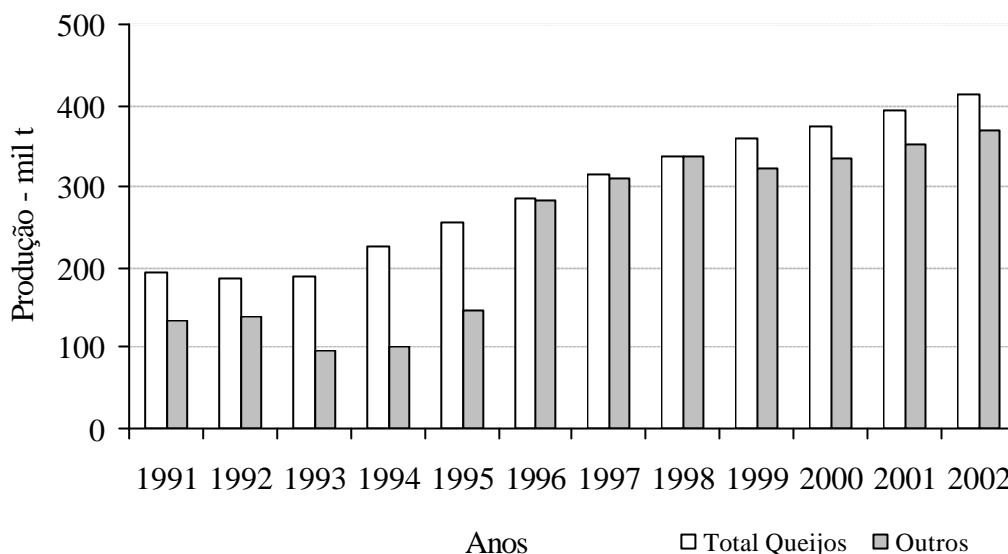


Gráfico 4.2 – Produção de Látceos Estabelecimentos com SIF – Brasil.

Fonte: ABIA (2004b)

Como outros ramos de negócios do setor agropecuário, o de laticínios se apresenta com uma cultura própria de transação entre os principais elos de sua cadeia e cabe aqui ressaltar que algumas de suas características que serão abordadas nos itens 4.1.1 e 4.1.2 tem grande influência no sistema de gestão desta atividade.

4.1.1 Sistema de Compra de Leite no Brasil

Para Novo (2001), a quase totalidade das transações entre laticínios e pecuaristas ocorre por um sistema de preços de mercado livre, onde os preços pagos variam de acordo com a oferta e demanda destacando-se a condição de sazonalidade na safra e entressafra, períodos em que ocorrem grandes variações. O Gráfico 4.3 apresenta o volume de leite industrializado no Estado de Minas Gerais destacando a condição clara de sazonalidade entre os períodos de entressafra (maio a setembro) e safra (demais meses) existente nesta atividade.

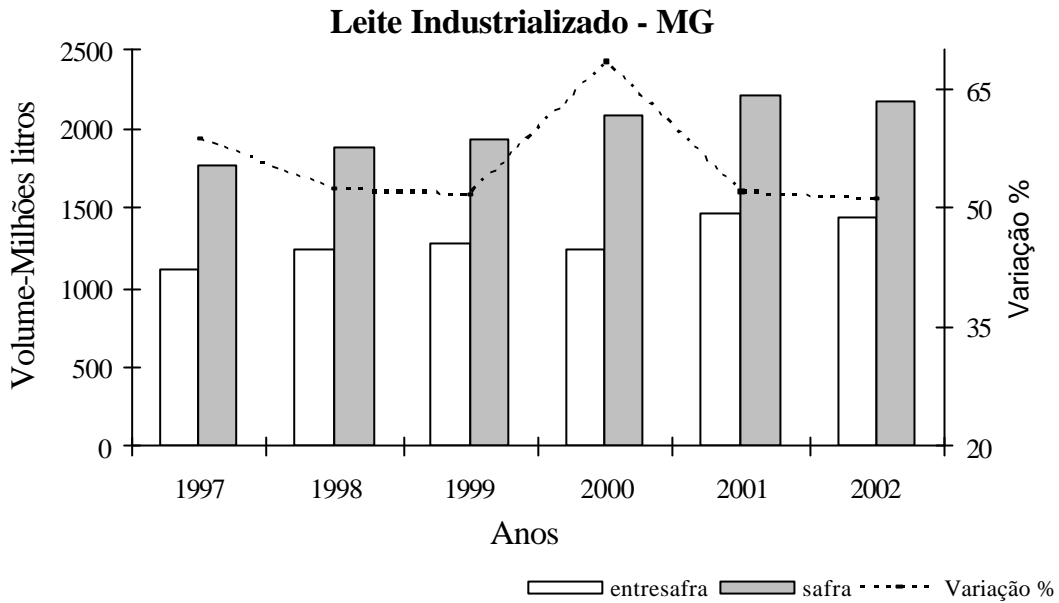


Gráfico 4.3 – Leite industrializado em Minas Gerais.

Fonte: FAEMG (2004).

A grande variação de oferta de leite nos períodos de safra e entressafra apresentada no Gráfico 4.3 tem impactos diretos nos preços nestes mesmos períodos, como pode ser verificado Gráfico 4.4.

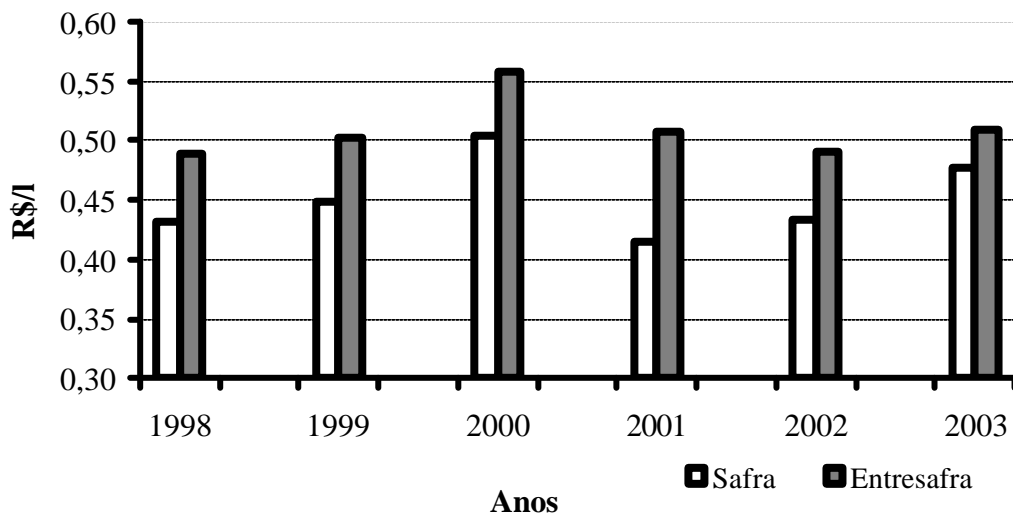


Gráfico 4.4 – Preço de leite ao produtor – Minas Gerais.

Fonte: FAEMG (2004).

O valor da variação de preço nos períodos de safra/entressafra pode ser melhor visualizada no Gráfico 4.5.

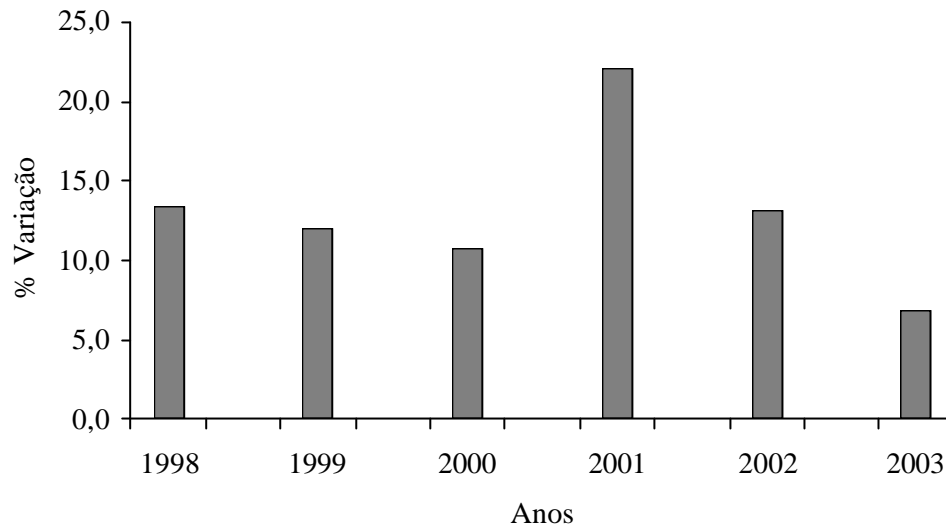


Gráfico 4.5 – Variação dos preços de leite Safra/Entresafra – Minas Gerais.

Fonte: FAEMG (2004).

Para Novo (2001), outros dois fatores também contribuem para a variação de preços: o comportamento da demanda interna pelo leite e seus derivados citando, por exemplo, que embora nos últimos anos o consumo per capita de leite tenha aumentado para 137,8 litros, ainda se encontra muito abaixo daquele recomendado pela FAO, que é de 180 litros-habitante-ano. Também devido à acentuada elasticidade-renda que possuem o leite e derivados, isto é, qualquer acréscimo percentual na renda da população corresponde a um aumento percentual igual ou maior no consumo destes produtos.

4.1.2 Rendimento das Indústrias de Queijos

De acordo com Furtado (1999), o rendimento utilizado nas indústrias de queijos são classificados como:

- **Econômico:** é aquele em que o empresário calcula o custo final da produção de seu queijo considerando-se o preço pago por 1 litro de leite e o volume deste necessário para produzir 1 Kg de queijo. Uma das formas de se aumentar o rendimento econômico é fabricar o queijo com um teor de umidade mais elevado, porém esta prática é limitada pelos aspectos: legais que estabelece a composição físico-química mínima e máxima para cada tipo de queijo, durabilidade do queijo (maior umidade menor durabilidade), alteração de sabor (mais umidade mais amargo) e problemas de consistência (queijo amolece, comprometimento da fatiabilidade).
- **Técnico:** é aquele em que se verifica o aproveitamento ideal dos constituintes do leite que podem ser transferidos para o queijo, permitindo estabelecer comparações válidas entre diferentes fabricações de um mesmo tipo de queijo, mesmo com composições físico-químicas diferentes. O rendimento técnico reflete diretamente no grau de eficiência utilizado no processo de fabricação de queijos, isto é, quanto maior a eficiência maior o rendimento. O rendimento técnico é de relevante importância, pois pode afetar substancialmente o rendimento econômico de uma fabricação, afetando decisivamente o custo final de um queijo assim como sua competitividade no mercado.

Um dos métodos utilizados com grande eficiência e de simples aplicação para se obter o rendimento técnico é o *Coefficiente GL*, que trata da informação do aproveitamento final de sólidos no queijo em relação a cada litro de leite trabalhado. Neste caso, determina-se o quanto de sólidos: gordura, sólidos totais ou desengordurados (proteína, sais minerais, vitaminas) existe num queijo já pronto (antes de salgar) e se estabelece uma relação com o volume de leite utilizado para aquela fabricação sendo calculado de acordo com a Equação 4.1:

$$gST/l = \frac{ST \times P \times 10}{V} \quad 4.1$$

onde:

$$gST/l = \text{rendimento técnico (\%)}$$

ST = sólidos totais do queijo (ou seja, 100 menos o teor de umidade) (em %)

P = produção de queijos (em quilos)

V = volume de leite (em litros)

Como exemplo para fabricação de queijo parmesão, os seguintes dados são observados imediatamente antes da fase de salga:

$$ST = 62 \%$$

$$P = 436 \text{ Kg}$$

$$V = 5000 \text{ l de leite}$$

$$g \text{ ST/l} = \frac{62 \times 436 \times 10}{5000} = 54,06 \%$$

O Coeficiente GL ideal deve ser determinado previamente para cada fábrica, pois sofre influência da composição do leite (teor de proteínas e de gordura) que possui influência direta no rendimento, e dos fatores de processo de fabricação que alteram a composição final do queijo (perdas parciais de componentes do leite – proteínas e gorduras) durante o corte da coalhada. Essas perdas podem ser minimizadas por fatores como: um bom controle na fase de coagulação, por um corte cuidadoso da massa coagulada, através do controle rigoroso do tempo, do tamanho dos grãos cortados e da agitação feita de maneira adequada e imediatamente após o corte. Quando este coeficiente varia, para uma mesma quantidade de queijo, varia também o volume de leite utilizado.

Supondo que, no exemplo anterior, este coeficiente fosse de 56 (menos perda por exemplo no corte da coalhada), então o volume de leite seria de 4.827 litros.

Na tecnologia de fabricação de queijos, é muito difícil se obter queijos de diferentes lotes de produção com a mesma composição físico-química, mesmo que se tenha um bom controle da qualidade da matéria-prima e do processo de fabricação, fato que dificulta a análise comparativa do rendimento destes queijos. Segundo Furtado (1999), a utilização de um índice denominado *Rendimento Litros/Kg Ajustado* (l/Kg A) permite esta comparação através da fórmula mostrada na Equação 4.2 :

$$l/Kg A = \frac{V (100 - U_p)}{P \times ST} \quad 4.2$$

Onde:

$$l/Kg A = \text{Rendimento Ajustado (litros)}$$

$$V = \text{volume de leite (litros)}$$

U_p = % de umidade comum pretendida

P = produção de queijos (Kg)

ST = teor (%) de sólidos totais do queijo

Substituindo as equações 4.1 e 4.2 temos:

$$l / Kg A = \frac{10(100 - U_p)}{g ST/l} \quad 4.3$$

Verifica-se que variações no rendimento técnico (Coeficiente GL) implicam em variações no rendimento econômico em razão direta, isto é quanto maior a eficiência do processo de fabricação (Coeficiente GL), maior o Rendimento Litros / Kg Ajustado (rendimento econômico), o que determina a qualidade dos custos de fabricação de queijos.

4.1.3 Controle de Custos na Indústria de Laticínios

De acordo com Carvalho (1998), ao se estudar a adoção de controles de custo pela indústria de laticínios, revela-se que parcela significativa das empresas não possui qualquer tipo de acompanhamento sistematizado dos custos conforme é mostra a Figura 4.1.

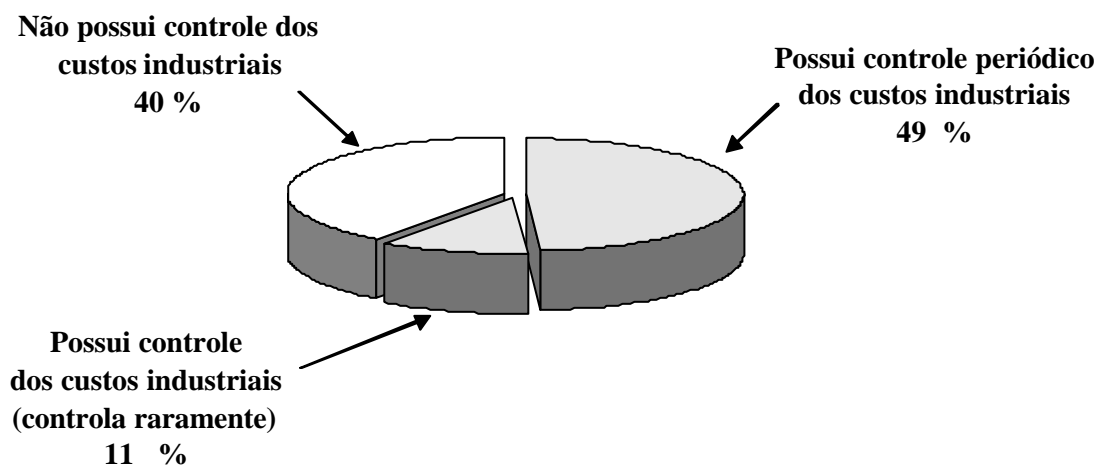


Figura 4.1 – Características de controle dos custos industriais. Fonte: Carvalho (1998).

Com relação aos métodos para controle de custos, o mesmo autor observa que:

- Parcela significativa das empresas utiliza métodos baseados em fórmulas e rateio simples de despesas para calcular o custo unitário dos produtos. No caso de fórmulas, normalmente, a vinculação do custo final dos produtos está ligada principalmente à variação do preço do leite pago ao produtor, cálculo considerado insatisfatório devido ao comportamento variável dado pela sazonalidade da produção que implica em variações proporcionais no custo final dos produtos, o que pode não refletir a realidade.
- Quando se utiliza o rateio simples das despesas, os custos totais do laticínio são rateados para os produtos de acordo com o volume de leite destinado a cada um deles, método também inadequado, pois nem sempre os demais itens de produção apresentam taxas proporcionais ao consumo de leite dos produtos.
- Algumas empresas utilizam cálculos baseados em coeficientes técnicos de produção quando o custo final dos produtos é associado a um conjunto de índice, proporcionais ao consumo de matéria-prima, materiais secundários e embalagens de cada produto. Neste caso, o maior número de variáveis presentes na composição do custo final dos produtos reduz a sua dependência exclusiva em relação à variação dos preços do leite, permitindo assim um melhor conhecimento do custo unitário dos produtos.
- Muitas empresas utilizam controle de custos através da contabilidade separada por centros de custos, onde os gastos industriais são contabilizados em separado para cada linha de produtos e somente os gastos comuns a vários produtos são rateados. Este método permite que a maior parte dos gastos seja apropriada diretamente para cada produto, reduzindo os erros associados ao processo de rateio.

O Quadro 4.1 apresenta a percentagem (%) das empresas de laticínios que utilizam os diferentes métodos adotados para controle de custos abordados anteriormente.

| Métodos | % empresas |
|---|-------------------|
| Fórmulas | 15,2 |
| Rateio simples das despesas | 18,4 |
| Contabilidade separada por centros de custo | 51,4 |
| Uso de coeficientes técnicos de produção | 9,0 |
| Outros | 6,0 |

Quadro 4.1 – Métodos adotados para controle dos custos na indústria Laticinista brasileira.

Fonte: Carvalho (1998).

Carvalho (1998) afirma que há necessidade de se desenvolver sistemas que melhorem a precisão dos controles e que os mesmos sejam simples e de fácil operacionalização. O autor também ressalta para o desenvolvimento de ferramentas de apoio às decisões integradas ao sistema de controle, as quais permitam, além da determinação do custo dos produtos, a identificação de oportunidades de atuação nos processos gerenciais e tecnológicos, objetivando maior eficiência destes, proposta, então, desta dissertação com a aplicação da Simulação de Monte Carlo como forma de contribuição para a gestão de custos industriais em uma empresa de laticínios.

Em resumo, o sistema de compra de leite inserido num contexto de safra-entresafra opera sistematicamente em um ambiente de incertezas, dadas pelas variações de volume e preço da matéria-prima. Para a industrialização de queijos, sua rentabilidade é influenciada diretamente pelo rendimento operacional, ponto de completo conhecimento por parte dos gestores, mas que normalmente não fica claramente evidenciado nos sistemas de custos apurados na grande parte das empresas. Todas estas considerações, mais a possibilidade de se evoluir no apoio às decisões gerenciais, principalmente de forma proativa, é de grande interesse da diretoria da empresa para que se constitua um sistema prático e simples de simulação de cenários dos custos industriais que venha contribuir para o processo de gestão.

4.2 Apresentação da Empresa

Os Laticínios Condessa Ltda que opera com a marca fantasia Leiteria de Minas, atua no mercado de laticínios desde 1995. Foi adquirido para atender à empresa Forno de Minas, tradicional fabricante de pão-de-queijo, congelados e panificáveis pertencente, na época, ao mesmo grupo. Posteriormente, a Forno de Minas foi vendida à multinacional Pillsbury (General Mills), grande empresa americana do setor de alimentos.

No ano 2000, a Leiteria de Minas iniciou um processo de expansão, com foco no mercado industrial de queijos (queijo como matéria-prima industrial), queijo para grandes demandas do varejo, marca própria e queijos para exportação. Sua indústria está localizada na zona rural, município de Conceição do Pará, a 110 km de Belo Horizonte, região de montanha, ar puro e clima ameno, próprios para atividade leiteira.

O leite é a principal matéria-prima da empresa que está situada em uma região onde as fazendas são reconhecidas no Brasil pelo alto grau de tecnificação e gestão da pecuária leiteira, além de contar com suporte de uma empresa de transferência e difusão de tecnologia na produção leiteira, garantindo o abastecimento com qualidade e quantidade. Os produtores possuem tanque de resfriamento que, somados ao transporte granelizado e isotérmico até a indústria, asseguram à matéria-prima alto padrão físico-químico e microbiológico. Integrado ao sistema de gestão da segurança dos alimentos, o Laboratório de Controle de Qualidade é responsável pelas análises físico-químicas e microbiológicas dos insumos e produtos finais.

