



**COPPE/UFRJ**

**PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO DE CUSTO TOTAL DE  
PROPRIEDADE**

Juliana Bonfim Neves da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Virgílio José Martins Ferreira Filho  
Aníbal Alberto Vilcapoma Ignácio

RIO DE JANEIRO  
NOVEMBRO DE 2008

PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO DE CUSTO TOTAL DE  
PROPRIEDADE

Juliana Bonfim Neves da Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

---

Prof.. Aníbal Alberto Vilcapoma Ignácio, D.Sc.

---

Prof. Elton Fernandes, D.Sc.

---

Prof. Peter Fernandes Wanke, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2008

Silva, Juliana Bonfim Neves

Proposta de um Modelo Matemático de Custo Total  
de Propriedade [Rio de Janeiro] 2008.

XII, 126 p.:il; 29,7 cm.

Orientadores: Virgílio José Martins Ferreira Filho,  
Aníbal Alberto Vilcapoma Ignácio

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/ Programa de  
Engenharia de Produção, 2008.

Referências Bibliográficas: p. 110-116.

1. Modelo Matemático de TCO. I. Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de  
Engenharia de Produção. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado força e determinação que precisava para tornar este trabalho realidade.

Ao professor Virgílio, meus agradecimentos e minha admiração. Sou grata por sua orientação.

Ao pelo Professor Aníbal por sempre motivado, ajudado no meu trabalho. Sou grata também por sua orientação e participação ativa nesta pesquisa.

Agradeço ao Professor Elton Fernandes e a todos os colegas e amigos do núcleo TGL, obrigada pelo apoio recebido.

Agradeço aos meus pais Nilda Bonfim da Silva e Joir neves da Silva pelo amor e estímulo constante que foram determinantes para a realização de todas as etapas do meu mestrado. Tenho em vocês dois grandes exemplos a seguir.

Agradeço a minha irmã Debora Bonfim Neves da Silva, aos amigos e familiares pela amizade e incentivo.

Agradeço ao Fabio Renato de Carvalho, pela pessoa especial que tem sido pra mim, pelo companheirismo e pela força em todos os momentos que precisei ao longo desses anos de mestrado.

Agradeço a FURNAS Centrais Elétricas S.A pelo apoio e suporte financeiro.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) pelo imprescindível suporte financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO DE CUSTO TOTAL DE  
PROPRIEDADE

Juliana Bonfim Neves da Silva

Novembro /2008

Orientadores: Virgílio José Martins Ferreira

Aníbal Alberto Vilcapoma Ignácio

Programa: Engenharia de Produção

A presente dissertação teve como objetivo desenvolver um modelo matemático genérico baseado no conceito de custo total de propriedade (ou Total Cost Ownership - TCO), que leva em consideração os principais custos envolvidos no ciclo de vida de determinado produto. Este é um modelo de apoio de decisão aplicável a qualquer problema da natureza do custo total de propriedade, ou seja, um modelo que contém os aspectos principais que definem o TCO. Neste trabalho é também apresentada uma proposta de classificação de problemas de acordo com características específicas do TCO. Um conjunto de testes foi desenvolvido para ilustrar a aplicabilidade do modelo proposto em situações diversas, além de avaliar e validar o modelo desenvolvido.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

## PROPOSAL OF A MATHEMATICAL MODEL OF TOTAL COST OF OWNERSHIP

Juliana Bonfim Neves da Silva

November /2008

Advisors: Virgílio José Martins Ferreira Filho

Aníbal Alberto Vilcapoma Ignácio

Department: Production Engineering

This dissertation aimed to develop a mathematical model based on the generic concept of total cost of ownership (or Total Cost Ownership - TCO), which takes into account the main cost involved in the life cycle of a product. This is a model of support for a decision apply to any issue of the nature of the total cost of ownership, that is a model which contains the main aspects that define the TCO. This work also presented a proposal for classification of problems according to specific characteristics of the TCO. A series of tests designed to illustrate the applicability of the proposed model in different situations, and assess and validate the model developed.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
I.1. Objetivo .....	2
I.2. Relevância da Pesquisa.....	3
I.3. Organização da Dissertação .....	3
<b>II. SELEÇÃO DE FORNECEDORES.....</b>	<b>5</b>
II.1. Processo de Aquisição.....	5
II. 2 Avaliação e Seleção de Fornecedores .....	9
II. 2.1. Critérios para seleção de fornecedores.....	13
II. 3. Fases da Seleção de Fornecedores .....	17
II. 3.1. Métodos de Decisão das Fases de Seleção.....	18
II.4. Modelos de Seleção de Fornecedores .....	20
<b>III. CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO .....</b>	<b>31</b>
III. 1. Conceito do custo total de propriedade.....	31
III.2. Modelos de seleção de fornecedores com enfoque no TCO.....	34
<b>IV. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA NUCLEO DE TCO .....</b>	<b>53</b>
IV.1. Modelo Matemático núcleo de TCO .....	53
IV.2 Ferramenta de Implementação do modelo matemático .....	57
IV.2.1. Interfaces com o usuário final .....	58
<b>V. CLASSIFICAÇÃO DE SENSIBILIDADE AO TCO.....</b>	<b>65</b>
V. 1. Matriz de Classificação de Sensibilidade ao TCO.....	65
V.2. Processo de geração de problemas exemplos .....	68
V. 2. 1 Geração dos custos.....	70
V. 2. 2 Geração do índices de eficiência.....	72
V. 2. 3 Geração das demandas .....	72
V.3. Problema exemplo ilustrativo .....	75
<b>VI. EXPERIMENTAÇÃO.....</b>	<b>81</b>
VI. 1 Teste I .....	81
VI. 2 Teste II.....	85
VI.3 Teste III.....	89
VI.4 Teste IV .....	92
VI. 5 Teste V.....	95

VI. 6 Teste VI .....	95
VI. 7 Teste VII.....	98
VI. 8. Teste VIII.....	99
VI. 9. Testes IX.....	101
<b>VII. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES COMPUTACIONAIS..</b>	<b>103</b>
<b>VIII. CONCLUSÕES.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz de estratégia de suprimento .....	8
Figura 2 – Posicionamento dos métodos de decisão nas fases de seleção de fornecedores .....	18
Figura 3 – Produtos sensíveis ao TCO .....	34
Figura 4 – Interface do menu principal do <i>software</i> .....	58
Figura 5 – Interface dos dados dos fornecedores .....	59
Figura 6 – Interface da demanda do produto .....	60
Figura 7 – Interface dos dados dos fornecedores relacionados ao tempo .....	60
Figura 8 – Interface dos parâmetros do modelo .....	61
Figura 9 - Saídas do modelo .....	62
Figura 10 – Interface dos custos do fornecedor escolhido .....	62
Figura 11 – Interface dos resultados dos produtos comprados, usados e estocados .....	63
Figura 12 – Interface gráfica dos custos no ciclo de vida do produto .....	64
Figura 13 - Matriz classificação de sensibilidade ao TCO .....	65
Figura 14 - Baixa sensibilidade .....	66
Figura 15 - Média sensibilidade .....	67
Figura 16 - Alta sensibilidade.....	67
Figura 17 – Demandas Geradas .....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Problemas de <i>sourcing</i> em mercados internacionais.....	13
Tabela 2 - Elementos para formulação de critérios de escolha de fornecedores.....	15
Tabela 3 - Matriz de TCO resultante da pesquisa .....	44
Tabela 4 - Classificação da Sensibilidade .....	68
Tabela 5 - Diferença entre os custos dos fornecedores .....	68
Tabela 6 – Situações de compras geradas .....	72
Tabela 7 – Informações dos fornecedores potenciais.....	75
Tabela 8 – Demanda prevista .....	76
Tabela 9 – Custos incorridos ao longo do ciclo de vida do produto do Fornecedor 1 ...	76
Tabela 10 – Política de compra .....	77
Tabela 11 - Diferentes Demandas .....	78
Tabela 12 – Custos incorridos para diferentes tipos de demanda.....	79
Tabela 13 – Estoque no horizonte de planejamento de 12 períodos de tempo.....	80
Tabela 14 - Dados de entrada dos problemas do Teste I.....	82
Tabela 15 - Custos incorridos dos problemas do Teste I.....	83
Tabela 16 - Política de compra dos problemas do Teste I.....	84
Tabela 17 – Resultado do consumo dos problemas do Teste I.....	84
Tabela 18 - Política de estoque dos problemas do Teste I .....	85
Tabela 19 - Dados de entrada dos problemas do Teste II.....	86
Tabela 20 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste II.....	87
Tabela 21 - Política de compra dos problemas do Teste II .....	87
Tabela 22 – Resultado do consumo dos problemas do Teste II .....	88
Tabela 23 - Política de Estoque dos problemas do Teste II.....	89
Tabela 24 - Dados de entrada dos problemas do Teste III .....	89
Tabela 25 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste III.....	90
Tabela 26 - Política de compra dos problemas do Teste III .....	90
Tabela 27 – Resultado do consumo dos problemas do Teste III.....	91
Tabela 28 – Política de estoque dos problemas do Teste III .....	91
Tabela 29 - Dados de entrada dos problemas do Teste IV .....	92
Tabela 30 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste IV.....	93

Tabela 31 - Política de compra dos problemas do Teste IV .....	93
Tabela 32 - Resultado do consumo dos problemas do Teste IV .....	94
Tabela 33 – Política de estoque dos problemas do Teste IV .....	94
Tabela 34 - Dados de entrada dos problemas do Teste VI.....	95
Tabela 35 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste VI.....	96
Tabela 36 – Política de compras dos problemas efetuados do Teste VI .....	96
Tabela 37 – Consumo dos problemas efetuados do Teste VI.....	97
Tabela 38 – Política de estoque dos problemas do Teste VI.....	97
Tabela 39 - Dados de entrada dos problemas do Teste VII.....	98
Tabela 40 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste VII .....	99
Tabela 41 - Dados de entrada dos problemas do Teste VIII .....	100
Tabela 42 - Custo total de propriedade dos problemas Teste VIII.....	100
Tabela 43 - Dados de entrada dos Testes IX .....	101
Tabela 44 - Custos Total de propriedade do Teste IX.....	102

## LISTA DE SIGLAS

AIMMS - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software

AHP – Analytic Hierarchy Process (Processo Hierárquico analítico)

CTP - Custo Total de Propriedade

DEA – Data Envelopment Analysis (Análise Envoltória de Dados)

MLP - Modelos Lineares Ponderados

TCO - Total Cost of Ownership

TI - Tecnologia de Informação

VPI - Vendor Performance Index

## I. INTRODUÇÃO

A atividade de compras é definida como a de comprar materiais e serviços com a qualidade adequada, em quantidade certa, no tempo certo, e da fonte fornecedora certa. Este é o cerne da função Compras.

Na era industrial, quando as teorias de divisão de trabalho mudaram a forma de organização das tarefas para aumentar a produtividade foram criadas estruturas funcionais que existem até os dias de hoje. Então, os primeiros departamentos de compras - grupos que têm a incumbência de comprar materiais e serviços - foram criados para atender três necessidades básicas: adquirir bens e serviços, aumentar a eficiência do processo de compra e aproveitar a economia de escala por intermédio de grandes compras. Suas atribuições, entre outras, eram criar os pedidos de compras, planejar e receber materiais e selecionar fornecedores. Dos anos 30 aos 70, esse sistema gerou eficiência por meio de processos padronizados.

No final dos anos 70, as empresas de bens e serviços de infra-estrutura começaram a incorporar técnicas de gestão voltadas à garantia da qualidade de sua produção, de modo que os referidos processos padronizados deixaram de ser eficientes. O resultado disso foi que os departamentos de compras se limitaram a processar pedidos, tendo poucas oportunidades de atuar mais ativamente no processo decisório da compra, na seleção de fornecedores etc. A solução dada a esse problema foi a substituição do sistema vigente pela implantação de uma estratégia de gerenciamento de compras. Esse sistema de gerenciamento de compras está dividido em: processo de compra, processo de melhoria contínua e processo de inovação.

Um dos conceitos-chave do processo de melhoria contínua é Custo Total de Propriedade (Total Cost of Ownership - TCO). Aqui, o conceito de valor presente é utilizado para descontar os custos futuros com base na vida útil do produto. O custo, então, não é medido exclusivamente pelo preço.

A questão da compra de um bem pelo menor preço ou pelo menor custo total é discutida até os dias de hoje. Diversos critérios, quantitativos e qualitativos, são encontrados na literatura e são utilizados no processo de compra de produtos e serviços. Dentre esses critérios várias empresas vêm analisando essa questão utilizando-se do TCO, que considera, além do preço pago, os custos envolvidos na aquisição, posse, uso e disposição do bem a ser comprado.

O TCO pode incluir os elementos de custos como a emissão de ordem de compra, pesquisa e qualificação de fornecedores, transporte, recebimento e disposição, entre outros. Essa ferramenta pode ser aplicada a qualquer modalidade de compra e os elementos de custos podem ser únicos para cada item que se deseja adquirir.

### I.1. Objetivo

A maioria dos modelos com enfoque no TCO existentes na literatura são modelos aplicados a uma situação real, porém muitas vezes com particularidades que dificultam a identificação dos aspectos chaves que definem o TCO. Por conseguinte o objetivo principal deste trabalho é propor um modelo matemático de apoio a decisão aplicável a qualquer problema da natureza do custo total de propriedade, ou seja, um modelo que contém os aspectos principais que definem o TCO.

## I.2. Relevância da Pesquisa

A compreensão dos vários componentes do TCO pode ser usada por uma empresa para racionalizar suas atividades e estabelecer relações entre tais atividades e a aquisição de produtos e serviços. Por conseguinte a pesquisa se justifica na medida em que se tem conhecimento muito restrito sobre o impacto que o processo de aquisição de materiais tem no resultado final das empresas e sobre os crescentes custos gerados por aquisições que não levam em consideração todos os impactos das decisões. O TCO ajuda a medir gerenciar e reduzir os custos melhorando o valor total dos investimentos e tornando a empresa que o adota mais competitiva.

## I.3. Organização da Dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: no capítulo I o problema de pesquisa é contextualizado e tem seu objetivo e relevância destacados. No capítulo II são descritas as características do processo de seleção de fornecedores e as etapas que compõe este processo. Para tanto, inicia-se com a descrição do processo de aquisição seguida da descrição posicionamento da seleção de fornecedores no contexto da atividade de aquisição. Ainda neste capítulo são apresentados fundamentos teóricos e critérios auxiliares aos métodos de suporte a avaliação e seleção de fornecedores e modelos existentes para esta seleção. No capítulo III são apresentados os conceitos de custo total de propriedade. Seguido da revisão dos modelos existentes na literatura dos modelos de avaliação de seleção de fornecedores com enfoque no custo total de propriedade. No capítulo IV é descrito o modelo conceitual de TCO. São apresentadas a modelagem matemática na qual se obtém como resultado o modelo algébrico do

problema, a implementação computacional e as interfaces deste modelo no software. No capítulo V é apresentada uma proposta para classificação de problema sob a ótica do TCO. Em seguida são apresentados a metodologia para a geração dos diferentes problemas gerados e os resultados computacionais realizados no modelo proposto no capítulo anterior. Finalizando o capítulo com as conclusões e considerações finais dos testes efetuados. O capítulo VI encerra o trabalho apresentando suas conclusões

## II. SELEÇÃO DE FORNECEDORES

O objetivo deste capítulo é apresentar a importância do processo de seleção de fornecedores e as etapas que compõe este processo. Para tanto, inicia-se com a descrição do processo de aquisição. Depois é descrito o posicionamento da seleção de fornecedores no contexto da atividade de aquisição, o qual é seguido dos fundamentos teóricos e critérios de avaliação e seleção de fornecedores. Finalizando este capítulo é apresentada uma revisão da literatura dos modelos existentes em cada uma das fases de seleção de fornecedores.

### II.1. Processo de Aquisição

Segundo STOCK e LAMBERT (1993) os termos compra e aquisição são muito confundidos, embora sejam diferentes no escopo. Compra, geralmente, se refere às compras reais de materiais e as atividades associadas ao processo de compra. Já aquisição tem um significado mais amplo e inclui a compra, o transporte, armazenagem e o recebimento de materiais internos.

O processo de aquisição constitui a atividade que executa a função de ligar a organização a seus fornecedores. Nesse sentido, para executar eficientemente a sua função é necessário compreender, em detalhes, tanto as necessidades dos processos da empresa, como capacitações dos fornecedores que potencialmente podem fornecer produtos e serviços para a organização (SLACK *et al.*, 1997).

Diversos estudos destacam o fato de que o processo de compras tem deixado de ser um mero processamento de requisições e pedidos e está, cada vez mais, relacionado a

atividades de cunho mais estratégico (KRALJIC, 1983; RECK e LONG, 1988; COX, HARRIS e PARKER, 1998; WHITE e HANMER-LLOYD, 1999).

Segundo ELLRAM e CARR (1994) as três preocupações básicas quanto ao papel estratégico de compras são:

- Quais as estratégias que a função de compras pode adotar?
- Como compras pode se integrar na estratégia da empresa e quais as suas contribuições?
- Como as compras podem evoluir na empresa para o nível estratégico?

O decisor da compra pode se comparar a um malabarista tentando manter diversas bolas no ar ao mesmo tempo, visto que o comprador deve atingir diversas metas simultaneamente, tais como:

- Fornecer um fluxo contínuo de materiais, fornecedores e serviços requeridos para operar a organização.
- Manter investimento de inventário e perdas mínimas.
- Manter adequados padrões de qualidade.
- Encontrar ou desenvolver fornecedores competentes.
- Padronizar onde for possível o item comprado.
- Comprar itens requeridos e os serviços no TCO.
- Melhorar a posição competitiva da organização.

- Alcançar relacionamento de trabalho produtivo e harmonioso.
- Executar os objetivos de compra no menor nível possível de custos administrativos.

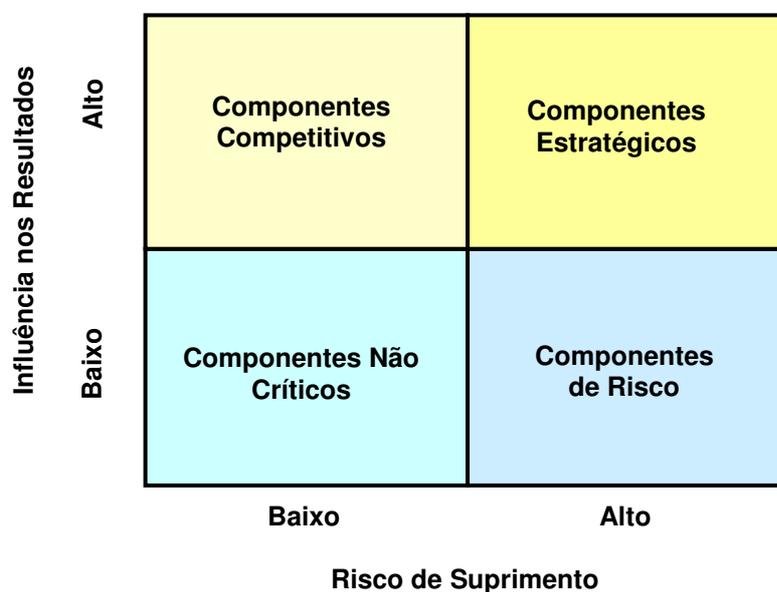
Para BAILY *et al.* apud SLACK *et al.* (1997), os objetivos básicos da atividade de aquisição, válidos para todos os materiais e serviços comprados, constituem: comprar ao preço correto; para ser entregue no momento correto; produtos e serviços de qualidade correta; na quantidade correta; e da fonte correta.

A crescente relevância da função aquisição nas empresas tornou mais importante as decisões de compra. Desta forma, a gestão estratégica de suprimentos vem ganhando espaço importante nas organizações. Os materiais diretos ou indiretos, assim como os serviços contratados pelas empresas no seu dia a dia, têm forte implicação na competitividade em geral. Tradicionalmente as empresas já desenvolvem esforços que visam garantir padrões de qualidade adequados, bem como custos de suprimentos reduzidos. Mais recentemente, com o aumento da competição em nível mundial, outros atributos associados à estratégia de suprimentos vêm se destacando em importância para garantir a competitividade. Esses atributos podem ser classificados em dois grupos principais:

- Atributos que têm impacto sobre o resultado financeiro (ou atributos internos);
- Atributos que têm impacto sobre o risco (ou incerteza) do fornecimento (ou atributos externos).

Um dos modelos de gestão estratégica de suprimentos mais difundidos é o da Matriz de Posicionamento de Materiais, como pode ser visto no trabalho de KRALJIC (1983).

Esse modelo apóia a administração de empresa na seleção das estratégias de compras mais apropriadas para diferentes tipos de produtos e serviços, otimizando a relação entre impactos financeiros e risco, tais como falta de materiais, descontinuidades, atrasos, rompimento de contratos, entre outros. A Matriz de Kraljic permite classificar os itens de compra, segundo a criticidade e importância dos componentes, em quatro quadrantes, com base na complexidade do mercado de fornecimento e na importância da compra conforme ilustrado na Figura 1. Nesta figura, no eixo “Influência nos resultados”, são considerados o custo do material comprado em relação ao custo total de compras, o perfil de valor agregado do produto, o perfil de lucratividade do produto e seu custo de falta, dentre outros. No eixo “Risco de suprimento”, são consideradas as condições de monopólio ou oligopólio existentes no mercado do produto, o número de fornecedores, as barreiras de entrada neste mercado, o custo e a complexidade logística, entre outros.



Fonte: Adaptado de CAVANHA, 2001.

Figura 1 – Matriz de estratégia de suprimento

FARIS *et al.* (1967) elaboram uma estrutura de classificação das situações de aquisição e traçam três classes de situações básicas:

- 1) Situações novas – os fornecedores e os itens são novos ou desconhecidos.
- 2) Recompra modificada – quando os fornecedores são conhecidos, porém os itens são novos para os compradores.
- 3) Recompra direta – quando os fornecedores e os itens são conhecidos. As compras são rotineiras tais como, materiais de escritórios, por exemplo.

Muitos anos depois, BOER *et al.* (2001) desenvolve uma outra estrutura de situações de seleção de fornecedores que oferece ao comprador um número gerenciável de situações típicas com caminhos para realizar e organizar o processo de seleção. Esses autores distinguem diferentes situações de recompra (estratégica e rotineira) daquelas apresentadas s por FARIS *et al.* (1967) e consideram também os conceitos de KRALJIC (1983), nas situações de aquisição.

## II. 2 Avaliação e Seleção de Fornecedores

De modo genérico a seleção de fornecedores decorre de uma questão estratégica básica: fazer ou comprar? Para HUMPHREYS *et al.* (2000) “Fazer ou comprar é uma decisão estratégica e traz implicações para a estratégia corporativa da organização como um todo”. Assumir uma das alternativas passa necessariamente por uma criteriosa análise dos fornecedores potenciais. A literatura especializada enfatiza os critérios de avaliação de fornecedores potenciais e os diferentes tipos de relacionamento que devem ser

estabelecidos com aqueles que forem escolhidos como fornecedores efetivos. Ver COX, (1996); BOER *et al.*( 2001); NELLORE (2000) ; BUVIK e GRØNHAUG (2000).

No processo de aquisição, talvez a atividade mais importante seja selecionar o melhor fornecedor dentre muitos fornecedores. CROSBY (1989) afirma que 50% dos problemas de qualidade de uma empresa são devidos à má seleção e gestão da base de fornecedores. Segundo DEGRAEVE (1999) a seleção e avaliação de fornecedores é uma das atividades mais críticas de uma organização nos dias de hoje devido a alta competitividade do mundo dos negócios. A escolha de fornecedores ruins pode gerar sérios problemas operacionais e financeiros no setor de compras de uma organização.

A seleção de fornecedores vem ganhando cada vez mais importância ao longo do tempo. Dentre os fatores que contribuem para este crescimento estão o aumento no valor dos itens comercializados em relação ao total da receita de empresas de manufatura; a globalização, que viabiliza a aquisição de produtos de outros países a preços competitivos; e a crescente velocidade de mudança de tecnologia, que é acompanhada por uma redução do ciclo de vida dos produtos (BURT E SOUKUP, 1985; SOUKUP, 1987).

Os reflexos decorrentes da tomada de decisão por um fornecedor em detrimento de outro(s) causam impacto no desempenho organizacional tanto quanto mais estratégico for o tipo (ou item) de fornecimento. Os objetivos perseguidos por compradores e fornecedores visam à redução do custo final. Inserida na fase inicial da cadeia logística, a fase de suprimento está associada diretamente à ligação entre a empresa e seus fornecedores.

Faz parte da estratégia de compras definir com quantos e com quais fornecedores a organização irá trabalhar. Ela poderá trabalhar com fornecedores exclusivos para determinados produtos (*single sourcing*), múltiplos fornecedores para um mesmo produto (*multiple sourcing*), com uma rede de fornecedores constituída de poucos fornecedores, ou ainda pode trabalhar com fornecedores internacionais (*global sourcing*). Cabe à função de compras ponderar as vantagens e desvantagens de cada um dos modelos e selecionar o que melhor se adequar (ou se adequarem) à estratégia e ao alcance da empresa, uma vez que para certos produtos a empresa não dispõe de opções variadas de fornecedores, o que pode ocorrer quando o mercado fornecedor é um mercado monopolista ou quando as exigências de qualidade do produto são tamanhas que poucos fornecedores são capazes de atendê-las (SOUKUP, 1987, ZENG, 2000). A seleção dos fornecedores dependerá também do tipo de relacionamento que a empresa pretende manter com os mesmos.