As instalações frigoríficas são apropriadas e transportadoras credenciadas pela empresa garantem ao cliente eficiência na logística e distribuição.

A empresa também está habilitada a desenvolver e produzir produtos de marcas próprias dos clientes, bem como prestar serviço na produção de queijo. O rigoroso processo produtivo assegura aos clientes flexibilidade, garantia de qualidade, constância de fornecimento durante o ano, baixos volumes de estoque e entrega pontual com custos mais eficientes. A Leiteria de Minas também está certificada pelo Ministério da Agricultura para exportação.

As instalações seguem os mais rigorosos padrões de qualidade e tecnologia. A linha de processamento conta com equipamentos como tanque de fermentação e coagulação fechados (Figura 4.2), drenoprensa (Figura 4.3), e linha automática de processamento (Figura 4.4), todos equipados com sistema de limpeza CIP (limpeza no local ou em circuito fechado). Estes equipamentos garantem produtividade, eficiência e excelente padrão de qualidade, o que permite o fornecimento em larga escala com preços competitivos.

A capacidade de produção está na faixa de 10.000 Kg / dia, contando com 45 funcionários para as atividades de trabalho.



Figura 4.2 – Empresa Leitaria de Minas – Tanque de Fermentação e Coagulação



Figura 4.3 – Empresa Leitaria de Minas – Drenoprensa e Prensas.



Figura 4.4 – Empresa Leiteria de Minas - Linha Automática de Processamento

4.2.1 Objetivo do estudo da simulação

O piloto escolhido para se utilizar a SMC foi o queijo Minas Padrão, pois este queijo é o principal produto de linha da empresa, contribuindo de forma efetiva para o trabalho. A Figura 4.5 apresenta uma foto do produto.



Figura 4.5 – Empresa Leiteria de Minas – Queijo Minas Padrão

Para atingir seu objetivo, o sistema será estudado a partir das variações dos parâmetros que compõem seu modelo de simulação, ou seja, o sistema de custo da empresa conforme

mostra a Tabela 4.1. Os valores referentes à quantidade equivalem à necessidade para produção de 1 tonelada do queijo Minas Padrão e se apresentam em três níveis: otimista, mais provável e pessimista.

| Parâmetros | Variação | | | | | |
|-------------------------|---------------------|--------|--------|---------------------------|------|------|
| | Preço / Valor (R\$) | | | Quantidade / Valor (un-%) | | |
| Leite | 0,4106 | 0,4128 | 0,4264 | | | |
| Queijo | | | | | | |
| Umidade | | | | 43,1 | 43,2 | 43,7 |
| Coef GL | | | | 61 | 61,3 | 61,7 |
| Insumos | 8,67 | 8,92 | 10,03 | 8,8 | 11,1 | 11,8 |
| Embalagem | 0,25 | 0,26 | 0,29 | 1000 | 1010 | 1020 |
| Mão-de-Obra Direta | 3,59 | 3,68 | 4,39 | 80 | 87 | 94 |
| Custos Indiretos | 407,8 | 410,3 | 437,3 | | | |

Tabela 4.1 – Parâmetros estudados no modelo

4.2.2 Questões a serem respondidas

Em reuniões com a empresa formou-se a expectativa de que a simulação proposta venha a responder algumas questões que foram indagadas no item 1.2.2.

Também foi solicitado que a simulação fosse de fácil utilização, com respostas claras e que pudesse ser utilizada de forma prática, sem muito esforço de treinamento e necessidade de hardware.

4.2.3 Configurações do sistema a ser modelado

Neste trabalho serão utilizados os seguintes termos do sistema de custos:

Custo Mínimo: é o menor valor de custo observado após N simulações.

Custo Máximo: é o maior valor de custo observado após N simulações

Custo Médio: é o valor médio de custo observado após N simulações.

Probabilidade (%) de o custo estar acima de um determinado valor (digitado pelo usuário a seu critério): informa uma % que se refere aquela de o custo estar acima do valor digitado.

Correlação entre as variáveis de custo e o custo simulado: refere-se a um valor positivo ou negativo, entre -1 e 1, dado pelo coeficiente de Pearson.

4.2.4 Avaliadores de desempenho

Os avaliadores ou medidas de desempenho são importantes estatisticamente, pois serão utilizados para medir a eficácia de diferentes configurações do sistema. São eles:

- *Probabilidade de o Custo ser Maior* que um determinado valor:
- *Custo Médio.*
- *Correlação do parâmetro preço do leite* com o custo simulado.

Estes avaliadores serão utilizados para comparação da Simulação de Monte Carlo em Excel e com o software estatístico Crystal Ball, como apresenta a Figura 4.6.

| N x 1000 simul | C. Ball | | | Excel | | |
|-------------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|
| | Custo Médio | Cor Pr Leite | Prob C > x | Custo Médio | Cor Pr Leite | Prob C > x |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Figura 4.6 – Medidas de desempenho utilizadas

4.2.5 Recursos computacionais utilizados

Utilizou-se o computador para gerar as várias simulações para diferentes condições (cenários) das variáveis, sendo também utilizado para o armazenamento de tabelas, gráficos e resultados. Considerando o tamanho da empresa e os recursos (financeiros, pessoal) disponíveis, foi dada importância à possibilidade de se desenvolver um trabalho com o mínimo de recursos, condição chave para a competitividade da indústria. A simulação foi programada em Excel, software disponível em todos os computadores da empresa, requerendo a seguinte configuração mínima: Processador 386, 8 Megabytes de memória RAM, disco

rígido com capacidade de armazenagem de 16 Megabytes e sistema operacional Microsoft Windows 3.1.

4.2.6 Estrutura de tempo para o estudo

O modelo simula com o mínimo de tempo, requerendo na faixa de 15 minutos para input de novos dados, simulação e apresentação de resultados.

4.3 Coleta de dados e definição do modelo

A Simulação de Monte Carlo foi concebida através de informações do livro de Shamblin (1979), dos trabalhos de Corrar (1993) e de Pamplona (2003).

Com relação aos dados do sistema as informações necessárias foram disponibilizadas e se apresentam nos tópicos descritos a seguir.

4.3.1 Fluxograma de fabricação do queijo Minas Padrão

O fluxograma de fabricação do queijo Minas Padrão pôde ser observado quando da visita à fábrica, sendo também confirmado e detalhado pelo membro da equipe de projeto, o gerente da fábrica. A finalidade desta informação é orientar principalmente em relação aos pontos do processo em que são possíveis as variações de custos destacando, neste caso, as fases de Coagulação e Corte onde também se mede o rendimento técnico, o Coeficiente GL, e a fase de Prensagem, ponto onde se obtém o teor Umidade Final pretendida, o parâmetro Up. A Figura 4.7 mostra este cronograma.

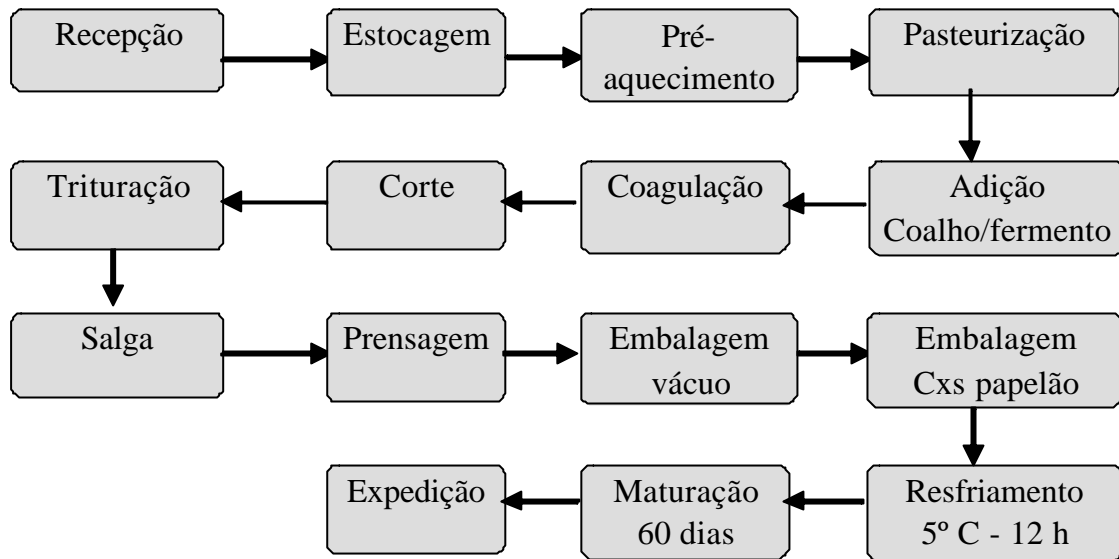


Figura 4.7 – Empresa Leitaria de Minas – Fluxograma de Fabricação Queijo Minas Padrão

4.3.2 Estrutura de custos

Conforme o responsável pelo Sistema de Custos, o método de custeamento utilizado é o custeio por absorção. As informações que compõem o sistema de gestão de custos são coletadas na fábrica e remetidas para o escritório central em Belo Horizonte, onde são processadas obtendo-se os resultados do período apurado. Os dados considerados neste trabalho se referem somente aos custos de fábrica do queijo Minas Padrão.

Os principais itens do sistema de custos são: matéria-prima (leite), os insumos, a embalagem e a mão-de-obra direta, itens que compõem os custos diretos. O custos indiretos são apropriados aos produtos por meio de rateio através da quantidade de leite utilizada pelos diferentes tipos de queijos, tendo como componentes a depreciação, os materiais (de laboratório, de limpeza, de manutenção), os serviços de terceiros e as utilidades (aluguéis e energia elétrica). Utilizando-se do demonstrativo de custos cedidos pela empresa, apresenta-se a estrutura de custo do queijo Minas Padrão, na Tabela 4.2.

| <i>Item de Custo</i> | <i>Participação(%)</i> |
|-----------------------|------------------------|
| Custos Diretos | 83,8 |
| Leite | 74,9 |
| Insumos | 3,9 |
| Embalagem | 0,5 |
| Mão-de-Obra Direta | 4,5 |
| Custos Indiretos | 16,2 |
| Materiais | 3,9 |
| Depreciação | 5,8 |
| Serviços de Terceiros | 3,6 |
| Utilidades e Serviços | 3,0 |
| Total | 100 |

Tabela 4.2 – Estrutura de Custos do Queijo Minas Padrão

A Tabela 4.2 mostra que o principal item que impacta o custo do queijo Minas Padrão é o leite (quase 75 %), indicando que quaisquer variações no preço e na quantidade utilizada (rendimento) do mesmo no processo produtivo têm implicações significativas para o negócio, requerendo um gerenciamento focado por parte dos responsáveis pela fábrica e pela diretoria da empresa. Ressalta-se também que o preço é praticado pelo mercado baseado na lei de oferta e procura, apresentando muita variação e de pouco controle da empresa.

Com um impacto de 4,5 % o custo da mão-de-obra direta tem valor importante no custo direto, assim variações no seu valor e na sua eficiência podem afetar os custos de maneira relevante.

Os custos indiretos que possuem 16,2 % de composição do custo total é um parâmetro que pode apresentar muita variação, e assim devendo ser monitorado com atenção.

a) **Fórmula de cálculo do custo**

O cálculo de custo do queijo Minas Padrão é efetuado em função dos seguintes parâmetros de custos:

$$C M P = f (PL, Up, Coef. GL, PI, QI, PMOD, Ef MOD, PEMB, QEMB, CIND)$$

Onde:

CMP = Custo queijo Minas Padrão em R\$ / ton.

PL = Preço Leite em R\$ por litro

Up = Umidade do produto em %

Coef GL = Rendimento Técnico em %

PI = Preço Insumos em R\$ por litro ou por Kg

QI = Quantidade de insumos em litros ou Kg

PMOD = Preço da mão-de-obra direta em R\$ por h-H

EfMOD = Eficiência da mão-de-obra direta em h-H-ton

PEMB = Preço da embalagem em R\$ por unidade

QEMB = Quantidade de embalagem em unidades.

CIND = Custo Indireto em R\$ / ton.

b) Custo-padrão

Existe um custo-padrão que tem a finalidade de embasar as estimativas de compras, de propostas de vendas e o acompanhamento da performance de fábrica permitindo ações sobre os desvios que ocorrem, e neste caso calculado pela fórmula :

Custo Padrão Minas Padrão =

$$(PL * 10 * (100-Up) / Coef GL) * (1000) + (PI * QI) + (PEMB * QEMB) + (PMOD * EfMOD) + CIND. \quad 4.4$$

O Quadro 4.2 mostra os valores considerados para este cálculo assim como um valor do mesmo que se apresenta como R\$ 6.127,3 a tonelada no mês de dezembro de 2004.

| Preço Leite | Up | Coef GL | Insumos | | Embl | | Mod | | Custos Indiretos | Custo Padrão |
|-------------|----|---------|---------|-----|-------|------|-------|------|------------------|--------------|
| | | | Preço | Qde | Preço | Qde | Preço | Efic | | |
| 0,51 | 44 | 57,1 | 8,67 | 8,8 | 0,03 | 1000 | 3,98 | 91 | 657 | 6127,3 |

Tabela 4.3a – Valor custo-padrão Queijo Minas Padrão Dezembro 2004.

O dados que foram disponibilizados para efetuar a SMC são do período de Abril/2002 a Novembro/2003, ou seja, um período de 20 meses, conforme mostra o Anexo A.

Com a definição das variáveis (parâmetros) que irão ser estudadas, procedeu-se à verificação da possível correlação entre elas. Conforme Levine (2000) a correlação mede o grau de associação entre duas variáveis. Utilizando-se o software estatístico Minitab 13.0, testou-se a possível correlação entre todas as variáveis de entrada, encontrando para todos os casos um *P-value* maior que 0,05. Se *P-value for menor que 0,05* existe uma forte correlação entre as variáveis, mas neste caso não há alguma correlação entre as mesmas.

Os valores resultantes das distribuições de probabilidades resultantes dos dados citados serão utilizados como entrada do sistema.

Para a construção do modelo conceitual, assim como do modelo de simulação, iniciou-se com um modelo simples, aumentando a complexidade gradativamente e tendo o foco na elaboração de um modelo sem complicação, mas capaz de representar o sistema de forma adequada.

4.4 Validação do modelo conceitual

A pesquisa foi realizada devido às incertezas que ocorrem nas decisões gerenciais tomadas nos Laticínios Condessa quando se utilizam os valores determinísticos de custos, o que leva a ações equivocadas e muito frequentemente a resultados aquém do esperado para o negócio. A diretoria da empresa entendendo a forma considerada um valor de custo estático, não levava em conta as variações inerentes aos parâmetros que compõem os custos e esta estaria afetando as decisões no que diz respeito à decisão em relação a margens de contribuição, definição de preços de venda, ações de melhoria industrial, concluindo que se alguma forma de previsão de cenários pudesse ser utilizada, poderia contribuir para a evolução das decisões.

Conforme apresenta a literatura, uma das formas de se construir cenários pode ser encaminhada com a utilização de simulação. Em casos onde há incertezas e se utilizam distribuições de probabilidade como nos parâmetros de custos, a Simulação de Monte Carlo (SMC) é uma alternativa viável. O resultado a ser avaliado é a possibilidade de se utilizar a SMC como forma de contribuição na gestão dos custos industriais do laticínio através da elaboração de cenários com a possível utilização de dados históricos disponíveis ou da

elaboração de cenários com dados dos especialistas e da utilização dos resultados da simulação como forma de encaminhamentos de ações de contingência, permitindo uma gestão proativa.

A validação do modelo conceitual realizou-se através da consulta a especialistas, objetivando garantir a veracidade e suposições do modelo e diminuindo a probabilidade de erros. O especialista consultado foi o sócio-diretor da empresa, com formação em engenharia. Nesta fase, a única sugestão apresentada e encaminhada foi uma alteração na fórmula de custo apresentada.

4.5 Construção do modelo de simulação

Este passo é dividido em: confecção do modelo de simulação em uma planilha de simulação e sua verificação.

4.5.1 Programação do modelo em Excel

Determinação do número de classes e do intervalo de classes da série histórica dos parâmetros de custo

Para todos os parâmetros que compõem o custo do queijo Minas Padrão, que tratam de variáveis contínuas, faz-se o cálculo do número de classes e do intervalo de classe da série histórica. O número de classes pode ser determinado usando a fórmula de Sturges, onde o número K de classes, n é o número de dados que entram no sistema, sendo dada por:

$$K = 1 + 3,3 \log n \quad 4.5$$

Quando n é muito grande, esta fórmula apresenta mais vantagens que o critério da raiz, embora apresente o mesmo problema de aproximação do valor de K . Optou-se pelo método mais simples que é o critério da Raiz.

Considerando que a série possui 20 elementos e pelo critério da raiz $K = \sqrt{n}$, temos $K=5$. Foi considerado, então, um valor de 6 classes.

O intervalo de classe ou amplitude total de uma seqüência é a diferença entre o maior e o menor elemento de uma seqüência, isto é:

$$A_t = X_{máx} - X_{mín} \quad 4.6$$

Onde: $X_{máx}$ é o maior elemento da seqüência X, $X_{mín}$,é o menor elemento da seqüência X

Na seqüência de dados do preço do leite temos, $X_{máx} = 0,4353$ e $X_{mín} = 0,2654$ logo,

$$A_t = 0,4353 - 0,2654 = 0,1699.$$

A amplitude do intervalo de classe designada por h é determinada da seguinte forma:

$h = A_t / K$. Ainda, no caso do preço do leite tem-se: $h=0,1699/6$ que é igual a 0,0283.

Estabelecimento da distribuição de probabilidade simples e acumulada, e do intervalo de classes para cada parâmetro de custo

A freqüência relativa de uma classe f_{ri} é a divisão da freqüência simples desta classe pelo número total de elementos da série.

$$f_{ri} = f_i / n \quad 4.7$$

A freqüência acumulada de uma classe F_i é a soma da freqüência simples desta classe com as freqüências simples das classes anteriores.

$$F_i = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i \quad 4.8$$

A freqüência acumulada relativa de uma classe F_r : é a divisão da freqüência acumulada desta classe pelo número total de elementos da série:

$$F_{rj} = \frac{f_j}{n} \quad 4.9$$

Como exemplo, utilizando-se destes conceitos e da teoria que fala dos passos da SMC (capítulo 3, item 3.2.1), temos a distribuição de frequência dos dados históricos do preço do leite que se apresenta no Quadro 4.2.

| Intervalo | de Classe | f_i | $f_{ri} (\%)$ | F_i | F_{ri} |
|-----------|-----------|-------|---------------|-------|----------|
| 0,2654 | 0,2937 | 5 | 25,0 | 5 | 25,0 |
| 0,2937 | 0,3220 | 2 | 10,0 | 7 | 35,0 |
| 0,3220 | 0,3504 | 2 | 10,0 | 9 | 45,0 |
| 0,3504 | 0,3787 | 4 | 20,0 | 13 | 65,0 |
| 0,3787 | 0,4070 | 5 | 25,0 | 18 | 90,0 |
| 0,4070 | 0,4353 | 2 | 10,0 | 20 | 100,0 |

Quadro 4.2 – Distribuição de frequência Preço do Leite

Para os demais parâmetros de custos as distribuições de frequência são apresentadas no Anexo B.