O *multiple sourcing* provoca uma competição intensa entre os fornecedores, jogando-os uns contra os outros. Através desta competição, o comprador pode obter preços mais baixos de produto e frete, além de uma maior segurança quanto à falta de material (caso um fornecedor apresente problemas de fornecimento, outro já dispõe do material) (ANSARI E MODARRESS, 1990; ZENG, 2000). No entanto, apesar destas vantagens, o *multiple sourcing* faz com que a empresa trabalhe com uma grande base de fornecedores, o que requer maior gasto de tempo para as negociações, podendo afetar diretamente a produção.

No *single sourcing* a organização reduz sua base de fornecedores somente para um ou dois fornecedores, o que aumenta o risco da empresa no que se refere a problemas de

fornecimento. ANSARI e MODARRESS (1990) afirmam que esta prática surgiu dentro da filosofia *just in time*, que prega a eliminação de desperdícios e atenção às atividades de valor agregado. Vale ressaltar que a seleção de fornecedores exclusivos (*single sourcing*) exige um profundo e cuidadoso estudo. Devem ser considerados diversos pontos, entre os quais a competitividade deste fornecedor no seu ramo, seu posicionamento no mercado, sua capacidade de atender à demanda, sua atitude em relação a parcerias, etc.

Outra estratégia de seleção de fornecedores, geralmente adotada pelas grandes empresas (especialmente as multinacionais), é a utilização de fornecedores de fora do país (*global sourcing*). Dentre outras vantagens, esta estratégia propicia o acesso a uma maior gama de fornecedores, muitas vezes com preços menores (muitos possuem economia de escala ou uma grande eficiência em seu processo), e qualidade superior de produtos. Entretanto a organização precisa estar atenta aos possíveis problemas associados a essa modalidade, tais como, um maior risco de atrasos na entrega, susceptibilidade à variação cambial, altos custos de frete, problemas alfandegários e impostos de importação, além da distância geográfica poder vir a ser um empecilho para que o relacionamento comprador-fornecedor seja mais próximo (ZENG, 2000). A Tabela 1 mostra alguns desses possíveis problemas potenciais que uma organização deve considerar antes de se engajar com *global sourcing*.

1.	Carência de suporte tecnológico local
2.	Dificuldade de operação e intercâmbio internacional
3.	Instabilidade política ou riscos afetando investimento (ou relacionado à própria companhia ou fornecedores potenciais)
4.	Tarifas e pressões governamentais estrangeiras para compra dentro do país.
5.	Pressões governamentais relativas à própria compra da companhia.
6.	Necessidade de ter altos estoques do produto comprado
7.	Necessidade de intensificar atividades de inspeção de bens internos
8.	Especificações domésticas derivadas do mercado de suprimento local não disponíveis.
9.	Qualidade inconsistente de certos componentes importados.
10.	Carência de pessoal treinado no local, afetando o desempenho do departamento de suprimento.

Fonte: Adaptada de STOCK & LAMBERT, 1993.

Tabela 1 - Problemas de *sourcing* em mercados internacionais

## II. 2.1. Critérios para seleção de fornecedores

Um aspecto importante na seleção de fornecedores diz respeito à definição e escolha dos critérios e das métricas a serem avaliadas, já que em muitos casos isto está relacionado à cultura da organização. Porém, de forma geral existem dois pontos de vista salientes na literatura:

- O mais importante na decisão de compras é indubitavelmente a seleção e relacionamentos com fornecedores confiáveis e de alta qualidade, a fim de reduzir custos do produto mantendo qualidade do produto e atendimentos ao consumidor excelentes,

- Existe uma forte necessidade para uma abordagem sistemática a decisão de compras especialmente na seleção de fornecedores apropriados e atribuindo pedidos entre eles.

Os critérios para seleção de fornecedores têm deixado de ser somente aqueles básicos, ou seja, o preço ao qual o fornecedor oferecia o produto, a qualidade do produto, que deveria atender à especificação mínima requerida pela empresa, e a velocidade de entrega do produto pelo fornecedor (GOFFIN *et al.*, 1997). Dentre os novos critérios que passaram a ser adotados estão o custo total de transação, que considera todos os custos associados à aquisição do produto; a qualidade total oferecida pelo fornecedor (não somente a qualidade mínima necessária); o serviço prestado pelo fornecedor, que além da velocidade de entrega passou a considerar a confiabilidade, o custo de transporte, a consistência e frequência de entregas e a flexibilidade do fornecedor; entre outros (ELLRAM, 1990, 1995; GOFFIN *et al.*, 1997).

HIRAKUBO e KUBLIN (1998) apresentam dois conjuntos distintos de critérios que devem ser considerados na avaliação e seleção de fornecedores, baseados nas características dos produtos a serem adquiridos: itens padrão e itens especiais. Os itens padrão consistem em produtos com especificação usual e conhecida no mercado, produzidos por vários fornecedores. Os itens especiais consistem em produtos com especificação não usuais e produzidos sob encomenda por poucos fornecedores.

Duas dimensões costumam balizar os critérios para a escolha de fornecedores e condições contratuais: à mensurabilidade e à natureza. A mensurabilidade pode levar em conta aspectos quantitativos ou qualitativos (BOER *et al.*, 1998). Para PANIZOLLO (1998) a natureza de um critério pode ser econômico-financeira, logística, tecnológica

ou estratégica. Um critério logístico está associado a transferências de materiais entre fornecedores e clientes; os tecnológicos e estratégicos associados a condições para estabelecimento de relações de parceria entre fornecedores e clientes.

A Tabela 2 apresenta um conjunto de elementos de referência que usualmente servem para fundamentar a formulação de critérios de escolha de fornecedores.

<b>Elemento de Referência</b>	<b>Mensurabilidade</b>	
<b>Natureza</b>	<b>Quantitativo</b>	<b>Qualitativo</b>
<b>Econômico-financeiro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preço,</li> <li>• Custo de aquisição,</li> <li>• Custo operacional,</li> <li>• Custo de manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Política de preços,</li> <li>• Confiabilidade no cumprimento</li> <li>• Cumprimento das condições</li> <li>• Contratuais de faturamento</li> </ul>
<b>Logístico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de fornecimento</li> <li>• Eficiência no fornecimento</li> <li>• Confiabilidade no fornecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resposta a reclamações</li> <li>• Flexibilidade em relação às incertezas do mercado comprador do cliente</li> </ul>
<b>Tecnológico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade do produto,</li> <li>• Qualidade dos serviços,</li> <li>• Qualidade dos processos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referências,</li> <li>• Experiência passada,</li> <li>• Capacidade de resolver problemas do cliente,</li> <li>• Capacidade de inovação,</li> <li>• Adequação do processo ao produto e aos serviços</li> </ul>
<b>Estratégico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuidade de fornecimento,</li> <li>• Capacidade de assumir riscos relativos a incertezas de processos e serviços</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposição para a colaboração,</li> <li>• Reputação,</li> <li>• Capacidade para estabelecer vínculos de relacionamento pessoal,</li> <li>• Confiabilidade de relacionamento a longo prazo</li> </ul>

Fonte: Adaptado de ABRAMCZUK (2001)

Tabela 2 - Elementos para formulação de critérios de escolha de fornecedores

BOER *et al.* (2001, 3-4) apresenta um conjunto de metodologias/ ferramentas utilizadas para seleção de fornecedores, estes autores citam a definição de critérios como sendo uma das etapas da seleção de fornecedores menos exploradas. DIAS (1996, p. 301 – 305) apresenta sugestões de critérios a serem empregados para a seleção de fornecedores; nelas são tratados, basicamente a qualidade da matéria-prima, o ferramental usado pelo fornecedor, a sua capacidade técnica de produção, o método de controle da qualidade empregado e a organização industrial do fornecedor. Alguns parâmetros indicativos de desempenho são apresentados a seguir:

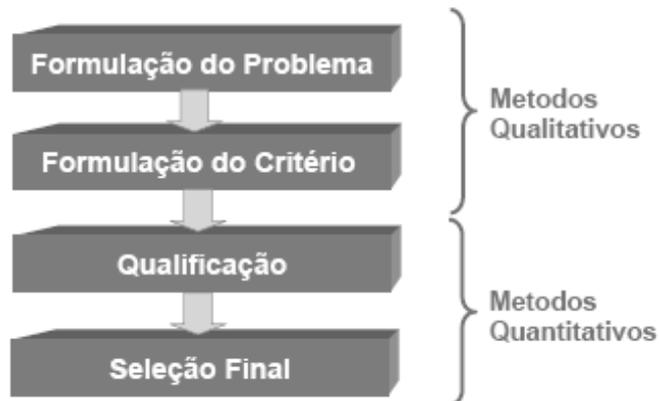
- Pontualidade;
- Queixas e reclamações;
- Índice de defeitos por lote;
- Número de fornecedores de matéria-prima;
- Custo da matéria-prima;
- Qualidade da matéria-prima;
- Rapidez e constância na entrega;
- Volume de estoque;
- Padronização;
- Nível tecnológico;
- Nível dos recursos humanos;

- Elasticidade e flexibilidade.

Segundo HUTCHINS (1993), como forma de controlar a qualidade dos fornecedores, estabelecem-se contratos de curto prazo e mantêm-se múltiplos fornecedores. Esta situação leva a empresa a manter amplos estoques de matéria prima, a título de segurança. A empresa, ao negociar com os seus fornecedores procura obter a melhor condição para si própria, seja em termos de preços, qualidade, prazos, etc. Este procedimento pode ocorrer em um ambiente onde clientes e fornecedores adotam uma postura competitiva e não de cooperação; caso outro fornecedor apresente condições momentâneas mais favoráveis, vencido o contrato poderá ser o novo “parceiro comercial”. Esse comportamento é conhecido como “soma zero” onde, para que uma das partes obtenha alguma vantagem, a outra deve sair perdendo.

### II. 3. Fases da Seleção de Fornecedores

Existe uma série de métodos existentes na literatura que podem ser classificados como qualitativos e quantitativos. Os métodos qualitativos incluem ferramentas de visualização e análise da percepção do decisor sobre uma situação problema. Os vários métodos quantitativos compreendem uma grande variedade de abordagens (como pode ser visto na Tabela 2). A seguir, é apresentada uma série de métodos, encontrados na literatura, utilizados nas fases de seleção, ilustradas na Figura 2.



Fonte: adaptada de BOER et al. (2001).

Figura 2 – Posicionamento dos métodos de decisão nas fases de seleção de fornecedores

Vale ressaltar que no estudo realizado foi observado que um número limitado de estudos considera os serviços de compras e contrato. A grande maioria dos trabalhos publicados aborda a obtenção de materiais.

### II. 3.1. Métodos de Decisão das Fases de Seleção

#### **Métodos para a Definição do Problema**

Os métodos para definição do problema são aqueles que apóiam o decisor em questionar cuidadosamente a necessidade e as alternativas que lhe parecem estar disponíveis. Nessa fase inicial, questões são levantadas e decididas, tais como: comprar ou não comprar; manter poucos ou muitos fornecedores; substituir ou não um fornecedor atual, entre outras. Para esta fase não foram encontrados na literatura trabalhos teóricos.

### **Métodos para a formulação de critérios**

Para a formulação de critérios, poucos trabalhos foram encontrados na literatura. Nesta fase, também se apresentam questões importantes como: quais critérios considerar; quantos critérios; fazer ou não auditoria dos fornecedores; etc. MANDAL *et al.*(1994) propõem um método gráfico chamado Modelagem Estrutural Interpretativa (ISM) que identifica e resume as relações entre os critérios de escolha do fornecedor, separando-os em dependentes e independentes. Os autores sugerem que os critérios dependentes são importantes na fase da escolha final enquanto os independentes são relevantes num processo classificatório, para escolher os fornecedores aceitáveis. VOKURKA *et al.* (1996) desenvolvem um Sistema Especialista que contempla múltiplas fases dos processos de seleção, dentre as quais está a formulação de critérios.

### **Métodos para qualificação de fornecedores**

Esta fase pode ser definida como um processo de redução do conjunto dos fornecedores a um conjunto menor e mais aceitável. É uma fase mais de escolha do que de classificação. Diferentes metodologias tem sido utilizadas para apoiar esta fase: Os Métodos Categóricos são modelos qualitativos, baseados nos dados históricos e na experiência do comprador. Nesta metodologia destacam-se os trabalhos de ZENZ (1981) e TIMMERMAN (1986). Outra ferramenta utilizada é a Análise Envoltória de Dados (DEA), que avalia alternativas de critérios de custos/ benefícios, baseada no conceito de eficiência, onde se destacam os trabalhos de WEBER *et al.* (1996); WEBER *et al.* (1998); PAPAGAPIOU *et al.* (1996) e LIU *et al.* (2000). Uma terceira metodologia é a Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*) que vem a ser um método estatístico que usa algoritmos de classificação para agrupar os fornecedores. Referências

neste métodos são os trabalhos de HINKLE *et al.* (1969) e HOLT (1998). Finalmente, o Sistema baseado em Regras Lógicas (CBR), que utiliza abordagens de Inteligência Artificial, pelo qual um sistema é treinado por situações semelhantes (NG *et al.*, 1995) também é um método usado nesta etapa.

### **Métodos para seleção final**

Os modelos de seleção final de fornecedores procuram determinar a melhor escolha de fornecedores e alocar pedidos entre eles de modo a satisfazer diferentes requisitos de compras. A grande maioria dos modelos encontrados na literatura se aplica a essa fase e a maior parte deles não considera o gerenciamento de inventário de itens comprados. Alguns incorporam a programação dos pedidos à decisão de se selecionar vendedores, em um horizonte de tempo, embora exista o argumento de que a política de pedidos e a escolha do fornecedor se influenciem mutuamente.

Na seção a seguir é apresentada uma revisão dos modelos existentes nesta fase de seleção de fornecedores

#### **II.4. Modelos de Seleção de Fornecedores**

No trabalho de AISSAOUIA *et al.* (2007) é apresentado uma revisão da literatura sobre o processo de compras. Devido a sua complexidade, os autores focaram especialmente a fase da seleção final. A análise dos modelos de decisão feita pelos autores forneceu informações úteis, além de ajudar a encontrar alguns *gap* existentes na literatura. Como por exemplo, a pouca atenção dada ao setor de aquisição de serviços. A maioria das publicações pesquisadas encontra-se no contexto de seleção de fornecedores para compra de bens no ambiente industrial.

Os Modelos Lineares Ponderados (MLP) são utilizados na fase final de seleção de fornecedores. Esses modelos consideram pesos pré-definidos para cada um dos critérios, como pode ser visto no trabalho de TIMMERMAN (1986). YOUSSEF *et al.* (1996) demonstram que a grande vantagem deste modelo é a sua aplicação a qualquer decisão de compras, devido à sua simplicidade matemática, conjugando vários critérios e fatores de decisão com baixo custo, comparado com outros modelos, o modelo de ponderação linear seria o mais indicado para uma tomada de decisão ótima. Entretanto, a sua fraqueza está na limitação das técnicas de mensuração e suas escalas.

THOMPSON (1990) apresenta um modelo que utiliza técnicas de simulação Monte Carlo para definir os pesos para implementação dos modelos lineares ponderados. Este modelo apóia a tomada decisão com relação aos fornecedores e informações com relação às compras a serem feitas. O autor mostra neste trabalho que a simulação de Monte Carlo simplifica, fornecendo uma gama considerável de informações que facilitam as decisões de compra. As entradas do algoritmo de simulação são faixas de estimativa dos parâmetros dos fornecedores a serem avaliados. A saída é a distribuição de probabilidade do desempenho de cada fornecedor. A estrutura matemática do modelo é mostrada a seguir:

### **Representação matemática:**

#### **Índices**

$j$  = números de fornecedores;

$i$  = número de critérios;

$k$  = números de iterações.

## **Parâmetros**

$a_i$  = peso de importância ligado a avaliação do critério  $i$ .

## **Variáveis**

$b_{ijk}$  = avaliação das performances gerada na abordagem do critério  $i$  do fornecedor  $j$  durante a iteração  $k$ .

## **Função de Avaliação**

$$A_{jk} = \sum_{i=1}^n a_i b_{ijk}$$

O algoritmo de simulação combina os valores de amostras ( $b_{ijk}$ ) dentro cada faixa de desempenho estimada, com os pesos de importância ( $a_i$ ), conforme regras compensatórias lineares, produzindo as pontuações ( $A_{jk}$ ). Ao final das iterações uma distribuição de frequência das pontuações de cada fornecedor é obtida.

GREGORY (1986) propõe uma metodologia para seleção de fornecedores baseado em uma adaptação do modelo ponderado utilizando matriz. A primeira dimensão da matriz (colunas) agrupa os fatores de avaliação. Nestas colunas são determinados os fatores mais importantes para avaliação de um fornecedor. Cada fator pode ser dividido em subcategorias com pesos individuais. As pontuações das subcategorias são todas somadas e divididas pelo peso total da categoria principal. A pontuação final é simplesmente a média ponderada de todos os fatores de avaliação. A matriz apresentada pelo autor facilita ao comprador avaliar e a visualizar melhor as propostas dos fornecedores avaliados. Por fim o autor apresenta uma aplicação da metodologia a duas

situações reais para divisão das compras entre os fornecedores que recebem a mesma avaliação.

Segundo WILLIS *et al.* (1993) existem várias metodologias para avaliar fornecedores, que facilitam na escolha do melhor fornecedor que satisfaça uma série de características. Entre elas, três são mais destacadas na literatura, quais sejam: categorização, pesos atribuídos (*weight points*) e razão de custo (*cost ratio*). Embora cada um destas abordagens ofereça vantagens sob condições específicas, elas não são apropriadas para serem usadas conjuntamente em um método de múltiplos critérios. Por conseqüência, os autores propõem um método alternativo para avaliação de fornecedores que consiste em uma modificação do modelo de análise dimensional. A análise dimensional é uma técnica matemática que combina sistematicamente vários critérios com diferentes dimensões. Este modelo adaptado pelos autores é chamado de VPI (Vendor Performance Index), sua formulação matemática é mostrada a seguir.

### **Índice**

$i$  = número de critérios.

### **Parâmetros**

$w_i$  = peso atribuído (importância) ao critério  $i$ ;

$X_i$  = critério de desempenho do fornecedor  $X$ ;

$Y_i$  = critério de desempenho padrão.

### **Função de Avaliação**

$$VPI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left( \frac{X_i}{Y_i} \right)^{w_i}}$$

Onde:

$$W = \sum_{i=1}^n |w_i|.$$

A vantagem deste método é que cada critério pode ser medido em suas próprias unidades, mas a avaliação e os pesos atribuídos permanecem altamente subjetivos. Também é impossível atribuir um peso igual a zero à um critério.

Outros autores incluem num modelo MLP incertezas de demanda através de ferramentas estocásticas, vários trabalhos podem ser mencionados como NYDIC E HILL (1992); BARBAROSOGLU *et al.* (1997); NARASIMHAN (1983). Outros enfoques considerando o MLP são aqueles que consideram a relação hierárquica dos critérios de decisão no chamado processo hierárquico analítico (AHP). Esta técnica utiliza um tratamento matemático mais elaborado na interligação dos fatores considerados na avaliação, bem como a prevalência hierárquica dos critérios de decisão, através de uma escala específica (ver MASELLA e RANGONE (2000)). Uma sofisticação deste método é apresentado no trabalho de SARKIS *et al.* (2000) numa metodologia chamada de processo de rede analítica (ANP).

Além dos Modelos Lineares Ponderados (MLP), há modelos que utilizam lógica *Fuzzy*, modelos que utilizam os conceitos de custo total de propriedade e modelos de programação matemática, que também são bastante utilizados na fase final de seleção de fornecedores.

PAN (1989) propõe um modelo de programação linear para a determinação simultânea do número de fornecedores a serem usados e das quantidades de compras dos fornecedores a serem feitas de cada fornecedor. Neste modelo deseja-se minimizar o

preço agregado sujeito às restrições de qualidade, entrega e desempenho do serviço oferecido. Esta relação é representada na formulação matemática que se segue.

### **Índices**

$i$  = números de fornecedores ;

$Q$  = nível de qualidade;

$L$  = nível de entrega;

$S$  = nível de serviço.

### **Parâmetros**

$p_i$  = preço do fornecedor  $i$ ;

$q_i$  = qualidade do fornecedor  $i$  ;

$l_i$  = tempo de entrega do fornecedor  $i$  ;

$s_i$  = serviço do fornecedor  $i$ .

### **Variável de decisão**

$x_i$  = percentual da quantidade do pedido.

### **Formulação Matemática**

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad (1)$$

**Sujeito à:**

$$\sum_{i=1}^n q_i x_i \geq Q \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n l_i x_i \leq L \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n s_i x_i \leq S \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (5)$$

A solução desse problema fornece simultaneamente o número de fornecedores a serem utilizados e as quantidades de pedidos a serem feitos. É importante citar que a função objetivo e as restrições desse modelo são intercambiáveis. Se a qualidade for considerada como mais importante que o preço, esta poderia deixar de ser restrição e passar a ser a função objetivo, e o preço se tornaria uma das restrições desse novo problema, conforme a formulação matemática a seguir:

$$\text{Maximize } \sum_{i=1}^n q_i x_i$$

CURRENT *et al.* (1994) demonstram a aplicabilidade de modelos matemáticos de localização para problemas de seleção de fornecedores, apresentando três variações de modelos. Na primeira aplicação os autores formulam o problema como um SPLP (*Simple Plant Location Problem*), minimizando a soma de custos fixos e dos custos com as compras. Na segunda aplicação eles formulam o problema como um PMLP (*p-median location problem*). Finalizando com a formulação do problema do SCLP (*Set covering location problem*). A seguir são descritas as notações, os parâmetros e as variáveis que definem a formulação matemática dos modelos.

## Índices

$i$  = produto ;

$j$  = fornecedores;

$I$  = conjunto de produtos.  $i = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;

$J$  = conjunto de fornecedores.  $j = \{1, 2, 3, \dots\}$ .

## Parâmetros

$c_{ij}$  = custo da compra do produto  $i$  do fornecedor  $j$ ;

$f_j$  = custos fixos associados ao fornecedor  $j$ .

## Variáveis de decisão

$X_{ij}$  = fração da demanda comprada do produto  $i$  do fornecedor  $j$ ;

$Y_j = \begin{cases} 1, & \text{se o fornecedor } j \text{ é escolhido} \\ 0, & \text{caso contrário } \forall j \in J \end{cases}$  ;

Com esta notação o SPLP pode ser definido como:

## SPLP

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^n f_j Y_j \quad (1)$$

**Sujeito à:**

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$Y_j \in (0,1) \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (5)$$

A primeira componente da função objetivo (1) representa os custos referentes a compra do produto, a segunda representa os referente aos custos associados cada fornecedor, neste constam custos com contrato, expedição, entre outros independente do fornecedor. Com relação às restrições, a restrição (2) assegura a satisfação da demanda. A restrição (3) exige que o fornecedor seja escolhido antes de ser feito o pedido de compra. As restrições (4) e (5) definem respectivamente a natureza binária da variável  $Y$  e asseguram que a quantidade de pedidos não seja negativa.

Para situações onde o número de fornecedores é importante, os autores propõem modelo matemático de localização de  $p$ -medianas. As notações, parâmetros as mesmas utilizados no modelo SPLP, entretanto as variáveis deste modelo possui um parâmetro a mais se comparado com o modelo anterior ( $p$  = números de fornecedores escolhidos). A seguir é apresentada a formulação matemática do PMLP.

### **PMLP**

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} c_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

**Sujeito à:**

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_j Y_j = p \quad (9)$$

$$Y_j \in (0,1) \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (11)$$

A função objetivo (6) minimiza os custos totais dos produtos comprados. As restrições (7), (8) e (10) são similares as restrições (2), (3) e (4) do SPLP. A restrição (9) assegura que exatamente  $p$  fornecedores sejam escolhidos. A (11) asseguram que a quantidade de pedidos não seja negativa.

Por fim a terceira formulação proposta pelos autores (SCLP) leva em consideração somente o número de fornecedores selecionados. O conjunto de fornecedores que podem fornecer o produto é representado pelo índice  $N_i$ . A seguir é mostrada a terceira e última formulação proposta pelos autores.

**SCLP:**

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n Y_j \quad (12)$$

**Sujeito à:**

$$\sum_{j \in N_i} Y_j = 1 \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$Y_j \in (0,1) \quad \forall j \in J \quad (14)$$

A função objetivo (12) minimiza o total de fornecedores escolhidos. A restrição (13) assegura que cada produto será fornecido por pelo menos um fornecedor e a restrição (14) é similar a restrição (4).

Os modelos de seleção de fornecedores que enfocam o custo total de propriedade serão apresentado no Capítulo III, a seguir.

### III. CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE – TCO

O custo total de propriedade parte da necessidade de se conhecer os custos que incorrerão no produto em toda sua vida útil, inclusive no momento do descarte. Na literatura internacional, é conhecido como *Total Cost of Ownership*. Neste capítulo são apresentados alguns conceitos do TCO, seguidos da revisão dos modelos existentes na literatura que tratam da avaliação de seleção de fornecedores com enfoque no custo total de propriedade.

#### III. 1. Conceito do custo total de propriedade

O custo total de propriedade é um dos conceitos-chave do processo de melhoria contínua. Trata-se de uma métrica que foi originalmente criada para medir custos em TI (Tecnologia de Informação), e que leva em consideração os custos diretos, geralmente relacionados com aquisição; e os custos indiretos, geralmente relacionados com manutenção. Criada pela Gartner Group, empresa de consultoria e pesquisa de mercado de TI, a técnica de TCO é fruto de uma visão holística dos limites da empresa. Dá um significado quantitativo para se entender o desempenho qualitativo da organização e consiste em custos incorridos ao longo do ciclo de vida de um ativo, incluindo: aquisição, recepção, posse, utilização e descarte.