Geração de cenários através de números aleatórios

De posse dos dados do Anexo B sobre a distribuição de frequência dos parâmetros de custos do queijo Minas Padrão, criam-se cenários através de números aleatórios entre 0 e 100 obtidos por meio de tabelas ou gerados pelo computador, especificamente com o auxílio do Excel como neste caso, empregando a função = ALEATÓRIO()*100. Considerando a Tabela 4.3, tendo como exemplo o preço do leite, ao ser gerado o número aleatório 34 (34 é menor que 35,0 e maior que 25,0 na coluna F_{ri} , sendo relacionado então com 0,3220 na 2ª coluna do Intervalo de Classe) corresponde ao preço de R\$0,3222 o litro. Já o número 85 corresponde ao preço de R\$0,4070, e assim por diante conforme o número de simulações programadas. Fazendo-se isto para cada parâmetro de custo utilizando a mesma fórmula empregada para o cálculo do custo-padrão (equação 4.4), tem-se um custo simulado. A Tabela 4.3b apresenta de maneira parcial a geração de 1000 valores de custos.

| Nº | Leite | | Umidade | | Coef GL | | MOD | | | | Custo Ind. | | CUSTO |
|------|-------|--------|---------|-------|---------|-------|------|------|------|-------|------------|--------|---------|
| | Alea | Pr | Alea | Valor | Alea | Valor | Alea | Pr | Alea | Efic | Alea | Valor | |
| 1 | 63 | 0,4013 | 3 | 40,3 | 47 | 64,0 | 58 | 5,07 | 63 | 91,0 | 45 | 423,62 | 4641,80 |
| 2 | 95 | 0,4353 | 84 | 44,6 | 25 | 62,4 | 33 | 3,97 | 54 | 91,0 | 88 | 529,20 | 5066,23 |
| 3 | 21 | 0,2994 | 74 | 43,5 | 5 | 62,4 | 68 | 5,07 | 65 | 98,3 | 51 | 423,62 | 5032,12 |
| 4 | 83 | 0,4353 | 48 | 43,5 | 61 | 64,0 | 66 | 5,07 | 15 | 83,8 | 10 | 370,83 | 4306,22 |
| 5 | 62 | 0,4013 | 22 | 42,4 | 81 | 65,5 | 1 | 2,88 | 69 | 98,3 | 93 | 529,20 | 4742,99 |
| 6 | 60 | 0,4013 | 56 | 43,5 | 23 | 62,4 | 40 | 3,97 | 40 | 91,0 | 37 | 423,62 | 5615,80 |
| 7 | 82 | 0,4353 | 51 | 43,5 | 12 | 62,4 | 60 | 5,07 | 73 | 98,3 | 34 | 423,62 | 4120,41 |
| 991 | 62 | 0,4013 | 93 | 44,6 | 51 | 64,0 | 86 | 6,17 | 53 | 91,0 | 89 | 529,20 | 4913,22 |
| 992 | 69 | 0,4013 | 76 | 43,5 | 25 | 62,4 | 14 | 2,88 | 22 | 83,8 | 28 | 423,62 | 5164,26 |
| 993 | 61 | 0,4013 | 25 | 42,4 | 96 | 68,5 | 97 | 7,27 | 75 | 98,3 | 53 | 423,62 | 5021,12 |
| 994 | 44 | 0,3673 | 44 | 43,5 | 78 | 64,0 | 51 | 3,97 | 75 | 98,3 | 25 | 423,62 | 4849,40 |
| 995 | 38 | 0,3673 | 39 | 42,4 | 55 | 64,0 | 4 | 2,88 | 75 | 98,3 | 65 | 476,41 | 4729,37 |
| 996 | 77 | 0,4013 | 29 | 42,4 | 44 | 64,0 | 21 | 2,88 | 61 | 91,0 | 88 | 529,20 | 4769,81 |
| 997 | 15 | 0,2994 | 99 | 44,6 | 18 | 62,4 | 34 | 3,97 | 96 | 105,5 | 54 | 423,62 | 5121,65 |
| 998 | 91 | 0,4353 | 37 | 42,4 | 98 | 68,5 | 10 | 2,88 | 78 | 98,3 | 8 | 318,04 | 3930,68 |
| 999 | 65 | 0,4013 | 22 | 42,4 | 74 | 64,0 | 11 | 2,88 | 46 | 91,0 | 41 | 423,62 | 4988,04 |
| 1000 | 21 | 0,2994 | 10 | 41,4 | 95 | 68,5 | 67 | 5,07 | 64 | 91,0 | 12 | 370,83 | 5139,79 |

Tabela 4.3b – Resumo de 1000 valores simulados de custos queijo Minas Padrão

Planilhas de simulação

Com as informações citadas anteriormente, foram elaboradas duas planilhas em Excel, uma planilha de simulação utilizando dados históricos quando disponíveis e outra planilha, pleiteada pela empresa, com informações dos especialistas, na maioria das vezes pela falta de informações históricas e também pela rapidez da tomada de decisão com a mesma.

A fórmula de custos proposta e aprovada para a simulação é:

$$(PL * 10 * (100 - Up) / \text{Coef GL}) * (1000) + (PI * QI) + (PEMB * QEMB) + (PMOD * EfMOD) + CIND.$$

Considerando que na composição dos custos indiretos a depreciação não varia, seu valor relativo e informado pela empresa, R\$237,04 foi fixado na fórmula, sendo variáveis os demais itens deste custo. Assim a fórmula final para simulação ficou:

$$(PL * 10 * (100 - Up) / \text{Coef GL}) * (1000) + (PI * QI) + (PEMB * QEMB) + (PMOD * EfMOD) + (237,04 + CIND), \quad 4.10$$

Também foi confirmado com os especialistas quais informações deveriam ser apresentadas nos resultados, chegando-se à conclusão que poucas informações, porém, as mais importantes, seriam as elegidas, tais como: custo mínimo, custo máximo, custo médio, probabilidade de o custo ser maior que um determinado valor, tabela e gráfico de distribuição de frequência dos resultados, gráfico de análise de sensibilidade.

Para os cálculos dos **custos máximo, mínimo e médio**, utilizou-se as seguintes fórmulas do Excel:

MÁXIMO(núm1; núm2;...), sendo núm1, núm2, etc., números para os quais se deseja saber o valor máximo; sendo para o cálculo do mínimo o mesmo argumento.

MÉDIA(núm1; núm2;...), sendo núm1, núm2, etc., argumentos numéricos para os quais se deseja saber a média aritmética. No entanto, para o custo médio optou-se por trabalhar com um intervalo do custo médio, considerando-se para isto a fórmula:

INT.CONFIANÇA(alfa;desv_padrão;tamanho), onde:

Alfa: é o nível de significância utilizado para calcular o nível de confiança. O nível de confiança é igual a $100 \cdot (1 - \text{alfa})\%$ ou, em outras palavras, um alfa de 0,05 indica um nível de confiança de 95% (STEVENSON, 2001).

Desv_padrão: é o desvio padrão da população para o intervalo de dados e presume-se conhecido.

Tamanho: é o tamanho da amostra.

O intervalo de confiança é um intervalo em um dos lados de uma média de amostra. Ao considerar que alfa seja igual a 0,05, precisa-se calcular a área sob a curva normal padrão que é igual a $(1 - \text{alfa})$ ou 95%.

À média aritmética calculada foi subtraída e adicionada deste valor, encontrando-se respectivamente o **menor e maior valor do intervalo**.

Para o cálculo da **probabilidade do custo ser maior que um determinado valor**, utilizou-se a função DIST.NORM.

Conforme Levine et al., (2000), esta função calcula a área ou a probabilidade correspondente a um valor menor do que um dado valor X e é dada por:

DIST.NORM(x ;média;desv_padrão;cumulativo),

Onde:

X : é o valor para o qual a distribuição se deseja obter.

Média: é a média aritmética da distribuição.

Desv_padrão: é o desvio padrão da distribuição.

Cumulativo: é um valor lógico que determina a forma da função. Se *cumulativo* for VERDADEIRO, DIST.NORM retornará a função cumulativa de distribuição; se for FALSO, ele retornará a função massa de probabilidade. A equação para a função de densidade normal é:

$$f(x, m, s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s} e^{-\left(\frac{(x-m)^2}{2s^2}\right)} \quad 4.12$$

Quando *cumulativo* for Verdadeiro, o valor é retornado da integral de menos infinito até o valor X que se quer determinar.

Para elaboração da tabela e gráfico da *distribuição de frequência dos resultados*, considerou-se o mesmo critério já citado anteriormente neste capítulo.

Para o cálculo da *correlação* utilizou-se graficamente o *coeficiente r de Pearson*.

Conforme Stevenson (2001), este coeficiente informa o grau de relacionamento entre duas variáveis contínuas (variam livremente). Este coeficiente tem duas propriedades que caracterizam a natureza de uma relação entre duas variáveis, uma é o seu sinal (+ ou -) e a outra é sua magnitude.

De maneira geral tem-se que:

- O valor de *r* varia de -1,00 a +1,00,
- Um relacionamento *positivo* (*r* é +) entre duas variáveis indica que os valores altos (baixos) de uma das variáveis, correspondem aos valores altos (baixos) da outra.
- Um relacionamento *negativo* (*r* é -) significando que valores altos (baixos) de uma variável correspondem aos valores baixos (altos) da outra.
- Um relacionamento *zero* (*r* ~ 0) indicando que alguns valores altos correspondem aos valores baixos e outros correspondem aos valores altos.
- O sinal de *r* é sempre o mesmo sinal de b, o coeficiente angular de uma reta imaginária ajustada aos dados.

A fórmula utilizada foi:

PEARSON (matriz1;matriz 2)

Matriz1 é um conjunto de valores independentes.

Matriz2 é um conjunto de valores dependentes.

O valor r da linha de regressão é:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad 4.13$$

As planilhas de simulação apresentam o gráfico de correlação das variáveis de custos com o valor do custo simulado.

As Figuras 4.8 e 4.9 mostram os comandos necessários para se utilizar as planilhas de dados históricos e de dados dos especialistas, respectivamente.

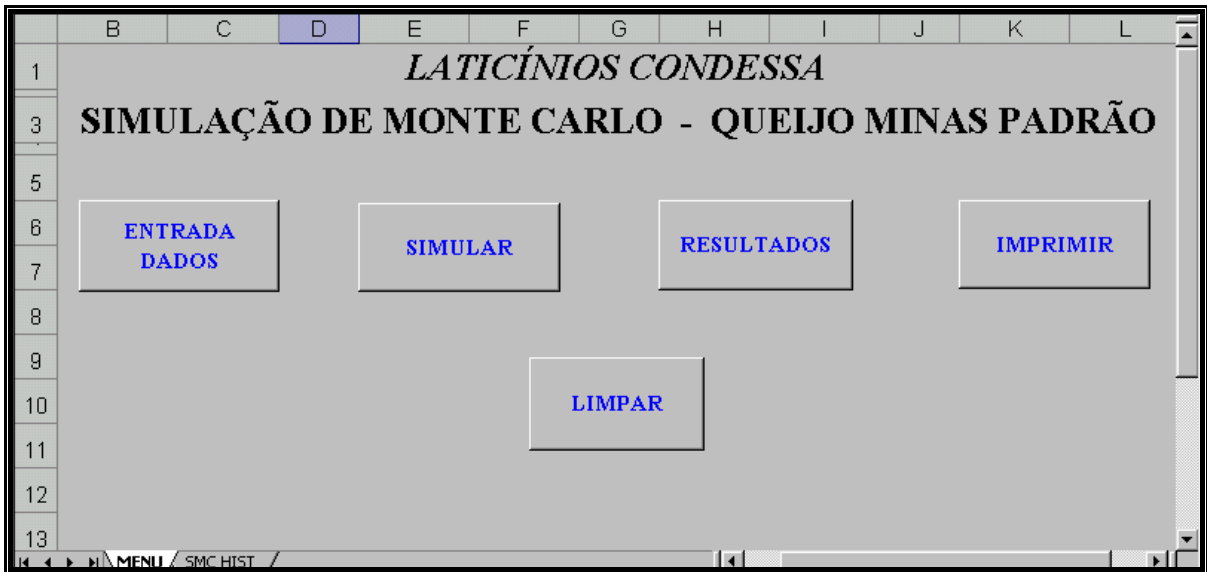


Figura 4.8 – Menu de comando da planilha de SMC dados históricos

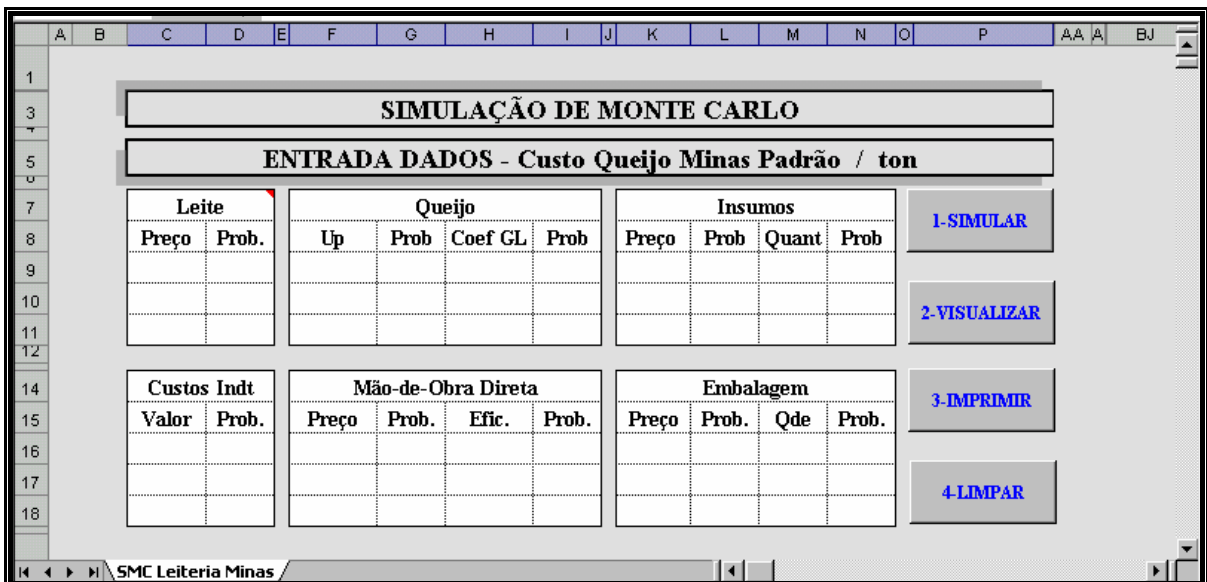


Figura 4.9 – Menu de comando da planilha de SMC dados Especialistas

A Figura 4.10 apresenta os dados históricos digitados, que automaticamente são convertidos em tabelas de distribuição de frequências para cada parâmetro, de forma a serem facilmente empregadas para a simulação.

| VALORES HISTÓRICOS - PARÂMETROS DE CUSTOS | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|------|-------|-------|-------------------|--|
| Probabilidade do Custo ser maior que: | | | | | 5244,60 | | MENU | | | | |
| N° | Leite Preço | Umidade | Coef GL | Insumos | | Embalagem | | MOD | | Custo Indireto | |
| | | | | Preço | Qde | Preço | Qde | Preço | Efic | | |
| 1 | 0,3642 | 44,6 | 62,2 | 10,14 | 10,4 | 0,27 | 1001 | 2,70 | 88,9 | 382,26 | |
| 2 | 0,3714 | 41,4 | 61,8 | 12,28 | 7,6 | 0,28 | 1013 | 6,02 | 69,3 | 304,99 | |
| 11 | 0,3109 | 43,8 | 63,5 | 9,54 | 9,7 | 0,26 | 1020 | 3,76 | 82,4 | 454,89 | |
| 12 | 0,3389 | 43,2 | 68,5 | 9,19 | 9,5 | 0,27 | 1006 | 2,77 | 88,5 | 529,20 | |
| 13 | 0,3594 | 42,5 | 61,5 | 11,94 | 8,5 | 0,25 | 1004 | 4,56 | 77,1 | 265,26 | |
| 14 | 0,3860 | 40,3 | 64,5 | 10,42 | 8,0 | 0,26 | 1004 | 1,78 | 90,7 | 399,65 | |
| 15 | 0,3974 | 43,3 | 61,1 | 9,17 | 8,8 | 0,24 | 1008 | 2,88 | 75,5 | 318,13 | |
| 16 | 0,4013 | 41,6 | 64,1 | 8,74 | 9,4 | 0,24 | 1018 | 3,99 | 87,6 | 398,73 | |
| 17 | 0,4024 | 42,4 | 63,6 | 9,02 | 8,8 | 0,23 | 1020 | 2,75 | 89,5 | 461,95 | |
| 18 | 0,4016 | 44,2 | 62,5 | 9,57 | 10,1 | 0,24 | 1007 | 6,27 | 93,7 | 354,51 | |
| 19 | 0,4170 | 43,5 | 63,9 | 11,51 | 8,0 | 0,29 | 1005 | 2,54 | 95,2 | 500,70 | |
| 20 | 0,4353 | 42,7 | 61,4 | 10,23 | 8,4 | 0,26 | 1000 | 5,45 | 101,0 | 466,19 | |

Figura 4.10 – Tabela de dados históricos

Acionando o comando *Simular* e após 10.000 simulações, e utilizando-se do comando *Resultados*, tem-se a Figura 4.11 que mostra os resultados possíveis. A planilha também possui outros botões de comando tais como: *Imprimir* e *Limpar*.

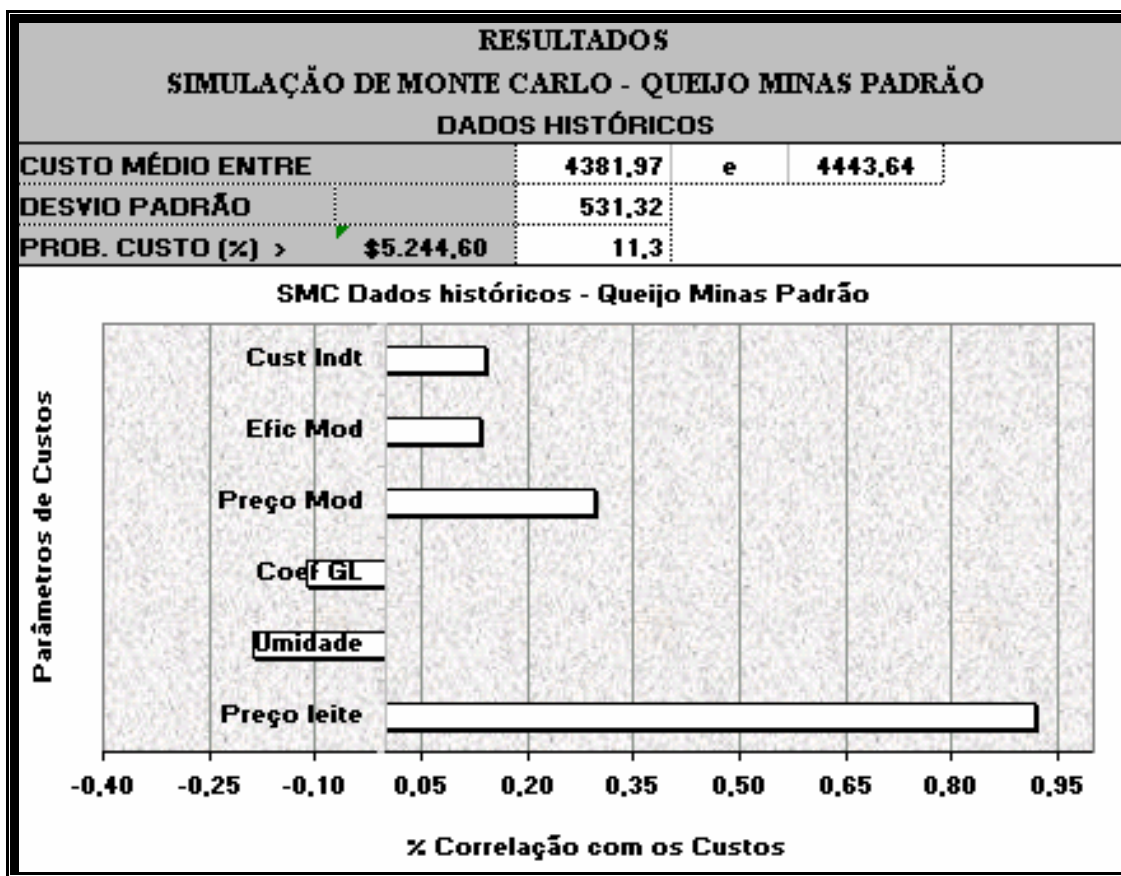


Figura 4.11 – Resultado com 10.000 simulações – Dados históricos Queijo Minas Padrão.

4.5.2 Verificação do programa de simulação computacional

Nesta etapa foi verificado se o programa estava adequado para o modelo e se o mesmo funcionava adequadamente, de forma a assegurar que o modelo conceitual seja perfeitamente representado computacionalmente. Para tal, realizou-se o exame das saídas do modelo, observando sua coerência para com os parâmetros de entrada e a ajuda dos especialistas.

Também foi verificado se qual a distribuição de probabilidade dos dados de saída da SMC. Para tal, utilizou-se os dados de saída da simulação da Tabela 4.3 empregando o Teste de Aderência. Conforme Paiva (2004), este processo, comumente denominado de *Best Fitting*, ou de teste de aderência (Goodness of Fit - GoF), vale-se de uma comparação entre dois modelos de frequências acumuladas: uma real e outra teórica. A teórica é aquela que representa a distribuição de probabilidades que se deseja testar. Quanto maior for a aderência (ou a concordância) da distribuição real à teórica, tanto melhor será o ajuste.