O custo total de propriedade pode ser definido como uma abordagem complexa que requer que o comprador identifique todos os custos relevantes das atividades de aquisição, posse e uso de um bem ou serviço comprado, e no qual são quantificados todos os custos relacionados a um fornecedor específico, tais como custos com a emissão de ordem de compra, seleção e qualificação de fornecedores, transporte,

recebimento e disposição, entre outros. O TCO é uma ferramenta direcionada para a compreensão dos custos de internalização de um bem ou serviço considerando um ou mais fornecedores. Como ferramenta, o TCO requer que o comprador determine quais são os custos mais relevantes no ciclo de vida do produto.

SIFERD (1997), afirma que a análise através da ferramenta TCO compreende que os custos associados com a aquisição, uso e manutenção de um item são considerados como critérios de aquisição desse item e não somente o seu preço de compra. O TCO considera os custos gerados pelas atividades que ocorrem antes, durante e depois do ato de aquisição de um produto. Como exemplo de atividades antes da compra pode-se citar: atividade de solicitar propostas de compra, visitar fornecedores, certificar e analisar fornecedores. Atividades durante a compra podem ser: emitir ordem de compra, rastrear compras e expedi-las. Os custos gerados após a posse do produto podem ser relacionados com o controle da qualidade dos bens adquiridos; o retorno dos produtos e problemas com a garantia do produto final.

WOUTERS *et al.* (2005) definem o TCO como o processo de identificação de *trade-offs* de custo existentes nas decisões de compras. Estes custos podem ser incorridos tanto na área de aquisição, como em outras áreas da empresa compradora e até mesmo no próprio fornecedor. A inclusão de *trade-offs* existentes nas outras áreas é característica fundamental do TCO, uma vez que as decisões de compras podem ter impactos significativos em outras funções da organização.

Segundo ELLRAM e ZSIDISIN (2002), o TCO é uma importante técnica de gerenciamento de custos, usada pelas organizações. É definida como uma abordagem para se entender e gerenciar os verdadeiros custos e se negociar os preços dos produtos

de um determinado fornecedor em diversas situações relacionadas a compras estratégicas e táticas.

No trabalho de MELO *et al.* (2006) é apresentada uma abordagem do Custo Total de Propriedade como instrumento para a formulação de políticas de aquisição das empresas do setor elétrico brasileiro. Também são discutidos aspectos legais que regem os processos de aquisição que regulam as empresas que negociam ações nas bolsas de valores americanas. A discussão deste artigo aponta em direção a alternativas e perspectivas para a formulação de uma nova política de aquisição que não apenas priorize o menor preço de compra, mas também o ciclo de vida do produto, objetivando a redução dos custos totais dos ativos das empresas, uma vez que vultuosos investimentos estão previstos para o setor elétrico.

O TCO ajuda a determinar o real custo de um determinado produto, gerenciando de uma forma melhor, reduzindo os custos e conseqüentemente melhorando o valor total dos investimentos. Por exemplo, um produto que inicialmente possui um menor preço na sua aquisição, pode mais tarde se tornar mais custoso para organização devido aos altos custos incorridos ao longo do ciclo de vida do produto. A Figura 3 ilustra os custos totais incorridos em cada etapa do ciclo de vida do produto 1 e do produto 2. Nota-se nesta figura que apesar do produto 2 possuir menores custos nas etapas de aquisição e recepção, estes se tornam maiores ao se considerar as demais etapas de posse, utilização e descarte.

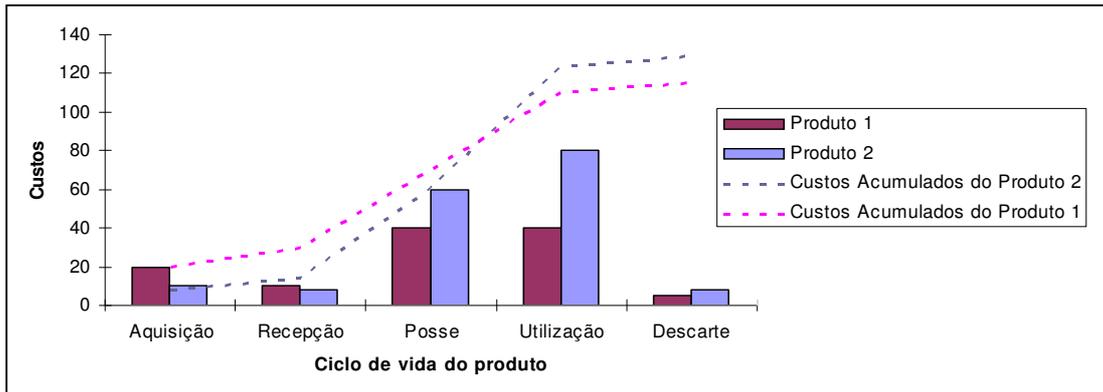


Figura 3 – Produtos sensíveis ao TCO

Esclarecendo ainda mais, uma maneira de visualizar o Custo Total de Propriedade é como um iceberg. O topo do iceberg representa o custo de compra do produto, a parte submersa representa todos os custos que irão incorrer à medida que o produto for sendo consumido e descartado.

### III.2. Modelos de seleção de fornecedores com enfoque no TCO

Os modelos de seleção de fornecedores, baseados no TCO tentam incluir todos os custos quantificáveis dentro da escolha do fornecedor que são incorridos durante o ciclo de vida do item comprador. Por exemplo, DE BOER *et al.*(2001) distinguem custos de Pré-Transação, Transação e Pós-Transação na seleção de fornecedores. Os modelos baseados em TCO consistem basicamente da sumarização e quantificação de todos, ou vários custos associados à escolha de fornecedores e subsequentemente, ajustando ou penalizando o preço unitário no intuito de minimizar os custos das compras totais.

Numa pesquisa realizada por ELLRAM (1995) com 11 empresas que utilizam o TCO, são evidenciadas muitas razões para a sua adoção. Os principais motivos apontados

pela pesquisa são em ordem de importância: suporte decisório para a seleção de fornecedores, estabelecimento de medidas para a avaliação de desempenho dos fornecedores e direcionamento para mudança de processos organizacionais. Evidenciou-se neste trabalho, que a maioria das empresas utiliza a ferramenta do TCO para a seleção de fornecedores, mas essas mesmas organizações não fazem a avaliação de desempenho com base no TCO. É importante lembrar que a seleção de fornecedores deveria estar relacionada com a avaliação do desempenho dos mesmos. O autor afirma que apenas 4 das 11 empresas de sua pesquisa utilizavam o modelo TCO para seleção e avaliação de fornecedores simultaneamente. Na verdade, as empresas pesquisadas pelo autor utilizam o TCO como ferramenta para coleta dos custos de transação e para a redução da quantidade de fornecedores.

ELLRAM e SIFERD (1998) desenvolveram um modelo em que apresentam os diferentes objetivos da adoção do TCO e as atividades do processo de compras que podem ser apoiadas pelas análises de custo total de propriedade. Para cada um dos objetivos: estratégico, tático e operacional os autores listaram as principais aplicações dos modelos de TCO.

No trabalho ELLRAM e SIFERD (1993) é apresentado um modelo de categorização que classifica os custos abordados pelo TCO em seis principais categorias de atividades: preço de compra, qualidade, entrega, comunicação, serviço e administração. Complementando este estudo ELLRAM (1993) indicou que dentre as seis categorias, aquelas que possuem os custos que mais frequentemente são utilizados para compor o TCO nas empresas são as relativas à qualidade e entrega. A categoria de serviço

também é encontrada com certa frequência, porém os custos nela incluídos podem variar bastante em cada caso.

Os trabalhos de MONKZCA e TRECHA (1988) e SMYTKA *et al.* (1993) combinam uma abordagem de custo total com sistemas de avaliação de critérios, tais como desempenho de entrega e serviços, para os quais é mais difícil se obter os parâmetros de custo. Todas as abordagens de custos são modelos aplicados a casos relativamente simples, nos quais os dados de custo podem ser reunidos pelo uso de planilha eletrônica.

TIMMERMAN (1986) propõe um método de relação de custo categórico para classificar fornecedores em três classes considerando dados históricos. Este método avalia e categoriza o desempenho de cada fornecedor considerando os custos indiretos. Esta abordagem quantifica todos os custos para cada produto comprado de um determinado fornecedor. O método coleciona todos os custos relacionados à qualidade, entrega e serviço e expressa estes custos como um benefício ou porcentagem de penalidade em preço de cada unidade de produto. Contudo, tal método é muito sensível à mudanças em desempenho e depende fortemente do julgamento humano.

Os trabalhos desenvolvidos com este enfoque utilizam frequentemente modelos de programação matemática, a seguir são apresentados alguns destes trabalhos.

BENTON (1991) apresenta um método para se definir o tamanho do lote no processo de compra. Os autores examinam os métodos com os quais os gerentes de materiais tomam decisões de quantidade ou tamanho do lote a se comprar e consideram decisões de desconto de quantidade sob condições de múltiplos itens com diversos fornecedores e recursos limitados. Baseado na formulação matemática mostrada a seguir, o autor

desenvolve uma heurística para solucionar o problema. São ainda apresentados diversos resultados computacionais, mostrando a real utilidade do método proposto.

A seguir são descritas as notações, os parâmetros e as variáveis que definem a formulação matemática do modelo proposto por BENTON.

### **Índice**

$i$  = produto

### **Parâmetros**

$V$  = investimento máximo com inventário;

$S$  = máximo espaço de armazenamento disponível;

$Q_i$  = quantidade comprada do produto  $i$ ;

$I$  = percentual anual do custo de seguro;

$R_i$  = demanda anual do produto  $i$ ;

$C_i$  = custo do pedido do produto  $i$ ;

$P_i$  = preço do produto  $i$ ;

$S_i$  = requerimento de armazenamento para cada unidade do produto  $i$ .

### **Função objetivo**

$$Z = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{R_i C_i}{Q_i} + \frac{1}{2} Q_i P_i I + R_i P_i \right] \quad (1)$$

### **Sujeito à:**

$$\ell_1 = I \sum_{i=1}^n \frac{P_i Q_i}{2} \leq V \quad (2)$$

$$\ell_2 = I \sum_{i=1}^n \frac{s_i Q_i}{2} \leq S \quad (3)$$

O primeiro termo da função objetivo captura os custos de pedido, o segundo refere-se aos custos com estoque e o terceiro refere-se aos custos com as compras dos produtos. A primeira restrição (2) assegura que o inventário seja inferior ao investimento predeterminado para tanto. A segunda (3) assegura que o espaço para armazenamento será suficiente.

DEGRAEVE *et al.* (1999) identificaram a estrutura hierárquica nas atividades de compra: a primeira é formada pelas atividades com o fornecedor, a segunda as atividades com os pedidos e o terceiro as atividades com o produto. As atividades com o fornecedor consideram os custos incorridos e as condições impostas, exemplos desses custos são os custos de auditoria do fornecedor, custos de administração da compra, etc. As atividades com os pedidos são os custos incorridos e as condições impostas cada vez que um pedido é realizado num determinado fornecedor, como por exemplo, custos de pedido, de recepção, de teste, de transporte, etc. As atividades com o produto consideram os custos de preço do produto, falha do produto, custos de estoque, etc. Deve ser notado que os custos para cada conjunto de atividades são independentes.

Os autores propõem um modelo de programação matemática que usa as informações baseada no TCO para selecionar fornecedores e determinar quantidades de pedido em diversos horizontes de tempo. O modelo leva em consideração quatro níveis hierárquicos de atividades em que os parâmetros podem ser subdivididos. São eles: nível do fornecedor, nível de ordem (pedido), nível do lote, nível da unidade. A seguir são descritas as notações, os parâmetros e as variáveis que definem a formulação matemática do trabalho.

## Índices

$s$  = fornecedores;

$t$  = período de tempo.

## Parâmetros

$S$  = conjunto de fornecedores .  $s = \{1,2, \dots, n\}$ ;

$T$  = conjunto de períodos de tempo.  $t = \{1,2,3,\dots, n\}$ ;

$mc_s$  = custo do profissional do fornecedor  $s$ ;

$slc$  = custos com fornecedores;

$maxb$  = máxima porcentagem de demanda comprada de um determinado fornecedor;

$mins$  = número mínimo de fornecedores para usar;

$maxs$  = máximo número de fornecedores para usar;

$vc_s$  = custo de fatura por pedido ao fornecedor  $s$ ;

$oc_s$  = custo do pedido ao fornecedor  $s$ ;

$olc$  = custo com a ordem do pedido;

$st_s$  = tempo de segurança imposto pelo comprador para compensar a incerteza da entrega do pedido do fornecedor  $s$ ;

$p_s$  = preço unitário do fornecedor  $s$ ;

$dc_s$  = desconto no preço por atraso do fornecedor  $s$ ;

$rc$  = custo de recepção;

$ls_s$  = tamanho do lote imposto pelo fornecedor  $s$ ;

$blc$  = custo com o lote;

$sc$  = custo de instalação;

$rf_s$  = desconto do produto usado fornecedor  $s$ ;

$ef_s$  = relativo a eficiência do fornecedor  $s$  (duração de um produto do fornecedor);

$pd_s$  = probabilidade de defeito do produto do fornecedor  $s$ ;

$b_s$  = estoque inicial do fornecedor  $s$ ;

$d_t$  = demanda do produto no tempo  $t$ ;

$h$  = custo de manutenção.

### **Variáveis de decisão**

$$z_s = \begin{cases} 1, & \text{se o fornecedor } s \text{ é escolhido} \\ 0, & \text{caso contrário } \forall s \in S \end{cases};$$

$$y_{st} = \begin{cases} 1, & \text{se é realidade uma compra do fornecedor } s \text{ no período } t \\ 0, & \text{caso contrário. } \forall s \in S, \forall t \in T \end{cases};$$

$x_{st}$  = quantidades de produtos comprados do fornecedor  $s$  no período  $t$ ,  $\forall s \in S$ ,  $\forall t \in T$ ;

$sd_{st}$  = consumo dos produtos do fornecedor  $s$  no período  $t$ ,  $\forall s \in S$ ,  $\forall t \in T$ ;

$inv_{st}$  = estoque de unidades comprada do fornecedor  $s$  no período  $t$ ,  $\forall s \in S$ ,  $\forall t \in T$ .

### **O modelo matemático**

$$\begin{aligned}
& \text{Min} \sum_{s \in P} mc z_s + \sum_{s \in P} \sum_{t \in M} (vc_s + oc_s) y_{st} + \sum_{s \in P} \sum_{t \in M} (p_s(1-dc_s) + rc) x_{st} + \sum_{s \in P} \sum_{t \in M} scs d_{st} + \sum_{s \in P} \sum_{t \in M} h \left( p_s \frac{(1-dc_s)}{ls_s} \right) inv_{st} \\
& - \sum_{s \in P} \sum_{t \in M} rf_s \left( \frac{p_s}{ls_s} \right) sd_{st} \tag{1}
\end{aligned}$$

**Sujeito à:**

$$\sum_{s \in P} ef_s (1 - pd_s) sd_{st} = d_t, \forall t \in T \tag{2}$$

$$b_s + ls_s x_{s(1-sts)} - inv_{s1} = sd_{s1}, \forall s \in S \tag{3}$$

$$inv_{st-1} + ls_s x_{s(t-sts)} - inv_{st} = sd_{st}, \forall s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\} \tag{4}$$

$$x_{st} \leq \left\lceil \frac{\sum_{l \in M, l \geq t} d_{l st}}{ls_s} \right\rceil y_{st}, \forall s \in S, \forall t \in T \tag{5}$$

$$\sum_{t \in M} x_{st} \leq \left\lceil \frac{\max b \sum_{t \in M} d_t}{ls_s} \right\rceil z_s, \forall s \in S \tag{6}$$

$$\sum_{s \in P} z_s \geq \min s \tag{7}$$

$$\sum_{s \in P} z_s \leq \max s \tag{8}$$

$$z_s \leq \sum_{t \in M} y_{st}, \forall s \in S \tag{9}$$

$$y_{st} \leq z_s, \quad s \in S, \forall t \in T \tag{10}$$

$$z_s \in \{0,1\} \forall s \in S \tag{11}$$

$$y_{st} \in \{0,1\}, x_{st} \in \{0,1,2,\dots\} \forall s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\} \tag{12}$$

$$sd_{st} \geq 0, inv_{st} \geq 0, s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\} \tag{13}$$

A primeira componente da função objetivo (1) refere-se aos custos incorridos sempre que a empresa comprar de um fornecedor  $s$ . A segunda componente refere-se aos custos incorridos quando em um período  $t$  for feito um pedido a um determinado fornecedor  $s$ . Esses custos consistem no custo de fatura e no custo de ordem da compra do fornecedor  $s$  no período  $t$ . A terceira componente refere-se aos custos incorridos na compra e na recepção do produto. Usualmente, os fornecedores permitem certa margem de tempo para o pagamento. Sendo assim o autor representou no modelo essa margem de tempo por um desconto do preço (que é uma porcentagem do preço da compra). Além disso, o custo do nível do lote consiste no custo da recepção incorrida devido à manipulação e armazenagem de cada lote no estoque. O custo da recepção,  $rc$ , é computado determinando todos os custos associados com o armazenamento de cada lote separado no estoque sempre que o pedido chega ao armazém. A quarta componente refere-se aos custos incorridos na instalação do produto, devido a problemas com os produtos comprados de um determinado fornecedor. A quinta refere-se aos custos com estoque. E finalmente a sexta componente refere-se aos custos com a revenda dos produtos usados que podem ser reciclados. As vendas são expressas pelos fornecedores como uma porcentagem no preço da unidade para ser aplicada às unidades consumidas do fornecedor  $s$  no tempo  $t$ .

Na restrição (2) as constantes determinarão o consumo por cada fornecedor em um período de tempo do horizonte de planejamento,  $sd_{st}$ . Observe que o consumo está associado a eficiência do produto e a probabilidade de um produto dar defeito. A restrição (3) garante que os produtos usados no primeiro período, devem se igualar ao estoque inicial, mais a aquisição no período e menos o estoque gerado no final do período. Para compensar a incerteza de entrega do provedor  $s$ , algumas organizações

preferem implementar um tempo de segurança,  $1 - s_{ts}$ , o que resulta em fazer o pedido mais cedo. Porém, isto pode resultar em custos adicionais, como por exemplo, planejamento e custos de instalação adicional, recepção adicional, que deviam ser levar em conta na função objetivo. A restrição (4) garante que o uso dos produtos, em cada período, deve considerar as compras no período e o estoque no período anterior. As condições da restrição (5) garantem que as compras devem respeitar a demanda futura, no período em que está realizando a compra. A restrição (6) garante que as compras totais devem respeitar as proporções de compra de cada fornecedor. As restrições (7) e (8) definem o intervalo de possíveis fornecedores a serem utilizados. As restrições (9) e (10) garantem a consistência do modelo, na escolha do fornecedor, e o uso dele nos períodos de compra. Para concluir a especificação do modelo as restrições (11), (12) e (13) definem a natureza binária e inteira das variáveis.

O modelo matemático de DEGRAEVE leva em consideração algumas dimensões que ainda não tinham sido modeladas na literatura de seleção de fornecedores. O modelo usa múltiplos horizontes de tempo de forma que as quantidades de pedidos e estoques possam ser determinados, ao contrário da abordagem tradicional onde a seleção de fornecedores e o gerenciamento de estoques são feitas de forma separada. Com relação aos resultados, o autor mostra no final do artigo uma tabela onde constam os resultados computacionais associados a três políticas de compras diferentes, destacando os pontos favoráveis e desfavoráveis de cada política.

DEGRAEVE *et al.* (2005) afirmam que o TCO reflete os recursos consumidos no desempenho das atividades de compras e mede todos os custos e benefícios dos relacionamentos da empresa com seus fornecedores. O uso de TCO segue uma

abordagem integrada, considerando-se o impacto das decisões de compra sobre a cadeia de valor da empresa. No trabalho, os autores apresentam uma matriz de custos TCO (ver Tabela 3) que representa todos os custos, descontos e restrições estratégicas, o que permite uma formulação de programação inteira mista.

		Aquisição	Recepção	Posse	Utilização	Descarte	Custo Total
Nível do fornecedor	Cash	Custo de cotação, Custo de contrato, Custo de acompanhamento, Custo de mudança					<i>slc</i>
	Non Cash						
Nível do produto	Cash				Custo de troca, Custo de treinamento de pessoal, Custo de adaptações		<i>plc</i>
	Non Cash						
Nível da pedido	Cash	Custo da ordem	Custo de transporte, Custo de recepção, Custo de nota fiscal, Custos de litígios				<i>olc</i>
	Non Cash						
Nível de pedido produto	Cash		Custos de testes de quantidade, Custos de testes de qualidade				<i>polc</i>
	Non Cash						
Nível de unidade	Cash	Preço e desconto, Evolução do preço, Atraso de pagamento  Custos de serviços, Custo de teste do produto .		Custo de Estoque	Eficiência intrínseca	desperdício	<i>ulc</i>
	Non Cash				Custos de falha na produção , Custos de falha do produto, Custos de manutenção, Custos de instalação, Custos de controle de qualidade		

Tabela 3 - Matriz de TCO resultante da pesquisa

A primeira dimensão da matriz (colunas) agrupa as atividades dentro da cadeia de valor da companhia, que representam os custos do ciclo de vida de produtos ou serviços, comprados externamente e que o comprador encara como aqueles que são significativos nas decisões de compra. As atividades destacadas pelo autor são: aquisição, recepção,

posse, uso, eliminação e custo total. A segunda dimensão da matriz consiste nos níveis hierárquicos da atividade de compra em toda a empresa, são eles: níveis com o fornecedor, o produto, o pedido, o pedido do produto, unidade.

Segundo os autores, o estudo de casos de diferentes grupos de produtos revelou cinco níveis de atividades e custos hierárquicos. Esta hierarquia identifica nível do fornecedor, do produto, de pedido, de pedido-produto, e o custo de unidade. O nível do fornecedor corresponde às atividades apenas quando certo fornecedor está sendo usado, sem serem afetados pelo número de produtos, número de pedidos e nem pela quantidade comprada. O nível do produto considera atividades e custos relacionados a obtenção de um dado produto de um dado fornecedor, independe do número de pedidos feitos e unidades compradas. O nível de pedido precisa ser executado cada vez que um pedido for solicitado ao fornecedor. O nível de pedido-produto corresponde as atividades e custos relacionados a recepção do produto como teste de quantidade e qualidade. Finalmente o nível de unidade que considera as atividades desempenhadas por unidade de produto como custo de estoque e manutenção.

O modelo proposto pelos autores visa minimizar o TCO em todos os níveis, bem como atender a demanda por um dado grupo de produtos em um período considerado. Os custos são divididos em: custos de compra, custos operacionais, custos de seguro de estoque, de vendas e/ ou descarte. As restrições do modelo forçam as condições impostas e os relacionamentos existentes, assim como o atendimento da demanda. A demanda, em cada período de tempo, é satisfeita por: estoque ou compras entrantes que permanecem como: “inventário de fim de período” para atender o próximo período. Para diferentes grupos de produtos, os autores desenvolvem uma abordagem de casos específicos e modelos de programação matemática que incorporam informações do

TCO no processo de tomada de decisão. A metodologia genérica desenvolvida pelos autores é um modelo de decisão aplicável a diferentes grupos de produtos, sendo esta uma inovação sobre o modelo proposto por DEGRAEVE *et al.* (1999).

A seguir são descritas as notações, os parâmetros e as variáveis que definem a formulação matemática.

### **Índices**

$i$  = número de fornecedores;

$j$  = número de produtos;

$k$  = período de tempo.

### **Parâmetros**

$S$  = conjunto de fornecedores .  $i = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$T$  = conjunto de períodos de tempo.  $t = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ;

$P$  = conjunto de produtos.  $k = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ;

$DT_i$  = conjunto de intervalos de desconto para total das compras do fornecedor  $i$ ;

$DP_{ij}$  = conjunto de intervalos para compras do produto  $j$  do fornecedor  $i$ ;

$qs_i$  = custo de cotação do fornecedor  $i$ ;

$cc_i$  = custo de contrato do fornecedor  $i$ ;

$mc_i$  = custo de *follow up* do fornecedor  $i$ ;

$rd_i$  = custo de mudança (troca) do fornecedor  $i$ , devido a pesquisa e desenvolvimento

$ce_{ij}$  = custo de substituição resultante da compra do produto  $j$  de fornecedor  $i$ ,

$tp_{ij}$  = custo de treinamento adicional para o uso do produto  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$ac_{ij}$  = custo de adaptação de sistemas para uso do produto  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$tc_i$  = custo de transporte, por pedido, quando se compra do fornecedor  $i$ ;

$oc_i$  = custo de pedido, por cada pedido ao fornecedor  $i$ ;

$rc_i$  = custo de recebimento, por pedido ao fornecedor  $i$ ;

$pn_i$  = probabilidade de se ter uma nota de crédito, por fatura de um fornecedor  $i$ ;

$vc_i$  = custo de fatura por pedido a um fornecedor  $i$ ;

$nc_i$  = custo da nota de crédito quando se compra de um fornecedor  $i$ ;

$qo_{ij}$  = custo de teste de quantidade do produto  $j$ , comprado de um fornecedor  $i$ ;

$qr_{ij}$  = custo de teste de qualidade do produto  $j$ , comprado de um fornecedor  $i$ ;

$qf_{ij}$  = frequência do teste de pedidos, entrando de um fornecedor  $i$ ;

$p_{ij}$  = preço do fornecedor  $i$  ao produto  $j$ ;

$\overline{p_j}$  = preço médio do produto  $j$  para ser aplicado aos custos de seguro do inventário;

$pe_{ij}$  = evolução de preço indicada por um fornecedor  $i$  para um produto  $j$ ;

$re_{ij}$  = eficiência do produto  $j$  de um fornecedor  $i$ , relativo à demanda;

$dp_i$  = desconto no preço como %, devido a atrasos no pagamento ao fornecedor  $i$ ;

$rb_{ij}$  = porcentagem de produtos usados  $j$ , do fornecedor  $i$  e que pode ser reciclado;

$pb_{ij}$  = recompra de produto usado  $j$ , de um fornecedor  $i$ ;

$se_i$  = percentual do preço do fornecedor  $i$  por serviços fornecidos;

$h_j$  = custo de seguro de inventário do produto  $j$ ;

$if_{ij}$  = custo de falha na produção causada por produto  $j$  do fornecedor  $i$ ;

$ir_{ij}$  = custo de substituição resultante de falha da produção causada pelo produto  $j$ , do fornecedor  $i$ ;

$pi_{ij}$  = probabilidade de falha na produção causada pelo produto  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$ef_{ij}$  = custo da falha do produto (no cliente) causado por um componente  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$er_{ij}$  = custo de substituição resultante de um produto defeituoso no cliente, causado por um componente  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$pe_{ij}$  = probabilidade do produto defeituoso  $j$  no cliente de um fornecedor  $i$ ;

$mu_{ij}$  = custo de manutenção por unidade do produto  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$iu_{ij}$  = custo de instalação por unidade de produto  $j$  de um fornecedor  $i$ ;

$qu_{ij}$  = custo de controle de qualidade por unidade do produto  $j$  de um fornecedor  $i$ .