Existem vários testes disponíveis para esta análise, entre os quais pode-se citar: *Anderson-Darling*; *Ryan-Joiner* e *Kolmogorov-Smirnov*. Pela ampla utilização e facilidade,

neste trabalho será empregado o teste de *Anderson-Darling*. Um ajuste será tanto melhor quanto maior for o valor do seu P-Value. Utilizando-se o software estatístico *MINITAB 13.0*, testou-se a aderência dos dados, segundo 6 tipos diferentes de distribuições contínuas de probabilidade conforme Tabela 4.4.

| Distribuição | Valor Anderson Darling |
|---------------------|------------------------|
| Exponencial | 3638,91 |
| Valores Extremos | 97,57 |
| Lognormal (base 10) | 89,4 |
| Lognormal (base e) | 89,4 |
| Logística | 80,19 |
| Normal | 61,68 |

Tabela 4.4 – Teste Anderson Darling SMC Dados Históricos Excel 1.000 simulações

A Tabela 4.4 mostra que o menor Valor de Anderson-Darling corresponde à distribuição Normal, resultado que coincide quando efetuado o mesmo teste com o software Crystal Ball para a SMC. Já para o *Latin Hypercube*, obteve-se uma distribuição Lognormal. Isto pode ser verificado nos resultados das Figuras 4.11a e 4.11b.

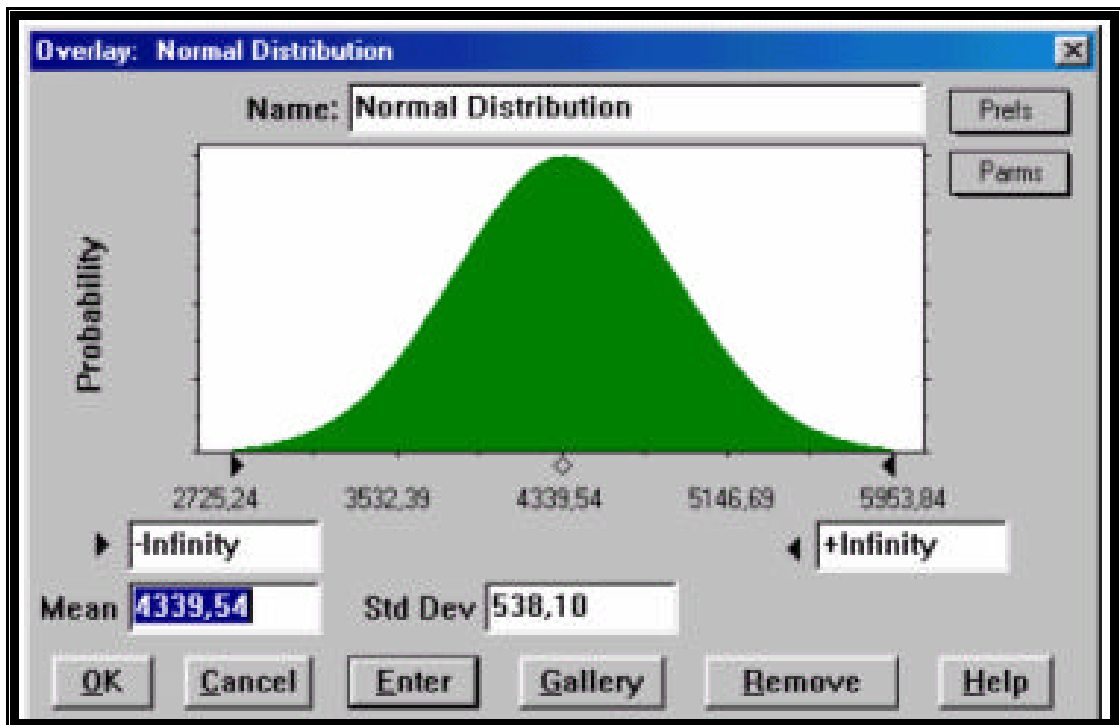


Figura 4.11a – Best Fitting 1000 SMC Crystal Ball dados históricos

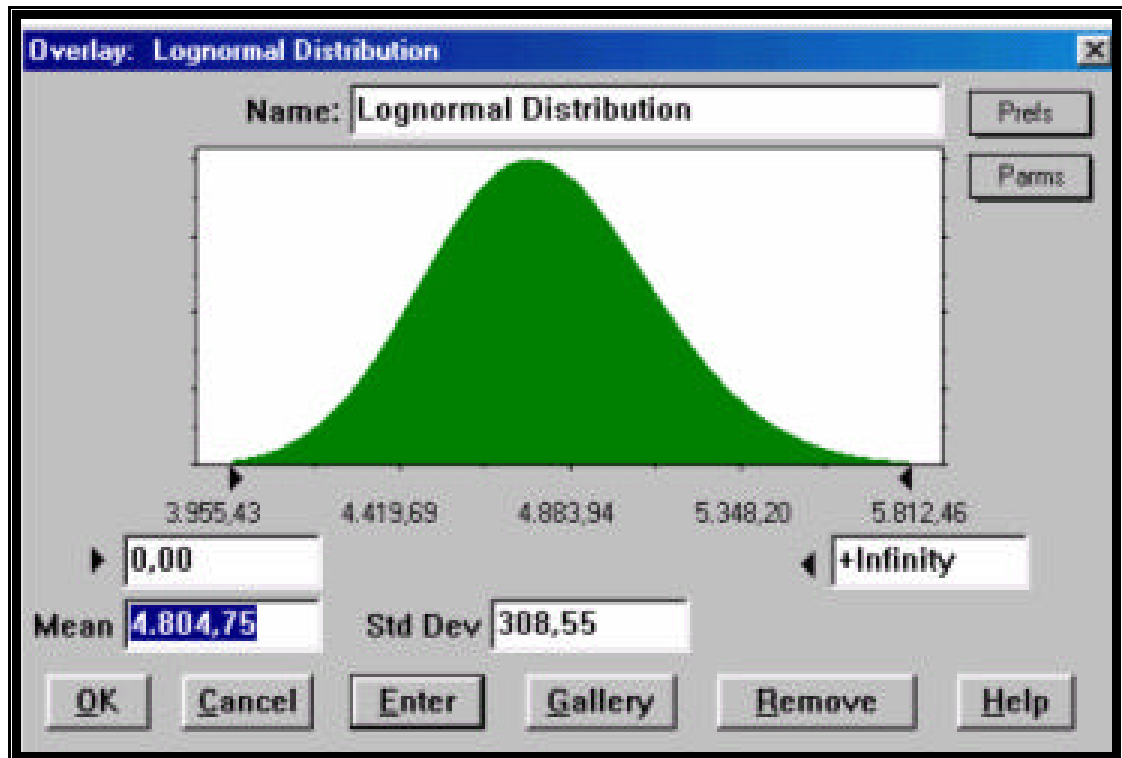


Figura 4.11b – Best Fitting 1000 Simulações LH Crystal Ball dados históricos

4.6 Realizações de execuções piloto

Executaram-se várias experimentações no modelo de simulação computacional verificado no item anterior, a fim de obter dados para validação do modelo programado.

4.7 Validação do modelo programado

A validação do modelo pode ser realizada comparando-se os dados obtidos no modelo com os dados do sistema, quando isto for possível.

Efetuiu-se um *back test* onde foi avaliado o custo médio simulado (R\$5929,80) comparando-o com a média (R\$5711,91) de valores reais do período de 6 meses (jan-jul 2003). A diferença foi de 3,7 % a maior, porém validada como satisfatória pelo diretor da empresa.

Outras técnicas podem ser utilizadas, conforme indicado por Gavira (2003), ou seja, a coleta de informações e dados de alta qualidade do sistema, manutenção de um documento de suposições e desempenho para validação da saída do modelo de simulação.

4.7.1 Coleta de informações e dados de alta qualidade do sistema

Refere-se à coleta de toda informação existente sobre o sistema. A coleta foi realizada por meio da comunicação com especialistas, da análise da teoria existente e da intuição do modelador.

4.7.2 Validação da saída do modelo de simulação

Para Jain (1991), a validação consiste em assegurar que o modelo e os inúmeros pressupostos e simplificações adotadas no seu desenvolvimento sejam razoáveis e, se corretamente implementadas, tenham um comportamento e produzam resultados semelhantes àqueles observados nos sistemas reais.

Gavira (2003) afirma que a validação pode ser feita pela comparação das saídas do modelo e do sistema e pela análise de especialistas. Não tendo sido possível a primeira recomendação optou-se por executar uma comparação com um software estatístico já consagrado no mercado, o *Crystal Ball (CB)*, comercializado pela empresa americana *Decisioneering Inc.*, sendo considerado como o método de referência. Também se recorreu à análise de especialistas.

Utilizando-se os parâmetros de saída: *probabilidade do custo ser maior que R\$4721 e custo médio*, após 50 replicações de 1000 simulações dos dados históricos, tanto para a planilha Excel quanto para a SMC no CB, e empregando-se dados do Anexo C, utilizou-se a metodologia do Teste de Hipóteses.

Conforme Levine et al., (2000), este teste se inicia com alguma teoria, demanda ou afirmativa sobre determinado parâmetro de uma população. Neste caso, como hipótese inicial, escolhe-se que a análise está sob controle caso as médias dos parâmetros citados acima sejam iguais tanto para a planilha Excel quanto para o software *Crystal Ball*. Esta condição é chamada de hipótese nula, e é sempre correspondente ao *status quo* ou nenhuma diferença. Frequentemente identifica-se a hipótese nula pelo símbolo H_0 . Deste modo tem-se:

$$H_0 : m_{Excel} = m_{CB}$$

Caso a hipótese nula for considerada falsa, outra afirmativa deve ser verdadeira, sendo chamada de hipótese alternativa, H_1 , sendo o oposto da hipótese nula. Assim, tem-se:

$$H_1 : m_{Excel} \neq m_{CB}$$

Conforme Levine et al., (2000), com a ampla disponibilidade dos softwares estatísticos, um método de teste de hipóteses que tem ganhado aceitação envolve o conceito do valor p . Este **valor p** (P-value) é chamado de *nível observado de significância*, o menor nível no qual H_0 pode ser rejeitado para um dado conjunto de dados.

. Se o valor p for maior ou igual a α , a hipótese nula não é rejeitada.

. Se o valor p for menor do que α , a hipótese nula é rejeitada.

Assim empregando-se o software estatístico *MINITAB 13.0*, efetuou-se o teste de hipótese através do valor p , conforme os resultados que se apresentam na Tabela 4.5.

| | Prob (%) Custo > R\$4721 | | | Custo Médio (R\$) | | |
|----------------------------|--------------------------|-------|---------|-------------------|--------|---------|
| | N | Média | DesvPad | N | Média | DesvPad |
| C.Ball | 50 | 28,48 | 1,28 | 50 | 4349,7 | 13,0 |
| Excel | 50 | 26,86 | 1,04 | 50 | 4531,7 | 14,1 |
| Diferença | 1,612 | | | 181,9 | | |
| 95% Intervalo diferença | 1,149-2,075 | | | 187,36-176,58 | | |
| <i>P-value</i> | 0,0000 | | | 0,0000 | | |

Tabela 4.5 – Teste Hipóteses SMC CB e Excel 1000 simulações dados históricos

Neste caso, os valores de p ou *P-value* são 0,000, menores que o nível de significância $\alpha = 0,05$, rejeitando-se a hipótese nula de que as médias são iguais, e por consequência aceitando-se a hipótese alternativa de que as médias são diferentes. Trabalhando com um intervalo de confiança de 95%, estas diferenças são para *probabilidade do custo ser maior que R\$4721* o valor estimado de 1,612, e para *custo médio* o valor estimado de 181,97.

Estas diferenças (**Bias**) dizem respeito à exatidão do método que é definida como a concordância entre o resultado de um ensaio e o valor de referência aceita como convencionalmente verdadeiro. A exatidão, quando aplicada a uma série de resultados de ensaio implica numa combinação de componentes de erros aleatórios e sistemáticos (INMETRO, 2002).

Erros Aleatórios são inevitáveis erros humanos de observação que ocorrem quando são feitas medições repetidas. Esses erros variam em magnitude, podendo ser (+) ou (-), tendendo a se compensarem. Já os **erros sistemáticos** são aqueles que têm ou que tendem a ter

a mesma magnitude e o mesmo sinal algébrico para um dado conjunto de condições e seguem alguns princípios matemáticos ou físicos. São constantemente próprios do mau ajuste do instrumento ou da tendenciosidade do observador. São cumulativos porque têm os mesmos sinais. Se as condições são especificadas, tais erros podem ser avaliados e corrigidos (PAIVA, 2004).

As diferenças ou os erros sistemáticos de 1,612 e 181,97 encontrados entre a SMC na planilha Excel e a SMC através do software Crystal Ball para 1000 simulações são considerados pequenos ($< 10\%$), mas como forma de correção estes fatores *Bias* foram respectivamente adicionado e subtraído dos cálculos dos resultados da planilha Excel 1000 simulações, condição adotada para se simular dados históricos do custo do queijo Minas Padrão.

Da mesma forma, para a planilha de simulação com informações de entrada dos especialistas (figura 4.12), executou-se o teste de hipóteses utilizando os resultados de 50 repetições de 1000 simulações conforme Anexos D e F. Muito embora os valores de p sejam menores que 0,05, indicando que as médias também são diferentes, e com erros sistemáticos muito pequenos. Ao comparar a planilha Excel com dados dos especialistas com o software Crystal Ball, as diferenças são para *probabilidade de o custo ser maior que R\$4900,00* o valor estimado de 0,352 (0,3%), para o *custo médio* o valor estimado de 16,48 (0,3%), e para a *correlação preço leite / custo simulado* o valor estimado de 0,0094 (1%). Neste caso, aceitando estes erros como muito pequenos, não foi considerada importante a correção dos mesmos na planilha Excel. A Tabela 4.6 apresenta estes resultados.

| | Nx1000 | Prob (%) Custo > R\$4900 Média | Custo Médio (R\$) Média | Correlação Preço Leite/Custo Média |
|----------------|--------|-----------------------------------|----------------------------|--|
| C.Ball | 50 | 88,55 | 5037,0 | 0,9236 |
| Excel | 50 | 88,9 | 5020,5 | 0,9142 |
| Diferença | | 0,352 | 16,48 | 0,0094 |
| P-value | | 0,0420 | 0,0000 | 0,0000 |

Tabela 4.6 - Teste Hipóteses SMC CB e Excel 1000 simulações dados Especialistas

Com relação à validação pelos especialistas, Balei (1994) considera que a análise e avaliação de modelos por parte de especialistas é a melhor e mais simples forma de validá-los,

ressaltando que a validação, na prática, deve ser iniciada na fase de concepção e ser estendida até a fase de experimentação, afirmando que não é necessário ter um modelo pronto ao iniciar o processo de validação.

A validação do processo se deu através de duas reuniões e entrevistas não estruturadas e não documentadas, com duração de aproximadamente 10 horas, onde se procedeu a análise do modelo, das informações de saída (valores e gráfico). A principal sugestão apresentada pelo sócio-diretor, responsável pelas áreas comercial e industrial da empresa, foi o agrupamento de duas variáveis de entrada, sendo necessário modificar a fórmula de custo e a planilha de simulação. Outra sugestão foi a adaptação da planilha com os dados dos especialistas, para que se pudesse trabalhar com probabilidades práticas, do dia a dia, condição muitas vezes que ocorre em negociações de compra de matéria prima e de venda de produtos onde a rapidez das decisões é primordial. Discutiu-se e aprovou-se a idéia de forma que na planilha os parâmetros de custos tivessem no máximo três níveis de informações, ou seja três cenários: pessimista, mais provável e otimista. Efetuaram-se estas modificações que foram testadas com as informações do diretor da empresa, conforme Figura 4.12. Em seguida, o especialista aprovou as planilhas considerando-as adequadas e coerentes com a realidade, obtendo os resultados como mostram as Figuras 4.13 e 4.14.

| SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|---------------------------|--------------|----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|-------------------|
| ENTRADA DADOS - Custo Queijo Minas Padrão / ton | | | | | | | | | | | |
| Leite | | Queijo | | | | Insumos | | | | 1-SIMULAR | |
| Preço | Prob. | Up | Prob | Coef GL | Prob | Preço | Prob | Quant | Prob | | |
| 0,50 | 20 | 42,5 | 0 | 56,4 | 0 | 8,70 | 70 | 8,8 | 70 | | |
| 0,51 | 60 | 43,0 | 20 | 57,0 | 20 | 8,90 | 20 | 11,1 | 20 | | |
| 0,52 | 20 | 44,0 | 80 | 57,1 | 80 | 10,00 | 10 | 11,8 | 10 | 2-VISUALIZAR | |
| Custos Indt | | Mão-de-Obra Direta | | | | Embalagem | | | | | 3-IMPRIMIR |
| Valor | Prob. | Preço | Prob. | Efic. | Prob. | Preço | Prob. | Qde | Prob. | | |
| 400,00 | 30 | 3,98 | 50 | 91 | 50 | 0,25 | 60 | 1000 | 60 | | |
| 420,00 | 60 | 4,09 | 40 | 94 | 40 | 0,26 | 30 | 1010 | 30 | 4-LIMPAR | |
| 450,00 | 10 | 4,59 | 10 | 107 | 10 | 0,29 | 10 | 1020 | 10 | | |

Figura 4.12 – Dados do especialista para validação da planilha SMC Especialista.

| SIMULAÇÃO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|------|------|--------|---------|------|-------------|------|--------|------|-----------|------|--------|------|-----------|--|
| N | LEITE | | | QUELJO | | | INSUMOS R\$ | | | | EMBALAGEM | | | | CUSTO R\$ | |
| | Preço | Alea | Up | Alea | Coef GL | Alea | Preço | Alea | Quant. | Alea | Preço | Alea | Quant. | Alea | | |
| 1 | 0,510 | 44 | 44,0 | 64 | 57,0 | 86 | 8,67 | 40 | 8,8 | 34 | 0,030 | 40 | 1000 | 16 | 6183,9 | |
| 2 | 0,510 | 75 | 44,0 | 3 | 57,1 | 32 | 10,03 | 91 | 8,8 | 60 | 0,030 | 1 | 1000 | 59 | 6126,5 | |
| 3 | 0,510 | 53 | 44,0 | 78 | 57,1 | 16 | 8,67 | 43 | 8,8 | 15 | 0,039 | 96 | 1010 | 62 | 6123,9 | |
| 4 | 0,510 | 74 | 44,0 | 23 | 57,1 | 24 | 8,67 | 52 | 8,8 | 0 | 0,035 | 76 | 1000 | 56 | 6203,4 | |
| 5 | 0,500 | 9 | 43,0 | 96 | 57,1 | 6 | 8,92 | 78 | 8,8 | 40 | 0,030 | 18 | 1000 | 17 | 6126,2 | |
| 6 | 0,510 | 36 | 44,0 | 61 | 57,1 | 57 | 8,67 | 6 | 11,8 | 94 | 0,030 | 47 | 1000 | 27 | 6203,4 | |
| 7 | 0,510 | 71 | 44,0 | 67 | 57,1 | 39 | 8,67 | 70 | 11,1 | 78 | 0,030 | 55 | 1000 | 24 | 6152,1 | |
| 8 | 0,510 | 27 | 44,0 | 80 | 57,1 | 1 | 8,67 | 25 | 11,8 | 95 | 0,030 | 25 | 1000 | 6 | 6148,2 | |
| 996 | 0,515 | 87 | 43,0 | 86 | 57,1 | 7 | 8,67 | 26 | 11,1 | 73 | 0,030 | 23 | 1000 | 30 | 6291,2 | |
| 997 | 0,510 | 53 | 44,0 | 30 | 57,1 | 47 | 8,67 | 35 | 8,8 | 13 | 0,039 | 97 | 1000 | 9 | 6141,1 | |
| 998 | 0,510 | 23 | 44,0 | 71 | 57,1 | 8 | 10,03 | 98 | 8,8 | 62 | 0,030 | 18 | 1010 | 70 | 6210,7 | |
| 999 | 0,510 | 36 | 44,0 | 57 | 57,1 | 62 | 8,92 | 74 | 11,8 | 98 | 0,035 | 87 | 1000 | 9 | 6166,1 | |
| 1000 | 0,515 | 88 | 43,0 | 83 | 57,1 | 46 | 8,92 | 90 | 8,8 | 29 | 0,030 | 21 | 1020 | 93 | 6244,1 | |
| 1001 | 0,510 | 34 | 44,0 | 7 | 57,1 | 17 | 8,67 | 12 | 8,8 | 61 | 0,035 | 87 | 1000 | 30 | 6107,2 | |