$d_{jk}$  = demanda do produto  $j$  no período  $k$ ;

$ls_{ij}$  = tamanho do lote liberado do produto  $j$  de um fornecedor  $i$ .

### **Variáveis de decisão**

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{se o fornecedor } i \text{ é escolhido} \\ 0, & \text{caso contrário } \forall i \in P \end{cases};$$

$$y_{kij} = \begin{cases} 1, & \text{se for comprado o produto } j \text{ do fornecedor } i \\ 0, & \text{caso contrário. } \forall i \in S, \forall j \in P \end{cases};$$

$$y_{jik} = \begin{cases} 1, & \text{se comprar do fornecedor } i \text{ no período } k \\ 0, & \text{caso contrário. } \forall i \in S, \forall k \in T \end{cases};$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{se comprar o produto } j \text{ do fornecedor } i \text{ no período } k \\ 0, & \text{caso contrário. } \forall i \in S, \forall j \in P \text{ e } \forall k \in T \end{cases};$$

$x_{ijk}$  = quantidade (em lotes) de produtos  $j$  comprados ao fornecedor  $i$ , no período  $k$   
com  $\forall_i \in S, \forall_j \in P$  e  $\forall_k \in T$ ;

$vi_{jk}$  = estoque de produto  $j$  no final do período  $k$ , com  $\forall_j \in P$  e  $\forall_k \in T$ .

### A Função Objetivo

$$\text{Min } TCO = slc + plc + olc + polc + ulc \quad (1)$$

Onde:  $slc = \sum_{i \in S} (qs_i + cc_i + mc_i + rd_i) * Z_i$

$$plc = \sum_{i \in S} \sum_{j \in P} (ce_{ij} + tp_{ij} + ac_{ij}) * yk_{ij}$$

$$olc = \sum_{i \in S} \sum_{k \in T} (tc_i + oc_i + rc_i + vc_i + nc_i * pn_i) yj_{ik}$$

$$polc = \sum_{i \in S} \sum_{j \in P} \sum_{k \in T} ((qo_{ij} + qr_{ij}) * qf_{ij}) * y_{ijk}$$

$$ulc = aulc + purc + invc - rev$$

$$aulc = \sum_{i \in S} \sum_{j \in P} \sum_{k \in T} ((if_{ij} + ir_{ij}) * pi_{ij} + (ef_{ij} + er_{ij}) * pe_{ij} + qu_{ij} + mu_{ij} + iu_{ij}) * ls_{ij} * x_{ijk}$$

$$purc = \sum_{i \in S} x d j l_i$$

$$inv = \sum_{j \in P} \sum_{k \in T} h_j * \bar{p}_j * vi_{jk}$$

$$rev = \sum_{i \in S} \sum_{j \in P} \sum_{k \in T} rb_{ij} * pb_{ij} * ls_{ij} * x_{ijk}$$

**Sujeito à :**

$$vi_{jk-1} + \sum_{i \in S} (1/re_{ij}) * ls_{ij} * x_{ijk} - vi_{jk} = d_{jk}, \forall j \in P, \forall k \in T \quad (2)$$

$$ls_{ij} * x_{ijk} \leq \left( \sum_{t=k}^{|T|} d_{jt} \right) y_{ijk}, \forall i \in S, \forall j \in P, \forall k \in T \quad (3)$$

$$y_{ijk} \leq yj_{ik}, \forall i \in S, \forall j \in P, \forall k \in T \quad (4)$$

$$y_{ijk} \leq yk_{ij}, \forall i \in S, \forall j \in P, \forall k \in T \quad (5)$$

$$yj_{ik} \leq z_i, \forall i \in S, \forall k \in T \quad (6)$$

$$yk_{ij} \leq z_i, \forall i \in S, \forall j \in P. \quad (7)$$

$$\sum_{l \in DP_{ij}} xd_{ijl} = \sum_{k \in T} p_{ij} * ls_{ij} * x_{ijk}, \forall i \in S, \forall j \in P; \quad (8)$$

$$lb_{ijl} * w_{ijl} \leq xd_{ijl} \leq ub_{ijl} * w_{ijl}, \forall i \in S, \forall j \in P, \forall l \in DP_{ij}; \quad (9)$$

$$\sum_{l \in DP_{ij}} w_{ijl} \leq yk_{ij}, \forall i \in S, \forall j \in P; \quad (10)$$

$$\sum_{l \in DP_{ij}} xdj_{il} * xdj_{il} = \sum_{j \in P} \sum_{l \in DP_{ij}} (1-dc_{ijl}) * xd_{ijl} + (1-a_{ij}) * \left( \left( \sum_{t \in DP_{ij}, t < l} (1-dc_{ijt}) \right) - (1-dc_{ijl}) * lb_{ijl} \right) * w_{ijl}, \quad (11)$$

$\forall i \in S;$

$$\sum_{l \in DT_i} wj_{il} = z_i, \forall i \in S; \quad (12)$$

$$min v_j \leq vi_{jk} \leq max v_j, \forall j \in P, \forall k \in T; \quad (13)$$

$$mis \leq \sum_{i \in S} z_i \leq mas; \quad (14)$$

$$mij_i * \left( \sum_{i \in S} xdj_{l_i} \right) \leq xdj_{l_i} \leq maj_i * \left( \sum_{i \in S} xdj_{l_i} \right), \forall i \in S; \quad (15)$$

$$z_i \in \{0,1\}, wk_{i1} \in \{0,1\}, y_{j_{ik}} \in \{0,1\}, y_{k_{ij}} \in \{0,1\}, w_{ijl} \in \{0,1\}, y_{ijk} \in \{0,1\} \\ \forall i \in S, \forall j \in P, \forall k \in T, \forall l \in DT_i, \forall l \in DP_{ij}; \quad (16)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1,2,3,\dots\} \forall i \in S, \forall j \in P \text{ e } \forall k \in T. \quad (17)$$

A primeira componente da função objetivo (1) acima refere – se aos custos incorridos sempre que a empresa comprar de um fornecedor  $i$ . A segunda componente refere-se aos custos com a compra do produto  $j$ . A terceira refere-se aos custos incorridos quando em um período  $k$  for feito pelo fornecedor  $i$ . A quarta relaciona os custos com o fornecedor  $i$  na compra do produto  $j$ , no período  $k$ . E a quinta componente corresponde aos custos de compra do produto  $j$  do fornecedor  $i$  no período  $k$

A primeira restrição (2) corresponde à satisfação da demanda. As condições da restrição (3) garantem que as compras devem respeitar a demanda futura, no período em que se está realizando a compra. As restrições (4), (5), (6) e (7) asseguram as relações entre as variáveis de decisão. A restrição (8) corresponde a quantidade de produtos unitários comprados ao longo de todos os intervalos de descontos. A restrição (9) força a compra de uma quantidade dentro de um único intervalo de desconto específico. A restrição (10) relaciona as variáveis de desconto e de indicador de fornecedor e a restrição (11) corresponde ao total de compras de cada fornecedor em todos os intervalos de desconto. As restrições (12) e (13) garantem respectivamente a compra dentro de algum intervalo de desconto por cada fornecedor e que o estoque está entre o limite superior e inferior. As restrições (14) e (15) garantem os limites sobre o número de fornecedores e os

limites sobre o volume de compra de cada fornecedor, respectivamente. E finalmente as restrições (16) e (17) asseguram a natureza das variáveis.

Por se tratar de um conceito relativamente novo, existem poucos modelos na literatura que consideram o custo total de propriedade. A grande maioria dos modelos encontrados são modelos aplicados, como grande parte dos trabalhos de DEGRAEVE, que tratam de estudo de caso diversas organizações.

#### IV. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA NUCLEO DE TCO

Como visto no capítulo III, TCO serve para antever os custos a serem incorridos em um produto durante toda a sua vida consumível e inclusive no momento de seu descarte, podendo ser, portanto, utilizado por todas as áreas e para todos os tipos de produtos. Neste capítulo é apresentado um modelo conceitual de TCO, para o qual é desenvolvido um modelo matemático. Em seguida é mostrada uma implementação computacional deste modelo num software e as interfaces do modelo no software utilizado.

##### IV.1. Modelo Matemático núcleo de TCO

O modelo matemático proposto consiste em um modelo núcleo de TCO que é baseado no modelo matemático proposto por DEGRAEVE *et al.* (1999). A diferença entre o modelo de DEGRAEVE *et al.* (1999) e o modelo matemático núcleo é que o primeiro é um modelo aplicado a uma situação real com suas particularidades e o modelo núcleo é um modelo básico que contém os aspectos principais que definem o TCO. Este modelo básico pode, via adição e/ ou modificação de objetivos e restrições, originar outros modelos mais específicos de TCO.

O problema pode ser definido como:

Dados:

- Um conjunto de produtos;
- Um período de demanda para cada produto;
- Um conjunto de fornecedores potenciais;

- Uma política de estoque;
- Os custos associados a cada fornecedor.

Queremos saber

- Quais fornecedores deveram ser escolhidos?
- Quais são as quantidades de cada um dos produtos que deverão ser adquiridos de cada fornecedor?
- Em que intervalos de tempo os produtos deveram ser adquiridos?

Com o objetivo de minimizar o custo total de propriedade satisfazendo as restrições do problema.

O modelo núcleo leva em consideração aspectos quantitativos e qualitativos do enfoque de TCO, que possam ser usados em um sistema de apoio à decisão. O modelo proposto visa minimizar o TCO atendendo a demanda por um determinado produto em um período de planejamento de compras. Os custos são divididos em: custos de escolha, custos de aquisição, custos de manutenção, custos de estoque e custos com descarte. As restrições do modelo forçam as condições impostas e os relacionamentos existentes entre as variáveis.

A seguir são descritas os parâmetros e as variáveis que definem a formulação matemática do modelo proposto.

### **Índices**

$s$  = fornecedores;

$t$  = tempo.

## Parâmetros

$T$  = conjunto de períodos de tempo.  $t = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;

$S$  = conjunto de fornecedores.  $s = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;

$ce_s$  = custo com a escolha do fornecedor  $s$ ;

$ca_s$  = custo com aquisição do fornecedor  $s$ ;

$p_s$  = preço do produto do fornecedor  $s$ ;

$ci_s$  = custo de instalação do fornecedor  $s$ ;

$cd_s$  = custo com o descarte do produto do fornecedor  $s$ ;

$cs_{st}$  = custo com estoque dos produtos do fornecedor  $s$  no período  $t$ ;

$cm_{st}$  = custo de manutenção do produto do fornecedor  $s$  no período  $t$ ;

$ef_s$  = eficiência de um produto do fornecedor  $s$ ;

$d_t$  = demanda do produto no tempo  $t$ ;

$minf$  = número mínimo de fornecedores a serem utilizado;

$maxf$  = número máximo número de fornecedores a serem utilizado;

$maxpc$  = máximo percentual de quantidade de produtos comprados de qualquer fornecedor .

$s_{s0}$  = estoque inicial do fornecedor  $s$ ,  $\forall s \in S$ .

## Variáveis de decisão:

$$z_s = \begin{cases} 1, & \text{se o fornecedor } s \text{ é escolhido} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall s \in S ;$$

$$y_{st} = \begin{cases} 1, & \text{se é realizada uma compra do fornecedor } s \text{ no período } t, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad \forall s \in S, \forall t \in T ;$$

$x_{st}$  = quantidades de produtos comprados do fornecedor  $s$  no período  $t$ .  $\forall s \in S, \forall t \in T$ ;

$w_{st}$  = consumo dos produtos do fornecedor  $s$  no período  $t$ .  $\forall s \in S, \forall t \in T$ .