Figura 4.13 – Planilha Especialista 1000 SMC informações da Figura 4.12

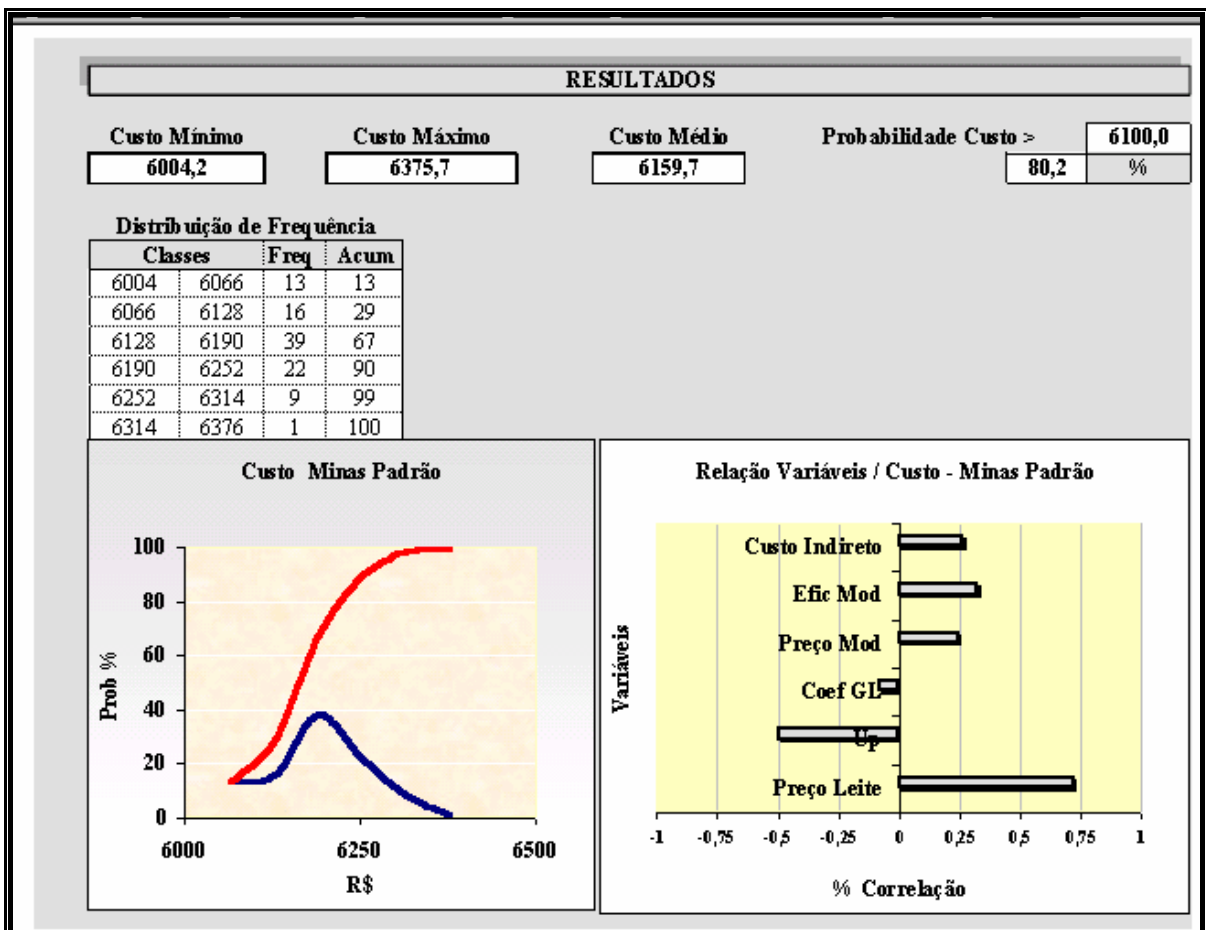


Figura 4.14 – Resultados da simulação – Planilha com dados Especialistas.

4.8 Experimentação

Nesta etapa, definiu-se o número mínimo de simulações a serem realizadas tanto na planilha que utiliza dados históricos quanto na planilha onde se empregam os dados dos especialistas. O parâmetro considerado foi a exatidão dos diferentes números de simulações quando comparadas as médias dos valores fornecidos pela planilha Excel, e pelo software *Crystal Ball* tanto para a SMC quanto para o LH.

Foram elaboradas planilhas em Excel com 1.000, 2.500, 5.000 e 10.000 simulações com os dados históricos, utilizando também o software *Crystal Ball* com os mesmos dados históricos e com o mesmo número de simulações para Monte Carlo e Latin Hypercube, efetuando 50 replicações para todos os casos onde se avaliou os resultados da *probabilidade do custo ser maior* que R\$ 4.721,00 (Anexo C).

A metodologia empregada foi a análise de variância ou ANOVA para comparar as médias aritméticas dos grupos. Conforme Levine et al., (2000), na análise de variância, subdivide-se a variação total nas medidas de resultado naquilo que se pode atribuir a diferenças entre os grupos c e aquilo que se deve ao acaso ou se atribui a variações inerentes aos grupos c . A variação “dentro do grupo” é considerada **erro experimental**, enquanto a variação “entre grupos” é atribuída a efeitos de tratamento. Sob o pressuposto de que os grupos c ou os níveis do fator em estudo representam populações cujas medidas de resultado são retiradas aleatória e independentemente, seguem uma distribuição normal e tem variâncias equivalentes, a hipótese nula de nenhuma diferença nas médias aritméticas das populações

$$H_0 : m_{SMCCBall} = m_{HL} = m_{Excel}$$

pode ser testada em relação à alternativa de que nem todas as médias aritméticas das populações c são iguais.

$$H_1 : \text{nem todas } m \text{ são iguais.}$$

Assim empregando-se o software estatístico *MINITAB 13.0*, efetuou-se o teste ANOVA, comparando-se todas as simulações e os resultados se apresentam na Tabela 4.7.

| Simulações | N x 1000 | Média | Desvio Padrão |
|-------------------------|----------|--------|---------------|
| SMC Cball 1000 | 50 | 28,476 | 1,278 |
| Latin Hypercube 5000 | 50 | 28,298 | 0,332 |
| SMC Excel 1000 | 50 | 28,474 | 1,041 |
| <i>P-value</i> | | 0,576 | |

Tabela 4.7– Teste ANOVA SMC CBall, SMC Excel e LH

Os resultados da Tabela 4.7 mostram que as médias são iguais para simulações de Monte Carlo com C.Ball 1000, Excel 1000 e LH 5000, pois o *P-value* é maior que 0,05 e assim decidiu-se trabalhar com a planilha Excel 1000 simulações para dados históricos.

Com relação à planilha Excel Especialista (figura 4.9), para se confirmar o número de simulações a serem efetuadas em um intervalo de confiança de 95 % e conforme já comentado no capítulo 3, seria necessário efetuar 384 tentativas para cada variável. Como a planilha tem 7 variáveis de entrada, sendo três delas (mão-de-obra, embalagem e insumos) com valores de preço e quantidade, considerando 10 variáveis, o número de tentativas deveria ser 3.840 vezes. No entanto, decidiu-se comparar planilhas de 1000, 5000, 10000 e 25000 simulações e analisar qual seria a diferença entre elas para o parâmetro de saída *custo médio*.

Após 50 replicações, conforme resultados do Anexo F, e utilizando o software *MINITAB 13.0* efetuou-se o teste da ANOVA, onde se obteve o *P-value* de 0,363, valor maior que 0,05, indicando assim que as médias são iguais. O gráfico *Boxplot* da Figura 4.6 mostra os resultados encontrados.

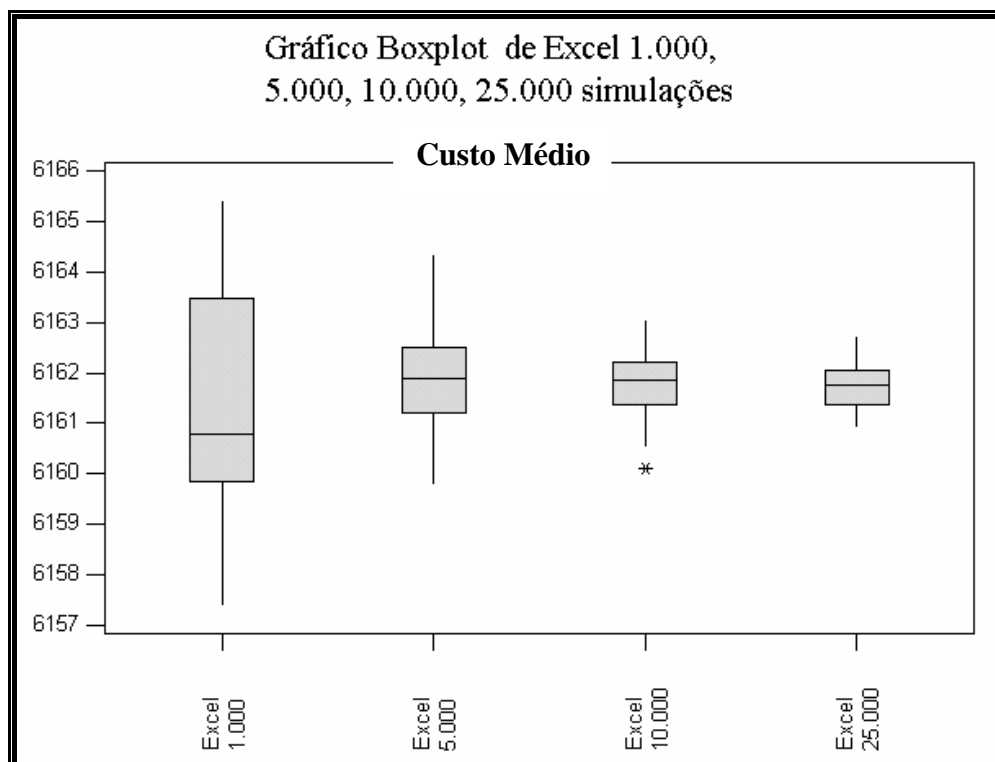


Figura 4.15 - Gráfico *Boxplot* ANOVA Custo Médio diferentes planilhas Excel Especialistas

Com esta informação, optou-se pela facilidade em simular mais rápido e praticidade, em trabalhar com a planilha de 1000 simulações.

4.9 Execuções das simulações

À medida que se executam as simulações, tabelas e gráficos são elaborados de forma que os usuários observem o comportamento das principais variáveis do sistema, e as medidas de desempenho calculadas a partir dos dados observados. Estes dados são utilizados na seção 4.10.

4.10 Análise dos resultados

Os testes realizados permitiram verificar o funcionamento do modelo de simulação, a operacionalidade da planilha e, ao mesmo tempo, entender como a construção de cenários relativos ao ambiente da indústria de laticínios pode beneficiar a gestão dos custos. Todos os resultados obtidos são apresentados nos Anexos C, D, E e F, assim como nas tabelas mostradas ao longo do trabalho, ressaltando também a Figura 4.14 que contém informações valiosas que merecem considerações:

A primeira consideração é que, quando se empregam cenários possíveis de ocorrência, como a realidade dos negócios da indústria de laticínios, os custos podem acontecer de uma maneira bem diferente daquela que se imagina ser quando se tem um dado determinístico. Neste caso, o custo médio de R\$6.159,70 obtido da simulação das informações do especialista, é maior que o custo padrão, ou seja, R\$6.127,3. Esta informação é importante e, conforme o diretor da empresa, faz com que seja repensada a forma atual de apresentação de proposta de vendas. Esta variação quando não considerada poderá limitar de maneira significativa os ganhos financeiros da empresa conforme o volume de um único contrato de vendas.

Outra informação importante e ligada com a consideração anterior é a probabilidade do custo estar acima do custo padrão, neste caso quase 70 %, valor bastante significativo que confirma a necessidade de rever a metodologia atual de negócios. O diretor da empresa foi pragmático em dizer que, utilizando a planilha e as informações, ficará mais fácil trabalhar durante as reuniões de negócios, ocasião em que muitas vezes tem-se que tomar as decisões de imediato.

Com relação ao gráfico de sensibilidade, as informações são de grande importância tanto para as pessoas que trabalham nas pontas da cadeia, compras e vendas, como para o pessoal de fábrica.

Analisando a planilha do Especialista (Figura 4.14), o parâmetro de custo que mais se relaciona com o custo simulado é o preço do leite (quase 0,75), reforçando a afirmação de que, se o preço da matéria prima aumenta, eleva-se também o custo do produto. Embora esta condição nem sempre esteja sob controle da firma, para este caso em especial, a empresa pode encaminhar ações a fim de procurar oficializar contratos de longo prazo (mínimo um ano) de compra com algumas cooperativas, de forma que as partes possam ter vantagens quando nos períodos de entressafra e safra.

Outros parâmetros que aparecem por ordem de importância em relação ao custo simulado, são:

- A umidade do queijo (valor de 0,5), tem um grande impacto no custo do produto e seu decréscimo implica em aumento do custo simulado. Vale ressaltar que este parâmetro tem um valor máximo legislado pelo Ministério da Agricultura, mas é de inteiro controle da empresa, a saber dos responsáveis pela produção, tornando evidente o quanto podem interferir no custo do produto.
- O valor e a eficiência (h-H-ton) da mão-de-obra direta que contribuem com uma relação de quase 0,5 para o custo simulado, devem ser bem coordenados a fim de obter a máxima eficiência. Para isto, um programa de treinamento, aperfeiçoamento de chefias, operadores e auxiliares de produção deve se tornar sistemático. Faz-se necessário também uma avaliação regular de cargos e salários de forma a criar um plano de carreira na empresa, assim como constituir uma ferramenta de informação da utilização da pessoa certa na função certa, evitando problemas trabalhistas e o pagamento de mão de obra acima daquela necessária para a função ou tarefa.
- O Coeficiente GL ou rendimento técnico que quando decresce aumenta o custo simulado, deve ser rigorosamente controlado, por batelada de produção, pois interfere de maneira importante no custo. Neste caso, sua correlação não é muito alta, mas em outras simulações esta correlação foi relevante.

Com relação aos custos indiretos, a correlação não é grande. Considerando que a depreciação é fixa, os demais componentes deste custo: materiais, serviços de terceiros e utilidades merecem um estudo contínuo para avaliar uma possível racionalização visto que são contas que tendem sempre a aumentar.

Estes itens estão basicamente sob controle total da firma e do pessoal de fábrica, pois os parâmetros de umidade e rendimento estão relacionados com performance do processo de fabricação e a mão-de-obra com o treinamento, a boa coordenação da equipe e a utilização das pessoas certas para as tarefas certas. Vale ressaltar que estes somam mais de 1,0 de relação com o custo, valor bem superior ao preço do leite, item de pouco controle da empresa.

4.11 Documentação e implementação

Os dois últimos passos de um estudo de simulação são a documentação e a implementação. O primeiro refere-se à sua documentação, e os resultados obtidos. Neste estudo, a documentação do desenvolvimento dos passos da simulação foi feita em relatórios parciais que foram passados para empresa. Em relação à implementação, o ponto mais importante foi o envolvimento das pessoas ligadas a todo o processo de confecção e execução do estudo de simulação.

CAPÍTULO 5

Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Este trabalho teve como expectativa contribuir para a sistemática de tomada de decisões quando se consideram os custos, propondo uma metodologia capaz de contribuir para o processo gerencial na avaliação de cenários que envolvam a atividade da indústria que se está inserido, no caso a de laticínios brasileira.

Existe vasta literatura sobre custos abordando os principais sistemas de custeio com suas características, vantagens e desvantagens. Porém, não existe a mesma disponibilidade, quando se procura focar com mais profundidade as variações dos custos, suas causas e principalmente como projetar estas variações através de cenários que, utilizados com antecedência, poderão subsidiar com mais riqueza as decisões empresariais, assim espera-se que este trabalho possa cobrir uma lacuna existente na disponibilidade de ferramentas de apoio às decisões a serem utilizadas por dirigentes de organizações que poderão auxiliar na gestão de custos das organizações industriais.

A expectativa é que o processo de tomada de decisão possa ser acelerado, deixando de ser apenas intuitivo e passando a utilizar critérios novos e mais seguros.

Não é raro observar nas empresas que decisões de cunho financeiro são tomadas sustentadas em poucas informações, fato que deixa muita vulnerabilidade a riscos de perda de rentabilidade, de bons negócios e muitas vezes de comprometimento da perenidade da empresa. Assim, a consideração prévia de cenários probabilísticos de ocorrência pode contribuir para que sejam tomadas ações em tempo contribuindo, sobremaneira, para a competitividade das empresas.

Neste sentido, o trabalho se propôs a apresentar uma breve revisão bibliográfica de custos, mostrando o que é Custo Real, Custo Padrão, suas principais variações, a Simulação de Monte Carlo – SMC, suas aplicações na área financeira, fornecendo o conceito de fundamental importância para a pesquisa.

Para se utilizar a SMC existem muitos softwares estatísticos no mercado sendo um dos principais o *Crystal Ball 2000*, da *Decisioneering*. No entanto, embora sejam de alta

qualidade, estes softwares são também muitas vezes inacessíveis sob o aspecto financeiro para grande parte das empresas.

Com isso, verifica-se que existe uma possibilidade de desenvolver planilhas eletrônicas em Excel de forma prática, objetiva, intuitiva, viável, de fácil acesso, flexível e agradável a fim de contribuir para uma análise econômico-financeira mais segura das empresas quando em decisões baseadas nos custos.

O desenvolvimento da ferramenta foi baseado em planilha Excel, utilizando todas as instruções nele existentes, assim como informações acadêmicas disponíveis na Universidade Federal de Itajubá.

Neste contexto, a Simulação de Monte Carlo se apresentou como uma ferramenta em potencial para a projeção de cenários em custos, tanto quando se tem dados históricos disponíveis ou quando isto não é possível. Neste caso, utilizou-se a sensibilidade, o conhecimento e a experiência dos especialistas (gerentes e dirigentes das empresas) que informam com clareza os dados de entrada para o programa de simulação.

Os resultados obtidos com as planilhas desenvolvidas podem ser considerados confiáveis e semelhantes aos obtidos pelo software *Crystal Ball*, e a contento dos especialistas que puderam experimentá-los e confirmar suas contribuições.

A diretoria da empresa concorda que a possibilidade de se trabalhar com cenários através da SMC, contemplando as incertezas dos custos (suas variações), é bastante vantajosa e permite uma visão mais realista do negócio em comparação com a forma tradicional de tomada de decisão com base em dados determinísticos. Com as informações geradas pela simulação do diretor, entende-se que, em termos de fábrica, é possível fazer avaliações da utilização da mão-de-obra, do processo através do rendimento e a possibilidade de encaminhar ações de melhoria contínua dos parâmetros técnicos. Já em termos de compra de leite, as informações da simulação podem subsidiar a decisão de comprar ou não no mercado *spot* para a produção ou também de produzir ou não produzir baseado no preço em questão. Conclui-se então que o uso da simulação de maneira simples contribui de maneira eficaz para a gestão dos Laticínios Condessa.

Ao término deste trabalho pôde ser verificado, conforme a literatura, algumas vantagens e desvantagens da simulação respectivamente como a obtenção de soluções rápidas no contexto de incertezas que se inserem as empresas, e a necessidade de experiência, treinamento especial, tempo de aprendizado para se construir o modelo.

Com relação aos objetivos aos quais este trabalho se propôs, também foram atingidos, a saber:

- Verificar a contribuição da Simulação de Monte Carlo como forma de enriquecer a gestão das empresas quando se utilizam as projeções de cenários probabilísticos dos custos como fator de decisão. Isto foi evidenciado com as colocações do diretor da empresa, concluindo que este objetivo foi atingido.
- Em caso de variações no preço do leite, que impacto isto teria no custo? Neste caso a análise de correlação pelo coeficiente de *Pearson* mostra uma correlação positiva e forte, isto é, de 0,95 (fig. 4.11) e 0,75 (fig. 4.14), sugerindo ações alternativas da empresa.
- Como variações no rendimento técnico (eficiência operacional), na umidade do queijo, no valor da mão-de-obra e na sua eficiência podem afetar o custo? Essa pergunta e objetivo foi atendida, pois através das figuras 4.11 e 4.14 pode-se verificar o quão estas variáveis de custo afetam o custo simulado tanto na planilha de dados históricos como na planilha de especialistas.
- Qual seria a probabilidade do custo simulado do produto se situar acima de um determinado valor? Respondendo esta pergunta ao comparar o custo simulado com o custo padrão, parâmetro utilizado para decisões de compra e vendas. O objetivo foi atingido pela possibilidade da planilha executar de maneira prática esta comparação.

5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Prosseguir na busca do desenvolvimento da atividade econômica/financeira das empresas é, sem dúvida, um dos objetivos da área acadêmica. Isto é relevante, visto que as decisões gerenciais baseadas nesta atividade são de extrema importância e se posicionam no limite de alavancar ou comprometer os negócios. Assim, a responsabilidade de a cada dia subsidiar melhor as decisões é uma verdade, o que, então, dá lugar à contribuição que as simulações podem prestar neste contexto. A SMC é uma das ferramentas que pode ser utilizada e, se desenvolvida de forma fundamentada e acessível, pode contribuir muito para as empresas brasileiras. A continuidade deste trabalho, sem dúvida alguma, é uma necessidade no tocante ao aprimoramento da planilha, recomendando-se assim:

- Aplicar a SMC abrangendo todo o sistema de custos da empresa incluindo: volume de vendas, despesas de vendas, margem de contribuição, impostos, o que facilitará a visão do empresário.
- Ampliar o estudo para aplicar a SMC para obtenção de distribuição de probabilidade do lucro líquido de uma empresa considerando todas as variáveis.
- Utilizar a SMC em sistemas de custos ABC já implantados.
- Usar Regressão Linear quando da utilização de dados históricos.
- Relacionar o coeficiente de Pearson com valores de custos quando os resultados se apresentarem acima do custo padrão.
- Contemplar a análise de Interação quando da elaboração do modelo da simulação.
- Utilizar a decomposição de *Cholesky* para análise da variação de dados correlacionados.
- Avaliar se a planilha desenvolvida neste trabalho pode ser aplicada em empresas de outros ramos, como recomendação para futuros trabalhos, a fim de verificar as limitações de tal ferramenta.

Referências Bibliográficas

ABIA-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **PIB da Indústria de laticínios em relação ao PIB do agronegócio brasileiro**. Disponível em: URL: <<http://www.abia.org.br/vst/eco/Perspectivas.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2004.

ABIA-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Produção de lácteos estabelecimentos com SIF no Brasil**. Disponível em: URL: <<http://www.abia.org.br/vst/eco/Perspectivas.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2004.

ABIA-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Setores da indústria de alimentos**. Disponível em: URL: <<http://www.abia.org.br/vst/eco/Perspectivas.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2004.

ACCORSI, A., PANHONI, F. Risco de Mercado: o Método Simulação Histórica Aplicado ao IBOVESPA. **Revista Administração On Line**, v.4, n.3, jul./ago/set. 2003.

BACKER, Morton; JACOBSEN, Lyle E. **Contabilidade de custos**: um enfoque para administração de empresas. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1972.

BALEI, Balci O. Validation, verification and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study. **Annals of Operations Research**, v.53, p.121-74, 1994.

BARNES, Ralph M. **Estudo de movimentos e de tempos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

BERTRAND, J. W., FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, nº 2, 2002, p. 241-254.

BEZERRA, Fábio L. O.; CARMONA, Charles U. M. Avaliação da estimativa do risco de mercado de ações e opções de compra da Petrobrás utilizando a metodologia *Value at Risk* (VaR) com simulação de Monte Carlo. **Revista Eletrônica de Administração**, v.8, n.4, jul./ago. 2002. Disponível em: < <http://read.adm.ufrgs.br/>>.

BOYLE, Phelim, P. Options: a Monte Carlo approach. **Journal of Financial Economics**, v.4, n.3, p.323-38, May 1977.

BRUNI, Adriano L.; FAMÁ Rubens; SIQUEIRA, José de O. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação de Monte Carlo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v.1, n.6, 1998.

CARVALHO, Alessandro J.R. **Desenvolvimento de metodologia e protótipo de sistema informatizado de apoio à gestão estratégica de custos em laticínios**. 1998. Dissertação (Mestrado em Economia rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CASHIN, James A.; POLIMENI, Ralph S. **Curso de contabilidade de custos**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1982. v.1.

COATES, Eyer R.; KUHL, Michael E. Using simulation software to solve engineering economy problems. **Computers and Industrial Engineering**, v.45, n.2, p.285-94, Aug. 2003.

CORRAR, João L. O modelo econômico da empresa em condições de incerteza aplicação do método de simulação de Monte Carlo. **Caderno de Estudos**, São Paulo, n.8, p.1-11, abr. 1993.

CORREIA NETO, Jocildo F.; MOURA, Heber J.; FORTE, Sérgio H. A. Modelo prático de previsão de fluxo de caixa operacional para empresas comerciais considerando os efeitos do risco, através do método de Monte Carlo. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v.8, n. 3, maio/jun. 2002. Disponível em: < <http://read.adm.ufrgs.br/>>.

DECISIONEERING INC. **When should I use Latin Hypercube sampling technote**. Disponível em: URL: <<http://www.decisioneering.com/>>. Acesso 03 maio 2004.

DRUKER, Peter F. **As novas realidades**: no campo e na política, na economia e nas empresas, na sociedade e na visão do mundo. 30.ed. São Paulo: Pioneira, 1993.

FAEMG-FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Preços agrícolas**: leite. Disponível em : URL: <<http://www.faemg.org.br>>. Acesso 03 maio 2004.

FURTADO, Múcio M. **Principais problemas dos queijos: causas e prevenção**. São Paulo: Fonte de Comunicações, 1999.

GAVIRA, Muriel O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GONÇALVES, J. C.; PAMPLONA E. O. O. Sistema de custos para micro e pequena empresa: uso de planilha eletrônica com macros. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7, 2000, Bauru: Unesp, 2000. Disponível em: <<http://www.simpep.feb.unesp.br/Anais%20VII%20SIMPEP.htm>>.

HAMAOKA, Ricardo E., SILVA, Paulo A.L. **Repetibilidade e Reprodutibilidade**. Relatório Técnico nº 030/DE9/98. Instituto Militar de Engenharia, 1998.

HERTZ, David B. Risk analysis in capital investment. **Harvard Business Review**, v.42, n.1, p.95-106, 1964.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **DOC-CGCRE-008**: orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos. Rio de Janeiro, 2002.

JAIN, R. **The art of computer systems performance analysis**. New York: John Wiley and Sons, 1991.

JOHNSON, Thomas H.; KAPLAN, Robert S. **Contabilidade gerencial**: a restauração da relevância da contabilidade nas empresas. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

- KAPLAN, R. S.; COOPER, R. **Custo e desempenho**: administre seus custos para ser mais competitivo. São Paulo: Futura, 1998.
- KROETZ, César E. S. **Apostila de contabilidade de custos**. Ijuí, RS: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2001.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3.ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- LEE, Kun J.; et al. Nuclear fuel cycle cost analysis using a probabilistic simulation technique. **Annals of Nuclear Energy**, v.25, n.10, p.771-89, 1998.
- LEONE, George S. G. **Curso de contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 1997.
- LEONE, George S. G. **Custos**: um enfoque administrativo. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1983.
- LEVIN, Jack. **Estatística aplicada a ciências humanas**. São Paulo: Harbra, 1987.
- LEVINE, David M.; BERENSON Mark L.; STEPHAN D. **Estatística: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.
- LOBATO, Daniel C. **Proposta de um ambiente de simulação e aprendizado inteligente para RAID**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2000.
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2001.
- MAIA, José A. C. **Métodos probabilísticos aplicados à estabilidade de taludes e cavidades de rocha**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- MARIA, A. **Introduction to Modeling and Simulation**. Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference. Ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D.H. Withers, and B.L. Nelson.
- MAUAD, Luis G. A. **Avaliação das características de implantação do sistema de custeio ABC em uma instituição de ensino**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2001.
- MILONE, Mário C.M., FAMÁ Rubens; **Avaliação de Risco: Modelos Simplificados de VAR ao Alcance de Investidores Não-Institucionais**. Estudo de Finanças. V SEMEAD. Junho 2001.
- MOTTA, Flávia G. **Fatores condicionantes na adoção de métodos de custeio em pequenas empresas**: estudo multicase em empresas do setor metal-mecânico de São Carlos. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- MOURA, Ana M.C., PEIXOTO, Marcos V; **Repetibilidade e Reprodutibilidade**. Relatório Técnico nº 030. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 1998.

NEVES, A. F. **Sistemas de apuração de custo industrial**. São Paulo: Atlas, 1981.

NICCOLI, W.; et al. Latin hypercube sampling: application to pit lake hydrologic modeling study. In: CONFERENCE ON HAZARDOUS WASTE RESEARCH, 1998, Snowbird, Utah. **Proceedings...** Snowbird: Hazardous Substance Research Center, 1998.

NOVO, André L. M. **Avaliação de programas privados de assistência técnica no setor leiteiro**: um estudo de caso do departamento de assistência ao produtor Parmalat. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

OSTRENGA, M. Guia da **Ernst & Young para gestão total dos custos**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

PADOVEZE, C. L. **Contabilidade Gerencial** – Um enfoque em sistema de informação contábil. São Paulo, Editora Atlas S.A. , 1997.

PAIVA, Anderson P. **Estudo da minimização de erro nas medições de concentração de emulsões por titração Karl-Fischer utilizando-se projeto de experimentos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004.

PAMPLONA, Edson de O. **Contribuição para a análise crítica do sistema de custos ABC através da avaliação de direcionadores de custos**. 1997. Tese (Doutorado em Administração) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, 1997.

PAMPLONA, Edson de O. Gerenciamento de riscos em custos. In: VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE COSTOS, 7. 2003, Punta Del Este. **Anais...** Punta Del Leste, 2003. Disponível em: URL: <http://www.iem.efei.br/Edson/pesquisa.htm#atividades>.

PAREJA, Ignacio V. **Decisiones de inversion bajo riesgo e incertudumbre**. Bogotá: Norma de Bogotá, 2003.

PINTO, Orlando. P. F. **Simulação e otimização**: desenvolvimento de uma ferramenta de análise de decisão para suprimimento de refinarias de petróleo através de uma rede de oleodutos. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PORTER, Michael E. **Vantagem competitiva**. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

SAIN, Paulo, K. S **Estudo Comparativo dos Modelos de Value-at-Risk para Instrumentos Pré-Fixados**. 2001. Dissertação (Mestrado em Administração) – FEA- Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001..

SALES, N. J.; CORDENONSSI, J. O impacto dos vários tipos de custeio no orçamento empresarial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS, 5., 1998, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1998. p.275-92.

SALES, Joanília N.; SMITH, Marinês S .J. Decisão pelos gestores da PMES (Pequenas e Médias Empresas) de calçados. In: ENCONTRO SOBRE EMPREENDEDORISMO E GESTÃO DE PEQUENAS EMPRESAS, 2., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2001. p.450-63.

SALIBY, E. **Repensando a simulação**: a amostragem descritiva. São Paulo: Atlas, 1989.

SALIBY, E.; ARAÚJO, Marcos M. S. Cálculo do valor em risco através da simulação de Monte Carlo: uma avaliação de uso de métodos amostrais mais eficientes em portfólios com opções. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL 23., 2001, Campos do Jordão. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2001. Disponível em <http://www.sobrapo.org.br/simposios/xxxiii/artigos/080-ST280.pdf>.

SANTOS, Edilene S.; PONTE V. Modelo de decisão em gestão econômica. **Caderno de Estudos**, São Paulo, v.10, n.19, p.43-56, set./dez. 1998.

SHAMBLIN, James E.; STEVENS G. T. **Pesquisa operacional**. São Paulo: Atlas, 1979.

SILVA, Ediney L. **Custo-padrão e produtividade**. Rio de Janeiro: CNI – Departamento de Assistência à Média e Pequena Empresa, 1977.

SOBOL, I. M. **A primer for the Monte Carlo method**. Flórida: CRC, 1994.

SOUZA, Osmar T. **O setor leiteiro**: políticas, competitividade e impactos na liberalização comercial nos anos noventa. 1999. Dissertação (Mestrado em) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SPINNEY, Peter J.; WATKINS, G. C. Monte Carlo simulation techniques and electric utility resources decisions. **Energy Policy**, v.24, n.2, p.155-63, 1996.

STEVENSON, William J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 2001.

STUDART, Ticiania M. C. **Análise de incertezas na determinação de vazões regularizadas em climas semi-áridos**. 2000. Tese (Doutorado em) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 7.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1999.

THOMPSON Jr, A. **Tomada de decisões sob condições de incerteza, risco e incerteza**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.(Texto didático, n.6)

VOSE, D. **Quantitative risk analysis**: a guide to Monte Carlo simulation modelling. England: John Wiley & Sons, 1996

Anexo A – Laticínios Condessa – Valores de Custo – Queijo Minas Padrão

| Meses | Preço Leite | Preço Ins | Preço Embl | Preço MOD | C. Indir. | Umidade | Coef GL | Qde Ins | Qde Embl | Efic MOD |
|--------|-------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|
| abr/02 | 0,3642 | 10,14 | 0,27 | 2,70 | 382,26 | 44,6 | 62,2 | 10,4 | 1001 | 88,9 |
| mai/02 | 0,3714 | 12,28 | 0,28 | 6,02 | 304,99 | 41,4 | 61,8 | 7,6 | 1013 | 69,3 |
| jun/02 | 0,3697 | 10,91 | 0,24 | 2,86 | 483,14 | 41,5 | 64,6 | 9,3 | 1009 | 78,3 |
| jul/02 | 0,3394 | 9,51 | 0,25 | 5,15 | 514,38 | 42,1 | 62,2 | 9,1 | 1008 | 84,5 |
| ago/02 | 0,3054 | 10,28 | 0,28 | 3,72 | 351,60 | 39,2 | 63,2 | 8,3 | 1020 | 87,9 |
| set/02 | 0,2828 | 9,18 | 0,24 | 5,37 | 411,93 | 43,2 | 63,3 | 10,1 | 1006 | 101,0 |
| out/02 | 0,2694 | 11,22 | 0,28 | 7,27 | 382,26 | 42,7 | 62,3 | 7,7 | 1020 | 99,7 |
| nov/02 | 0,2654 | 10,88 | 0,25 | 3,77 | 438,57 | 44,3 | 60,9 | 8,8 | 1019 | 105,5 |
| dez/02 | 0,2722 | 9,16 | 0,26 | 5,03 | 521,96 | 43,1 | 63,9 | 9,0 | 1003 | 84,4 |
| jan/03 | 0,2861 | 9,31 | 0,26 | 3,79 | 376,19 | 40,5 | 63,1 | 10,0 | 1018 | 97,8 |
| fev/03 | 0,3109 | 9,54 | 0,26 | 3,76 | 454,89 | 43,8 | 63,5 | 9,7 | 1020 | 82,4 |
| mar/03 | 0,3389 | 9,19 | 0,27 | 2,77 | 529,20 | 43,2 | 68,5 | 9,5 | 1006 | 88,5 |
| abr/03 | 0,3594 | 11,94 | 0,25 | 4,56 | 265,26 | 42,5 | 61,5 | 8,5 | 1004 | 77,1 |
| mai/03 | 0,3860 | 10,42 | 0,26 | 1,78 | 399,65 | 40,3 | 64,5 | 8,0 | 1004 | 90,7 |
| jun/03 | 0,3974 | 9,17 | 0,24 | 2,88 | 318,13 | 43,3 | 61,1 | 8,8 | 1008 | 75,5 |
| jul/03 | 0,4013 | 8,74 | 0,24 | 3,99 | 398,73 | 41,6 | 64,1 | 9,4 | 1018 | 87,6 |
| ago/03 | 0,4024 | 9,02 | 0,23 | 2,75 | 461,95 | 42,4 | 63,6 | 8,8 | 1020 | 89,5 |
| set/03 | 0,4016 | 9,57 | 0,24 | 6,27 | 354,51 | 44,2 | 62,5 | 10,1 | 1007 | 93,7 |
| out/03 | 0,4170 | 11,51 | 0,29 | 2,54 | 500,70 | 43,5 | 63,9 | 8,0 | 1005 | 95,2 |
| nov/03 | 0,4353 | 10,23 | 0,26 | 5,45 | 466,19 | 42,7 | 61,4 | 8,4 | 1000 | 101,0 |

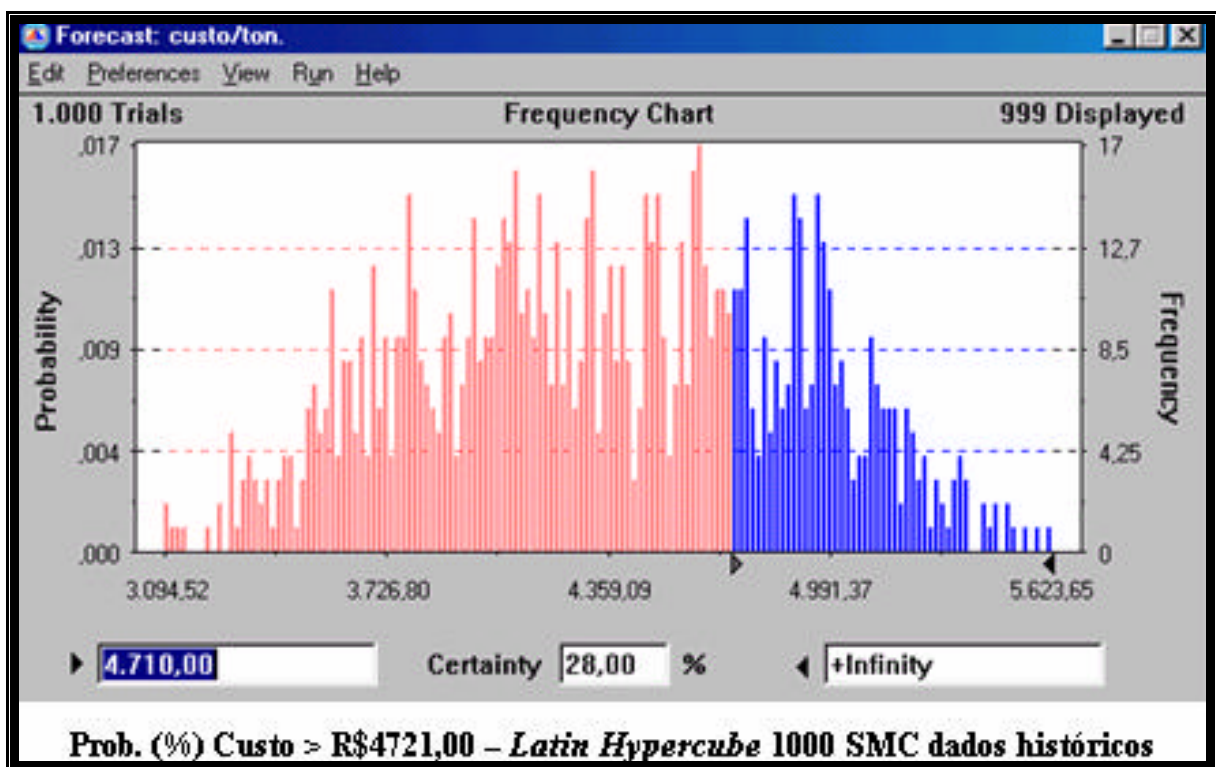
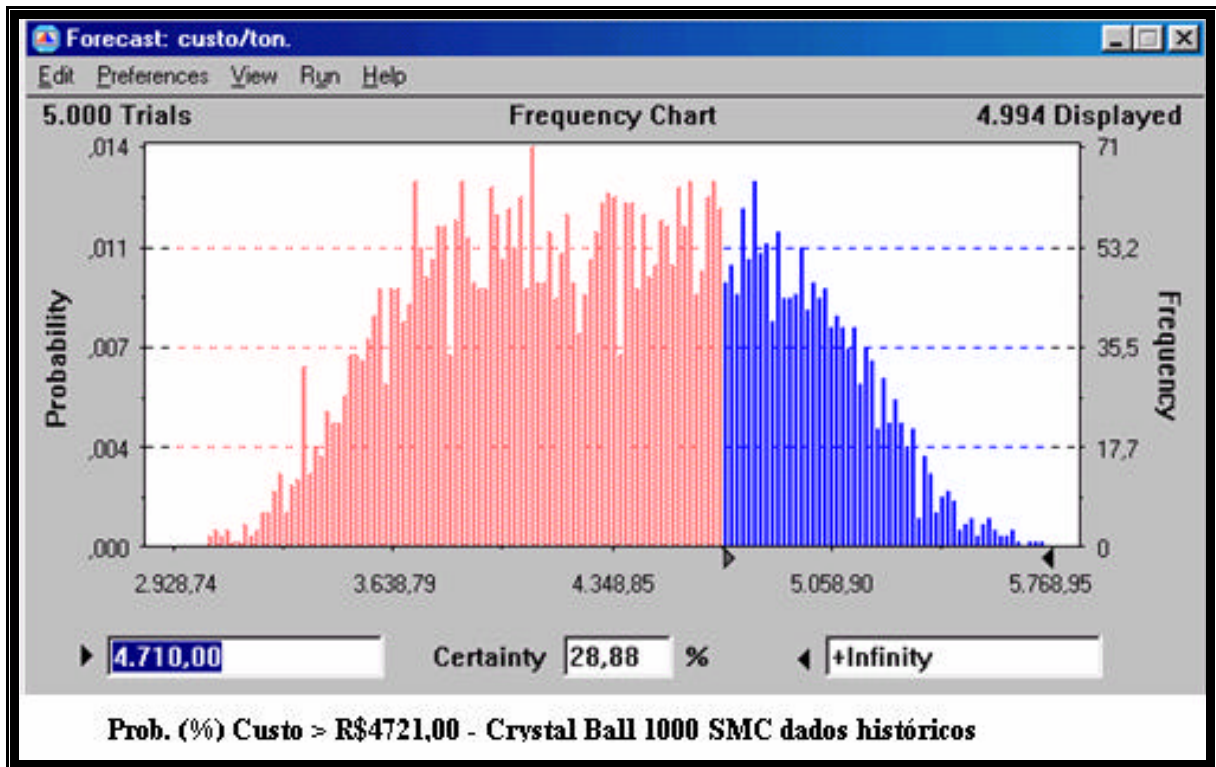
Anexo B – Distribuição de Frequência dos Parâmetros de Custos do Queijo Minas Padrão

| Intervalo de Classe | | | | | | |
|---------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|----|-------|
| | <i>fi</i> | <i>fri (%)</i> | <i>Fi</i> | <i>Fri (%)</i> | | |
| Preço Leite | 0,2654 | 0,2937 | 5 | 25,0 | 5 | 25,0 |
| | 0,2937 | 0,3220 | 2 | 10,0 | 7 | 35,0 |
| | 0,3220 | 0,3504 | 2 | 10,0 | 9 | 45,0 |
| | 0,3504 | 0,3787 | 4 | 20,0 | 13 | 65,0 |
| | 0,3787 | 0,4070 | 5 | 25,0 | 18 | 90,0 |
| | 0,4070 | 0,4353 | 2 | 10,0 | 20 | 100,0 |
| Preço Insumos | 8,74 | 9,33 | 7 | 35,0 | 7 | 35,0 |
| | 9,33 | 9,92 | 3 | 15,0 | 10 | 50,0 |
| | 9,92 | 10,51 | 4 | 20,0 | 14 | 70,0 |
| | 10,51 | 11,10 | 2 | 10,0 | 16 | 80,0 |
| | 11,10 | 11,69 | 2 | 10,0 | 18 | 90,0 |
| | 11,69 | 12,28 | 2 | 10,0 | 20 | 100,0 |
| Preço Embl | 0,23 | 0,24 | 6 | 30 | 6 | 30 |
| | 0,24 | 0,25 | 1 | 5 | 7 | 35 |
| | 0,25 | 0,26 | 6 | 30 | 13 | 65 |
| | 0,26 | 0,27 | 1 | 5 | 14 | 70 |
| | 0,27 | 0,28 | 2 | 10 | 16 | 80 |
| | 0,28 | 0,29 | 4 | 20 | 20 | 100 |
| Preço MOD | 1,78 | 2,69 | 2 | 10 | 2 | 10 |
| | 2,69 | 3,61 | 5 | 25 | 7 | 35 |
| | 3,61 | 4,52 | 5 | 25 | 12 | 60 |
| | 4,52 | 5,44 | 4 | 20 | 16 | 80 |
| | 5,44 | 6,35 | 3 | 15 | 19 | 95 |
| | 6,35 | 7,27 | 1 | 5 | 20 | 100 |
| Custo Indr | 265,26 | 309,25 | 2 | 10 | 2 | 10 |
| | 309,25 | 353,24 | 2 | 10 | 4 | 20 |
| | 353,24 | 397,23 | 4 | 20 | 8 | 40 |
| | 397,23 | 441,22 | 4 | 20 | 12 | 60 |
| | 441,22 | 485,21 | 4 | 20 | 16 | 80 |
| | 485,21 | 529,20 | 4 | 20 | 20 | 100 |

| Intervalo de Classe | | | | | | |
|---------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|----|-------|
| | <i>fi</i> | <i>fri (%)</i> | <i>Fi</i> | <i>Fri (%)</i> | | |
| Up | 39,2 | 40,1 | 1 | 5,0 | 1 | 5,0 |
| | 40,1 | 41,0 | 2 | 10,0 | 3 | 15,0 |
| | 41,0 | 41,9 | 3 | 15,0 | 6 | 30,0 |
| | 41,9 | 42,8 | 5 | 25,0 | 11 | 55,0 |
| | 42,8 | 43,7 | 5 | 25,0 | 16 | 80,0 |
| | 43,7 | 44,6 | 4 | 20,0 | 20 | 100,0 |
| Coef GL | 60,9 | 62,2 | 5 | 25,0 | 5 | 25,0 |
| | 62,2 | 63,4 | 7 | 35,0 | 12 | 60,0 |
| | 63,4 | 64,7 | 7 | 35,0 | 19 | 95,0 |
| | 64,7 | 66,0 | 0 | 0,0 | 19 | 95,0 |
| | 66,0 | 67,2 | 0 | 0,0 | 19 | 95,0 |
| | 67,2 | 68,5 | 1 | 5,0 | 20 | 100,0 |
| Qde Insumos | 7,6 | 8,1 | 4 | 20,0 | 4 | 20,0 |
| | 8,1 | 8,5 | 3 | 15,0 | 7 | 35,0 |
| | 8,5 | 9,0 | 3 | 15,0 | 10 | 50,0 |
| | 9,0 | 9,4 | 3 | 15,0 | 13 | 65,0 |
| | 9,4 | 9,9 | 3 | 15,0 | 16 | 80,0 |
| | 9,9 | 10,4 | 4 | 20,0 | 20 | 100,0 |
| Qde Embl | 999 | 1003 | 2 | 10,0 | 2 | 10,0 |
| | 1003 | 1007 | 6 | 30,0 | 8 | 40,0 |
| | 1007 | 1011 | 4 | 20,0 | 12 | 60,0 |
| | 1011 | 1015 | 2 | 10,0 | 14 | 70,0 |
| | 1015 | 1019 | 1 | 5,0 | 15 | 75,0 |
| | 1019 | 1023 | 5 | 25,0 | 20 | 100,0 |
| Efic MOD | 69,3 | 75,3 | 1 | 5,0 | 1 | 5,0 |
| | 75,3 | 81,4 | 3 | 15,0 | 4 | 20,0 |
| | 81,4 | 87,4 | 3 | 15,0 | 7 | 35,0 |
| | 87,4 | 93,4 | 6 | 30,0 | 13 | 65,0 |
| | 93,4 | 99,5 | 3 | 15,0 | 16 | 80,0 |
| | 99,5 | 105,5 | 4 | 20,0 | 20 | 100,0 |

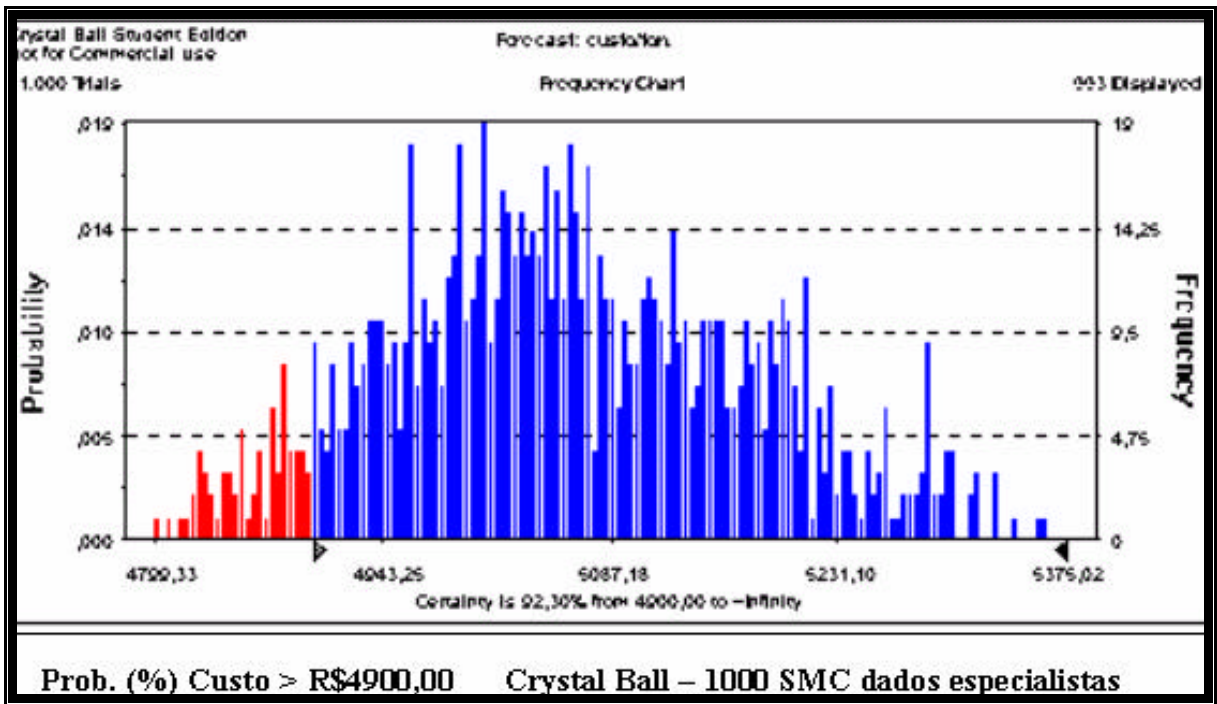
Anexo C – Probabilidade de o Custo ser maior que R\$4.721,00

| Nº Simulações de Monte Carlo - CBall | | | | Nº Simulações de Latin Hypercube - CBall | | | | Nº Simulações Excel | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|----------|--|---------|---------|----------|---------------------|---------|---------|----------|
| CB 1000 | CB 2500 | CB 5000 | CB 10000 | LH 1000 | LH 2500 | LH 5000 | LH 10000 | EX 1000 | EX 2500 | EX 5000 | EX 10000 |
| 28,8 | 26,9 | 28,9 | 28,7 | 28,4 | 28,8 | 27,7 | 28,0 | 30,3 | 30,0 | 30,5 | 29,3 |
| 29,6 | 29,2 | 29,3 | 29,6 | 28,4 | 29,3 | 28,6 | 29,0 | 31,2 | 30,0 | 30,9 | 30,2 |
| 28,4 | 29,3 | 29,1 | 28,0 | 28,8 | 29,0 | 28,3 | 28,1 | 29,6 | 30,4 | 30,6 | 29,9 |
| 27,2 | 26,9 | 30,2 | 29,2 | 29,2 | 28,8 | 28,3 | 28,0 | 30,8 | 30,8 | 30,5 | 29,9 |
| 28,4 | 29,8 | 27,9 | 28,8 | 30,0 | 28,8 | 28,4 | 28,7 | 30,4 | 31,6 | 30,4 | 30,0 |
| 28,5 | 28,9 | 28,5 | 28,7 | 29,0 | 28,2 | 28,4 | 28,1 | 30,4 | 30,6 | 29,9 | 30,0 |
| 27,7 | 29,0 | 29,1 | 28,7 | 29,4 | 28,6 | 28,1 | 28,5 | 30,4 | 31,0 | 30,2 | 29,7 |
| 27,2 | 28,0 | 28,5 | 28,1 | 28,5 | 28,8 | 28,3 | 29,0 | 29,7 | 30,1 | 30,4 | 29,9 |
| 26,6 | 30,0 | 28,7 | 28,9 | 27,8 | 28,8 | 28,0 | 28,2 | 30,5 | 29,4 | 30,4 | 29,6 |
| 27,2 | 27,9 | 28,1 | 28,3 | 29,2 | 28,8 | 28,3 | 28,4 | 30,0 | 30,8 | 30,4 | 30,0 |
| 28,7 | 30,1 | 27,8 | 29,0 | 27,9 | 29,0 | 28,3 | 28,1 | 30,6 | 29,5 | 30,6 | 30,0 |
| 28,0 | 29,8 | 28,9 | 28,6 | 30,4 | 29,4 | 28,4 | 28,5 | 30,2 | 32,0 | 31,1 | 30,0 |
| 28,7 | 27,6 | 29,1 | 29,2 | 29,3 | 29,2 | 28,0 | 27,9 | 30,8 | 30,9 | 30,9 | 29,6 |
| 30,6 | 27,0 | 29,1 | 28,8 | 28,4 | 29,0 | 28,7 | 27,9 | 30,4 | 30,0 | 30,6 | 30,3 |
| 30,3 | 27,1 | 28,7 | 29,2 | 28,4 | 28,6 | 28,8 | 28,1 | 30,8 | 30,0 | 30,2 | 30,4 |
| 28,6 | 28,8 | 28,3 | 28,0 | 28,1 | 28,8 | 28,8 | 28,6 | 29,6 | 29,7 | 30,5 | 30,5 |
| 28,0 | 29,0 | 29,0 | 29,2 | 29,2 | 27,6 | 28,4 | 28,2 | 30,8 | 30,8 | 29,2 | 30,0 |
| 28,7 | 27,7 | 28,1 | 28,9 | 29,8 | 28,0 | 28,6 | 28,8 | 30,5 | 31,4 | 29,6 | 30,2 |
| 27,0 | 28,6 | 28,8 | 28,9 | 28,4 | 28,0 | 28,3 | 27,5 | 30,5 | 30,0 | 29,7 | 29,9 |
| 29,4 | 29,1 | 28,2 | 28,3 | 28,1 | 28,7 | 27,1 | 28,6 | 29,9 | 29,7 | 30,3 | 28,7 |
| 28,6 | 30,0 | 28,8 | 28,9 | 28,5 | 28,6 | 28,3 | 28,4 | 30,6 | 30,1 | 30,2 | 29,9 |
| 27,8 | 28,7 | 28,7 | 29,5 | 29,0 | 27,9 | 27,8 | 28,8 | 31,1 | 30,6 | 29,5 | 29,5 |
| 29,7 | 28,3 | 29,3 | 29,6 | 29,1 | 28,8 | 28,1 | 28,2 | 31,2 | 30,7 | 30,5 | 29,7 |
| 29,1 | 30,2 | 29,4 | 29,0 | 29,7 | 28,4 | 28,7 | 28,3 | 30,7 | 31,3 | 30,0 | 30,4 |
| 27,1 | 30,2 | 27,9 | 28,8 | 29,6 | 28,5 | 28,5 | 28,4 | 30,4 | 31,2 | 30,1 | 30,1 |
| 27,8 | 29,4 | 28,7 | 28,6 | 28,9 | 28,3 | 28,1 | 28,7 | 30,2 | 30,5 | 29,9 | 29,7 |
| 28,7 | 28,0 | 29,1 | 29,0 | 29,9 | 28,3 | 28,3 | 28,6 | 30,6 | 31,5 | 29,9 | 29,9 |
| 30,1 | 29,2 | 28,1 | 29,1 | 28,5 | 28,6 | 28,0 | 28,1 | 30,7 | 30,1 | 30,2 | 29,6 |
| 26,2 | 28,8 | 28,7 | 29,0 | 29,8 | 27,7 | 28,4 | 28,1 | 30,6 | 31,4 | 29,3 | 30,0 |
| 29,2 | 26,8 | 28,7 | 28,6 | 28,0 | 28,4 | 28,4 | 28,4 | 30,2 | 29,6 | 30,1 | 30,0 |
| 28,7 | 27,4 | 28,3 | 29,5 | 28,4 | 28,5 | 28,5 | 28,1 | 31,1 | 30,0 | 30,1 | 30,1 |
| 30,2 | 28,2 | 28,7 | 29,1 | 29,7 | 28,2 | 28,1 | 28,3 | 30,7 | 31,3 | 29,8 | 29,8 |
| 27,2 | 28,2 | 29,9 | 28,8 | 29,5 | 27,8 | 28,2 | 28,5 | 30,4 | 31,1 | 29,5 | 29,8 |
| 28,8 | 28,0 | 29,5 | 28,9 | 28,0 | 27,7 | 27,8 | 27,8 | 30,5 | 29,6 | 29,3 | 29,4 |
| 26,9 | 28,4 | 27,9 | 29,5 | 28,9 | 28,4 | 28,1 | 28,6 | 31,2 | 30,5 | 30,0 | 29,8 |
| 28,7 | 29,0 | 28,7 | 29,0 | 28,2 | 27,6 | 28,5 | 28,0 | 30,6 | 29,8 | 29,2 | 30,1 |
| 30,5 | 29,6 | 28,7 | 29,4 | 28,7 | 28,6 | 28,0 | 28,6 | 31,0 | 30,3 | 30,3 | 29,6 |
| 30,4 | 28,7 | 28,8 | 29,6 | 28,4 | 28,3 | 29,1 | 28,1 | 31,2 | 30,0 | 29,9 | 30,7 |
| 27,4 | 28,8 | 28,6 | 28,7 | 30,0 | 28,6 | 28,6 | 27,8 | 30,3 | 31,6 | 30,3 | 30,3 |
| 29,7 | 29,3 | 28,4 | 28,6 | 27,8 | 28,7 | 28,6 | 28,2 | 30,2 | 29,4 | 30,3 | 30,2 |
| 27,7 | 30,4 | 29,6 | 29,2 | 28,7 | 28,6 | 28,1 | 28,3 | 30,8 | 30,3 | 30,3 | 29,8 |
| 29,8 | 29,8 | 28,7 | 28,6 | 28,8 | 28,6 | 28,6 | 28,7 | 30,2 | 30,4 | 30,3 | 30,2 |
| 29,7 | 27,7 | 29,2 | 29,0 | 29,8 | 29,2 | 28,5 | 27,6 | 30,6 | 31,4 | 30,9 | 30,1 |
| 28,1 | 29,6 | 28,8 | 28,3 | 28,5 | 28,2 | 27,9 | 28,3 | 29,9 | 30,1 | 29,8 | 29,5 |
| 27,0 | 28,3 | 29,0 | 28,7 | 30,1 | 27,6 | 28,0 | 28,0 | 30,3 | 31,7 | 29,2 | 29,6 |
| 26,7 | 28,3 | 28,2 | 29,2 | 29,2 | 28,2 | 28,5 | 28,0 | 30,8 | 30,8 | 29,8 | 30,1 |
| 28,0 | 27,5 | 29,3 | 28,9 | 29,9 | 29,8 | 28,4 | 28,5 | 30,5 | 31,5 | 31,4 | 30,0 |
| 31,8 | 29,2 | 29,1 | 29,3 | 30,6 | 28,6 | 28,5 | 28,3 | 30,9 | 32,2 | 30,3 | 30,1 |
| 28,7 | 27,1 | 29,3 | 28,6 | 28,3 | 28,5 | 28,2 | 28,6 | 30,2 | 29,9 | 30,1 | 29,8 |
| 25,9 | 29,8 | 29,3 | 28,6 | 28,2 | 28,6 | 28,3 | 28,8 | 30,2 | 29,8 | 30,2 | 29,9 |



Anexo D – Crystal Ball x Excell: 1000 SMC

| N x 1000 simul | C. Ball | | | Excel | | |
|-------------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|------------------|
| | Custo Médio | Cor Pr Leite | Prob C > R\$4900 | Custo Médio | Cor Pr Leite | Prob C > R\$4900 |
| 1 | 4359,89 | 0,93 | 89,1 | 4529,90 | 0,91 | 88,7 |
| 2 | 4354,25 | 0,93 | 88,3 | 4542,38 | 0,91 | 90,0 |
| 3 | 4344,55 | 0,92 | 87,2 | 4528,51 | 0,91 | 87,7 |
| 4 | 4366,79 | 0,92 | 87,5 | 4525,50 | 0,92 | 89,0 |
| 5 | 4359,35 | 0,92 | 86,6 | 4530,04 | 0,91 | 88,0 |
| 6 | 4356,96 | 0,92 | 87,1 | 4535,19 | 0,92 | 89,1 |
| 7 | 4343,63 | 0,92 | 87,2 | 4525,66 | 0,91 | 88,9 |
| 8 | 4359,46 | 0,92 | 87,5 | 4545,41 | 0,91 | 89,5 |
| 9 | 4346,48 | 0,93 | 91,2 | 4520,34 | 0,92 | 89,6 |
| 10 | 4363,59 | 0,92 | 88,7 | 4549,30 | 0,91 | 88,1 |
| 11 | 4357,08 | 0,93 | 87,7 | 4549,05 | 0,92 | 88,4 |
| 12 | 4308,98 | 0,93 | 87,7 | 4544,60 | 0,92 | 88,5 |
| 13 | 4366,37 | 0,92 | 89,5 | 4537,55 | 0,91 | 88,8 |
| 14 | 4351,83 | 0,93 | 87,4 | 4550,39 | 0,91 | 89,3 |
| 15 | 4349,23 | 0,93 | 88,4 | 4540,47 | 0,92 | 89,4 |
| 16 | 4366,94 | 0,93 | 88,9 | 4534,57 | 0,91 | 88,9 |
| 17 | 4356,33 | 0,92 | 89,0 | 4533,59 | 0,9 | 89,7 |
| 18 | 4329,61 | 0,92 | 88,2 | 4544,47 | 0,92 | 88,4 |
| 19 | 4342,55 | 0,93 | 87,9 | 4512,10 | 0,91 | 89,0 |
| 20 | 4364,06 | 0,93 | 87,4 | 4494,74 | 0,91 | 88,7 |
| 21 | 4343,55 | 0,92 | 90,0 | 4524,40 | 0,92 | 89,7 |
| 22 | 4342,81 | 0,93 | 89,5 | 4515,91 | 0,92 | 88,8 |
| 23 | 4360,66 | 0,93 | 87,8 | 4531,26 | 0,91 | 89,3 |
| 24 | 4343,17 | 0,92 | 87,4 | 4544,16 | 0,92 | 88,3 |
| 25 | 4336,67 | 0,92 | 89,2 | 4536,35 | 0,92 | 89,8 |
| 26 | 4358,51 | 0,92 | 90,0 | 4519,39 | 0,92 | 88,2 |
| 27 | 4372,75 | 0,92 | 88,6 | 4507,38 | 0,9 | 89,0 |
| 28 | 4336,23 | 0,92 | 88,3 | 4523,08 | 0,91 | 89,4 |
| 29 | 4344,22 | 0,93 | 87,7 | 4532,57 | 0,92 | 88,8 |
| 30 | 4357,07 | 0,92 | 90,3 | 4538,02 | 0,91 | 88,4 |
| 31 | 4342,01 | 0,92 | 87,3 | 4521,60 | 0,91 | 88,6 |
| 32 | 4336,11 | 0,92 | 89,0 | 4511,03 | 0,92 | 89,6 |
| 33 | 4348,45 | 0,92 | 89,3 | 4523,85 | 0,91 | 89,4 |
| 34 | 4366,79 | 0,93 | 89,6 | 4519,52 | 0,92 | 88,6 |
| 35 | 4348,95 | 0,92 | 89,0 | 4511,09 | 0,92 | 88,9 |
| 36 | 4328,33 | 0,92 | 89,1 | 4545,57 | 0,92 | 89,7 |
| 37 | 4355,35 | 0,92 | 88,5 | 4565,31 | 0,91 | 88,4 |
| 38 | 4364,6 | 0,92 | 87,5 | 4534,58 | 0,92 | 88,9 |
| 39 | 4339,45 | 0,92 | 91,0 | 4532,13 | 0,91 | 88,0 |
| 40 | 4336,46 | 0,93 | 88,8 | 4522,66 | 0,91 | 89,1 |
| 41 | 4347,88 | 0,92 | 90,3 | 4528,33 | 0,91 | 88,8 |
| 42 | 4337,92 | 0,92 | 88,5 | 4521,85 | 0,91 | 89,4 |
| 43 | 4374,86 | 0,92 | 87,9 | 4526,23 | 0,91 | 88,9 |
| 44 | 4348,12 | 0,93 | 89,3 | 4524,14 | 0,91 | 89,2 |
| 45 | 4336,11 | 0,92 | 87,9 | 4535,35 | 0,92 | 89,5 |
| 46 | 4348,4 | 0,92 | 88,3 | 4524,03 | 0,91 | 88,8 |
| 47 | 4340,69 | 0,92 | 88,0 | 4564,07 | 0,92 | 88,6 |
| 48 | 4330,78 | 0,93 | 87,9 | 4523,18 | 0,92 | 89,0 |
| 49 | 4361,28 | 0,93 | 88,9 | 4549,26 | 0,92 | 87,7 |



Anexo E – Custo Médio 1000 SMC Crystal Ball Dados Especialistas

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 4976 | 4978 | 4958 | 5157 | 5099 | 5153 | 5202 | 5161 | 4873 | 5148 | 4991 | 4994 | 5101 | 5155 | 4950 | 5108 | 4855 | 5051 | 5045 | 5005 |
| 2 | 4917 | 4993 | 4974 | 4924 | 5066 | 4861 | 5002 | 5086 | 5009 | 5128 | 4991 | 5077 | 4907 | 5163 | 4908 | 4900 | 5267 | 4923 | 4873 | 5096 |
| 3 | 4786 | 5049 | 4926 | 5091 | 5112 | 4952 | 5055 | 4877 | 4973 | 5003 | 5153 | 5014 | 4881 | 5160 | 4949 | 5166 | 4962 | 5011 | 4934 | 5272 |
| 4 | 5150 | 4948 | 4908 | 5230 | 5185 | 5013 | 4935 | 5101 | 5115 | 4966 | 5072 | 5068 | 5152 | 4958 | 4948 | 5019 | 5160 | 4930 | 5000 | 5129 |
| 5 | 5054 | 5042 | 5025 | 4886 | 4984 | 5091 | 4967 | 5098 | 5114 | 4946 | 4916 | 4943 | 5407 | 5356 | 4964 | 5040 | 5030 | 5174 | 5118 | 5044 |
| 6 | 5155 | 4995 | 5049 | 5136 | 4974 | 5197 | 4930 | 5262 | 5148 | 5018 | 5197 | 4904 | 4848 | 5144 | 4949 | 5060 | 5020 | 5101 | 4932 | 5005 |
| 7 | 4955 | 4991 | 5128 | 4979 | 5076 | 4985 | 5113 | 5078 | 5062 | 4951 | 4874 | 4839 | 4862 | 5110 | 4882 | 4960 | 5191 | 4924 | 5097 | 4972 |
| 8 | 5170 | 5081 | 4966 | 5099 | 4956 | 4998 | 4900 | 4966 | 5042 | 4959 | 5057 | 5063 | 4979 | 4799 | 5059 | 5137 | 5315 | 5032 | 4930 | 5055 |
| 9 | 4924 | 4853 | 5002 | 5025 | 5197 | 5071 | 5027 | 5033 | 5181 | 4862 | 4856 | 4921 | 5003 | 4899 | 4952 | 5079 | 4916 | 5146 | 5025 | 4981 |
| 10 | 5038 | 5120 | 5260 | 5057 | 5038 | 4890 | 5085 | 4825 | 5325 | 4951 | 4985 | 4993 | 5190 | 5244 | 4911 | 5091 | 5029 | 4936 | 4921 | 5102 |
| 11 | 4876 | 4982 | 4978 | 5004 | 4997 | 5272 | 5088 | 5049 | 4859 | 5231 | 5012 | 4952 | 4989 | 5032 | 5010 | 4930 | 4979 | 5056 | 4954 | 5051 |
| 12 | 5240 | 5059 | 5129 | 5116 | 5030 | 4884 | 5142 | 4938 | 5077 | 5171 | 4882 | 4971 | 4991 | 5189 | 5232 | 4833 | 4922 | 5002 | 5026 | 5157 |
| 13 | 5122 | 4840 | 5269 | 5007 | 5009 | 4956 | 4934 | 5046 | 5083 | 5314 | 4927 | 5241 | 5019 | 5068 | 5009 | 4917 | 4995 | 5101 | 4917 | 5106 |
| 14 | 5054 | 4948 | 5137 | 4896 | 4926 | 4974 | 4992 | 5091 | 5244 | 5073 | 5244 | 5104 | 4934 | 4848 | 5043 | 5001 | 5317 | 4924 | 4945 | 4992 |
| 15 | 5192 | 4861 | 4932 | 5074 | 4949 | 4974 | 4989 | 5134 | 5038 | 5057 | 4860 | 4918 | 4915 | 4980 | 4921 | 4984 | 5051 | 5322 | 4918 | 4999 |
| 16 | 4897 | 4832 | 4978 | 5043 | 4954 | 4960 | 4818 | 4931 | 4903 | 4934 | 5175 | 5030 | 4903 | 4876 | 4853 | 4802 | 5317 | 5137 | 4901 | 4775 |
| 17 | 4985 | 5061 | 5036 | 5263 | 4975 | 4966 | 5120 | 4934 | 5207 | 4982 | 5081 | 5071 | 4991 | 5050 | 5238 | 5044 | 4958 | 5015 | 5223 | 4892 |
| 18 | 4915 | 4997 | 5080 | 5007 | 4985 | 4927 | 4896 | 5023 | 5003 | 4942 | 5019 | 4943 | 4882 | 5047 | 4926 | 5253 | 5353 | 4879 | 5089 | 4868 |
| 19 | 5038 | 5140 | 5128 | 4872 | 4975 | 4866 | 4872 | 5099 | 5228 | 5102 | 4924 | 5050 | 5035 | 4816 | 4971 | 5241 | 4974 | 5224 | 5055 | 5230 |
| 20 | 4986 | 5202 | 5033 | 5018 | 5069 | 5122 | 4861 | 5053 | 5208 | 4884 | 5123 | 5036 | 4989 | 5041 | 5054 | 5007 | 4928 | 5015 | 5084 | 4933 |
| 21 | 5215 | 4992 | 5015 | 5053 | 4931 | 5041 | 4898 | 5164 | 5180 | 5058 | 4885 | 4993 | 5160 | 4858 | 5096 | 4947 | 4991 | 5050 | 4882 | 5169 |
| 22 | 5172 | 5350 | 5393 | 4886 | 5092 | 5106 | 5025 | 4953 | 4893 | 5127 | 5038 | 4957 | 4908 | 5030 | 4863 | 5053 | 4797 | 5130 | 5042 | 4945 |
| 23 | 4894 | 5066 | 5143 | 5069 | 4992 | 5138 | 5106 | 5005 | 5132 | 5016 | 5135 | 5148 | 5012 | 4864 | 5009 | 4881 | 5113 | 4955 | 4932 | 4963 |
| 24 | 4937 | 5060 | 5041 | 4886 | 5168 | 4910 | 4944 | 5054 | 4994 | 4946 | 5028 | 4899 | 4847 | 5077 | 4974 | 5007 | 5210 | 4893 | 4902 | 5266 |
| 25 | 5194 | 5103 | 5179 | 5057 | 4983 | 5146 | 4799 | 5029 | 5134 | 5088 | 4954 | 5172 | 5080 | 5121 | 5098 | 5031 | 5018 | 4919 | 5145 | 5042 |
| 26 | 5047 | 5178 | 5065 | 5017 | 5162 | 4877 | 5167 | 5107 | 4893 | 5050 | 5078 | 5070 | 5178 | 5050 | 5071 | 5142 | 4907 | 5178 | 4900 | 5334 |
| 27 | 4967 | 4956 | 5129 | 4826 | 5102 | 5007 | 4966 | 5042 | 4928 | 4932 | 5132 | 5303 | 4885 | 5070 | 4885 | 5070 | 4922 | 5296 | 5085 | 5150 |
| 28 | 5014 | 4986 | 5126 | 5041 | 5008 | 4960 | 4914 | 5108 | 5118 | 4973 | 5218 | 5121 | 5050 | 4917 | 4996 | 5223 | 5126 | 4997 | 5236 | 5174 |
| 29 | 5115 | 4991 | 5014 | 5165 | 5110 | 4903 | 4927 | 4866 | 5036 | 4904 | 5179 | 5004 | 5072 | 4998 | 5072 | 4946 | 5009 | 5116 | 5064 | 4975 |
| 30 | 4982 | 5117 | 5264 | 5124 | 4955 | 5138 | 5065 | 5197 | 4997 | 5235 | 4997 | 4990 | 5033 | 4993 | 5109 | 5074 | 4983 | 5159 | 5122 | 5108 |
| 31 | 5002 | 5018 | 4973 | 5042 | 5057 | 5389 | 5066 | 5055 | 5323 | 5008 | 5001 | 5107 | 4924 | 5037 | 4916 | 4923 | 4861 | 5064 | 4817 | 5077 |
| 32 | 4959 | 4867 | 5025 | 4858 | 4916 | 5294 | 5058 | 5060 | 5033 | 5053 | 5039 | 5194 | 4960 | 5190 | 5046 | 5067 | 4949 | 5037 | 5069 | 4834 |
| 33 | 5093 | 5100 | 5160 | 4984 | 5073 | 5117 | 5197 | 4868 | 5277 | 5002 | 5186 | 4939 | 4920 | 5212 | 5227 | 4898 | 5087 | 5094 | 4911 | 4907 |
| 34 | 4962 | 4868 | 5080 | 4869 | 4980 | 5078 | 5111 | 5125 | 4882 | 5014 | 5010 | 4973 | 5092 | 4921 | 4970 | 5027 | 4950 | 4880 | 5050 | 4970 |
| 35 | 5059 | 4957 | 4992 | 5060 | 4765 | 5074 | 5102 | 5014 | 5157 | 5045 | 5077 | 4896 | 5174 | 5074 | 5100 | 4993 | 5013 | 4930 | 5081 | 4943 |
| 36 | 5031 | 5122 | 5004 | 5273 | 4972 | 5228 | 4896 | 5293 | 4967 | 5087 | 4878 | 5035 | 5273 | 5000 | 5082 | 4907 | 5229 | 5287 | 5036 | 5125 |
| 37 | 5098 | 5203 | 5215 | 5208 | 5087 | 4975 | 5020 | 5061 | 5039 | 5080 | 5154 | 5070 | 5197 | 5001 | 5091 | 4936 | 5082 | 5214 | 5108 | 4945 |
| 38 | 4964 | 4999 | 5050 | 5030 | 4968 | 5179 | 5099 | 5074 | 5056 | 5099 | 5280 | 4936 | 4930 | 5119 | 5283 | 5033 | 5041 | 4872 | 4955 | 5082 |
| 39 | 4948 | 4976 | 4949 | 5145 | 5140 | 4966 | 5137 | 5000 | 5170 | 4943 | 5033 | 5005 | 5162 | 5126 | 5054 | 4971 | 5200 | 5027 | 5068 | 5172 |
| 40 | 5137 | 5109 | 5035 | 5004 | 5123 | 5181 | 5118 | 4937 | 5062 | 5134 | 5174 | 5001 | 5050 | 5053 | 5234 | 4872 | 5073 | 4931 | 5023 | 4906 |
| 41 | 5056 | 4948 | 5087 | 5186 | 5038 | 4868 | 4964 | 5148 | 5111 | 4988 | 5028 | 4838 | 4923 | 5111 | 5089 | 4851 | 5038 | 5057 | 4887 | 5069 |
| 42 | 5184 | 5081 | 5149 | 5043 | 5102 | 5055 | 4885 | 4951 | 4868 | 5113 | 5053 | 5171 | 5080 | 5235 | 4890 | 4995 | 5016 | 5177 | 5099 | 4874 |
| 43 | 4925 | 5072 | 5224 | 4817 | 4998 | 5212 | 5106 | 5011 | 5295 | 4974 | 4972 | 4876 | 5181 | 5202 | 4962 | 5073 | 4879 | 5184 | 4916 | 4956 |
| 44 | 5240 | 4976 | 4939 | 4870 | 5048 | 4967 | 5171 | 4920 | 5338 | 5051 | 5217 | 4920 | 5005 | 5032 | 4908 | 4973 | 5052 | 4839 | 5010 | 5138 |
| 45 | 4999 | 5003 | 4989 | 4955 | 5145 | 4917 | 5070 | 4998 | 4796 | 4951 | 4881 | 5208 | 5277 | 4970 | 4938 | 5136 | 4976 | 4883 | 5096 | 5186 |
| 46 | 5050 | 4963 | 5002 | 5026 | 5060 | 5005 | 5175 | 5045 | 4911 | 5025 | 4903 | 4887 | 5078 | 4946 | 5048 | 4907 | 5080 | 5164 | 5292 | 4910 |
| 47 | 4979 | 5101 | 4904 | 4859 | 5124 | 4924 | 5155 | 5063 | 5155 | 5232 | 4815 | 4934 | 4997 | 4932 | 5212 | 5091 | 5011 | 4977 | 5239 | 5125 |
| 48 | 5170 | 5240 | 5006 | 4988 | 5015 | 5165 | 5229 | 5057 | 5079 | 5041 | 4908 | 4907 | 5058 | 4987 | 5360 | 5145 | 5020 | 5065 | 4878 | 5092 |
| 49 | 4866 | 4912 | 5120 | 5100 | 5145 | 4986 | 5071 | 5206 | 5130 | 5050 | 5173 | 5004 | 5289 | 5337 | 5103 | 5163 | 4914 | 5049 | 5154 | 5150 |
| 50 | 4971 | 5004 | 4864 | 4964 | 4993 | 5217 | 4923 | 5039 | 4904 | 5042 | 4944 | 4918 | 5292 | 4997 | 5112 | 4935 | 5026 | 5086 | 5057 | 4991 |

Anexo F – Valores Custo Médio para Diferentes Simulações Excel Planilhas Especialista

| Excel 1000 | Excel 5000 | Excel 10000 | Excel 25000 |
|------------|------------|-------------|-------------|
| 6160,56 | 6162,48 | 6161,82 | 6162,04 |
| 6159,87 | 6160,95 | 6161,60 | 6161,32 |
| 6160,48 | 6160,55 | 6161,21 | 6162,22 |
| 6163,41 | 6164,32 | 6162,14 | 6161,84 |
| 6162,18 | 6161,92 | 6161,38 | 6161,37 |
| 6163,70 | 6162,67 | 6162,35 | 6162,32 |
| 6159,00 | 6160,59 | 6161,99 | 6161,82 |
| 6160,90 | 6161,27 | 6160,68 | 6161,26 |
| 6159,88 | 6160,41 | 6162,94 | 6161,87 |
| 6162,58 | 6161,95 | 6160,57 | 6162,27 |
| 6163,55 | 6161,19 | 6162,03 | 6161,88 |
| 6165,39 | 6161,56 | 6161,00 | 6162,23 |
| 6158,74 | 6160,19 | 6161,91 | 6162,07 |
| 6164,34 | 6161,49 | 6161,90 | 6161,63 |
| 6159,36 | 6162,37 | 6161,99 | 6161,00 |
| 6164,80 | 6161,21 | 6162,51 | 6161,72 |
| 6162,36 | 6160,27 | 6162,15 | 6161,76 |
| 6159,98 | 6162,26 | 6161,63 | 6162,66 |
| 6164,21 | 6161,96 | 6161,35 | 6161,31 |
| 6160,69 | 6161,94 | 6162,31 | 6161,94 |
| 6159,70 | 6162,60 | 6161,98 | 6161,71 |
| 6161,42 | 6160,66 | 6161,23 | 6161,43 |
| 6161,90 | 6162,54 | 6160,83 | 6161,51 |
| 6158,42 | 6162,87 | 6162,35 | 6161,42 |
| 6163,47 | 6163,60 | 6161,73 | 6161,36 |
| 6158,32 | 6162,12 | 6161,23 | 6160,94 |
| 6161,44 | 6161,56 | 6162,54 | 6161,81 |
| 6164,52 | 6163,23 | 6162,16 | 6162,18 |
| 6157,43 | 6160,04 | 6161,58 | 6161,14 |
| 6158,13 | 6161,77 | 6161,99 | 6162,70 |
| 6160,42 | 6161,83 | 6162,10 | 6161,64 |
| 6160,66 | 6162,89 | 6161,97 | 6161,31 |
| 6161,96 | 6162,90 | 6161,71 | 6161,64 |
| 6160,67 | 6161,34 | 6161,81 | 6161,38 |
| 6158,13 | 6161,62 | 6161,37 | 6161,19 |
| 6161,66 | 6162,50 | 6161,25 | 6161,38 |
| 6165,21 | 6162,23 | 6160,74 | 6162,41 |
| 6159,75 | 6162,44 | 6161,40 | 6162,05 |
| 6164,86 | 6159,83 | 6161,49 | 6162,18 |
| 6160,62 | 6161,71 | 6162,56 | 6162,07 |
| 6163,81 | 6161,65 | 6161,47 | 6162,06 |
| 6162,60 | 6161,60 | 6161,77 | 6161,65 |
| 6159,95 | 6162,65 | 6163,02 | 6161,59 |
| 6161,31 | 6162,10 | 6162,31 | 6161,36 |
| 6164,61 | 6162,80 | 6162,40 | 6162,04 |
| 6164,27 | 6162,31 | 6160,10 | 6162,07 |
| 6159,79 | 6160,64 | 6162,43 | 6161,76 |
| 6160,14 | 6161,87 | 6160,69 | 6162,04 |
| 6159,67 | 6160,78 | 6162,62 | 6161,04 |
| 6160,39 | 6163,20 | 6161,94 | 6161,88 |