$s_{st}$  = estoque dos produtos comprados do fornecedor  $s$  no período  $t$ .  $\forall s \in S, \forall t \in T$ ;

Dados estes parâmetros de decisão e variáveis o problema pode ser definido como:

### Problema Núcleo TCO

$$\text{Min} \sum_{s \in S} ce_s z_s + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} ca_s y_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} p_s x_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} (ci_s + cd_s) w_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} cm_{st} w_{st} + \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} cs_{st} s_{st} \quad (1)$$

**Sujeito à:**

$$\sum_{s \in S} ef_s w_{st} = d_t, \quad \forall t \in T; \quad (2)$$

$$s_{st} = s_{s \ t-1} + x_{st} - w_{st}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T; \quad (3)$$

$$x_{st} \leq \sum_{l \in m, l \geq t} d_l y_{st}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T; \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} z_s \geq \text{min}f; \quad (5)$$

$$\sum_{s \in S} z_s \leq \text{max}f; \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} x_{st} \leq \max pc \sum_{t \in T} d_t z_s, \quad \forall s \in S; \quad (7)$$

$$z_s \leq \sum_{t \in T} y_{st}, \forall s \in P; \quad (8)$$

$$z_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in S; \quad (9)$$

$$y_{st} \in \{0,1\}, \quad x_{st} = \{0,1,2,\dots\}, \quad \forall s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\}; \quad (10)$$

$$w_{st} \geq 0, \quad s_{st} \geq 0, \quad s \in S, \forall t \in T \setminus \{1\}. \quad (11)$$

Na função objetivo (1) do Problema Núcleo TCO cada parcela se refere a um determinado tipo de custo. Assim sendo a primeira parcela se refere aos custos com a escolha de fornecedores, as demais parcelas se referem respectivamente aos custos de pedido, de compra, de instalação e de descarte de produto utilizado, com a manutenção

do produto de um determinado fornecedor por um período determinado e por fim os custos de estoque.

Com relação às restrições tem-se que: as restrições (2) garantem que os produtos comprados dos fornecedores, devem satisfazer a demanda, em cada período de tempo. As restrições (3) garantem que o uso dos produtos, em cada período, deve considerar as compras no período e o estoque no período anterior, além de garantir que a quantidade de produtos usados no primeiro período deve ser igual ao estoque inicial mais a aquisição no período e menos o estoque gerado no final do período. As restrições (4) garantem que as compras num período de tempo devem respeitar a demanda atual e futura. As restrições (5) e (6) definem as quantidades mínima e máxima de possíveis fornecedores serem utilizados. As restrições (7) garantem que as compras realizadas de cada fornecedor devem ser limitadas a uma determinada fração, dada pelo fator  $maxpc$ . As restrições (8) garantem a consistência do modelo na escolha do fornecedor, ou seja, compras só poderão ser feitas de um fornecedor se ele tiver sido escolhido em um dado período. Finalmente as restrições (9), (10) e (11) definem a natureza binária, inteira e Real não negativa das variáveis de decisão.

#### IV.2 Ferramenta de Implementação do modelo matemático

O modelo de núcleo foi implementado no software *Aimms*. Segundo Ignácio e Ferreira Filho (2004), o *Aimms - Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software* oferece um ambiente de desenvolvimento abrangente, no qual pessoas experientes em modelagem podem criar plenamente aplicações funcionais, prontas para serem usadas por pessoas mais leigas ou usuários finais.

#### IV.2.1. Interfaces com o usuário final

Nesta parte do trabalho são apresentados exemplos das interfaces que foram desenvolvidos no *software* que facilitam o usuário final. A barra de ferramentas principal do aplicativo, a barra de menus (ver Figura 4), é composta de comandos usuais de aplicativos para *Windows*: File, Edit, Data, Window, Help; e comandos específicos do sistema: Run, Entradas e Saídas serão descritos a medida que forem sendo usados. Na barra principal também estão dispostos uma série de ícones que facilitam o acesso aos diversos comandos do sistema. A opção “Entradas” corresponde aos dados de entrada do modelo matemático implementado e está dividida em cinco subitens. O primeiro subitem corresponde aos custos referentes a cada fornecedor, o segundo, corresponde à demanda utilizada, o terceiro, a dados do fornecedor em função do tempo; o quarto a dados custos que dependem apenas do tempo; e o quinto aos parâmetros do modelo que o usuário deverá definir a cada rodada.



Figura 4 – Interface do menu principal do *software*

A interface mostrada na Figura 5 corresponde aos custos de cada fornecedor. Todos esses custos estão atrelados ao preço em termos percentuais. Observe que a interface

além de fornecer os dados de entrada de cada fornecedor, apresenta o gráfico correspondente a esses custos.

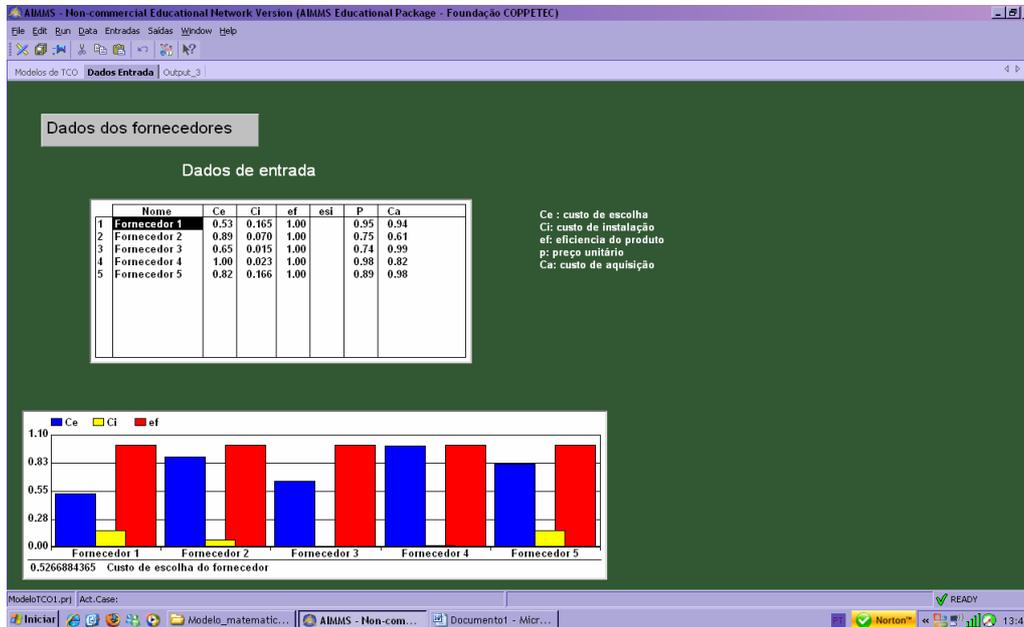


Figura 5 – Interface dos dados dos fornecedores

A Figura 6 ilustra a interface com o usuário final referente à demanda dos produtos. Nessa interface são apresentados dois gráficos: um gráfico ilustra o comportamento da demanda ao longo do horizonte de planejamento e o outro gráfico representa função acumulada da demanda.

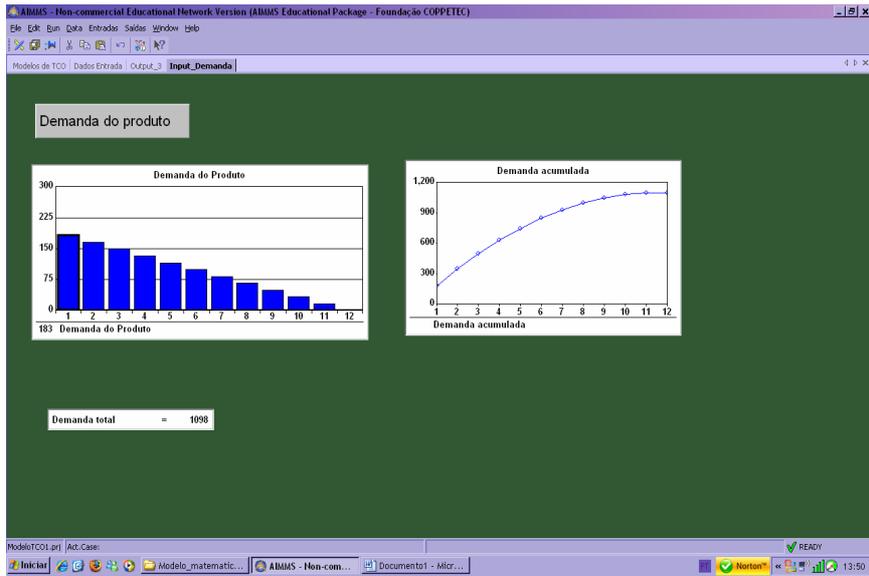


Figura 6 – Interface da demanda do produto

A Figura 7 apresenta a interface gráfica que define os custos que estão atrelados ao fornecedor e a cada período de tempo, considerando o horizonte de planejamento pré-determinado, como os custos com a manutenção e com estoque do produto.

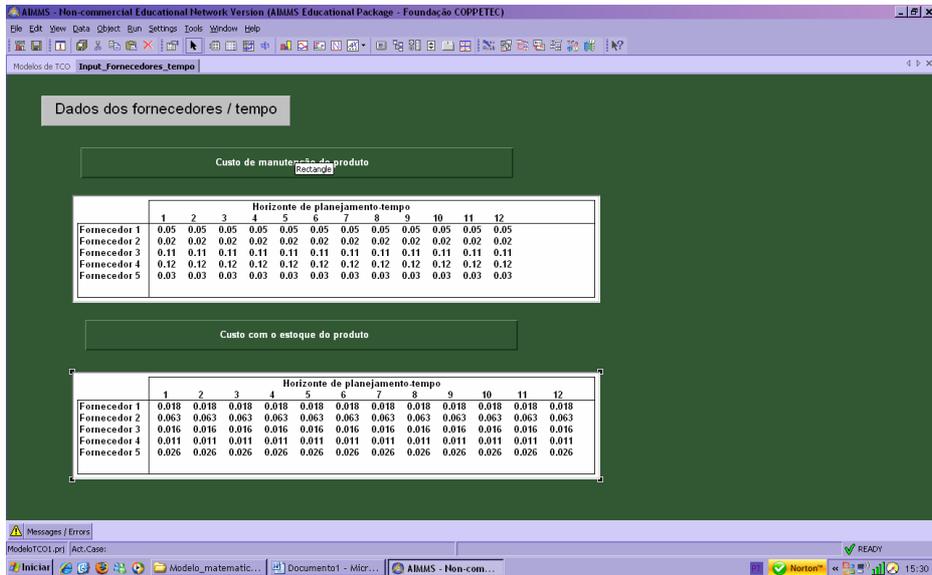


Figura 7 – Interface dos dados dos fornecedores relacionados ao tempo

A Figura 8 ilustra os parâmetros que são padrões para todos os fornecedores, tais como aqueles que definem a estratégia do comprador, por exemplo: número máximo e mínimo de fornecedores e percentual máximo de compra por fornecedor.

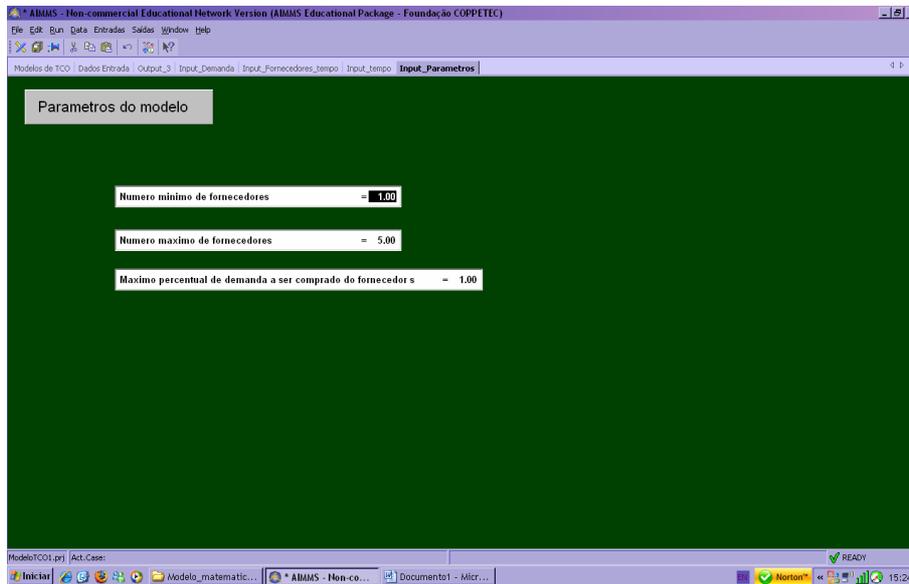


Figura 8 – Interface dos parâmetros do modelo

A opção “Saídas” , mostrada na Figura 9, é constituída por três subitens que são: “Produtos comprados-Custos”; “Produtos comprados-Estoque” e “Custo no ciclo de vida do produto”, em cada uma dessas constam respectivamente os resultados dos produtos comprados, a política de compra destes produtos e o gráfico do custo no ciclo de vida do produto ao longo do horizonte de planejamento pré determinado.

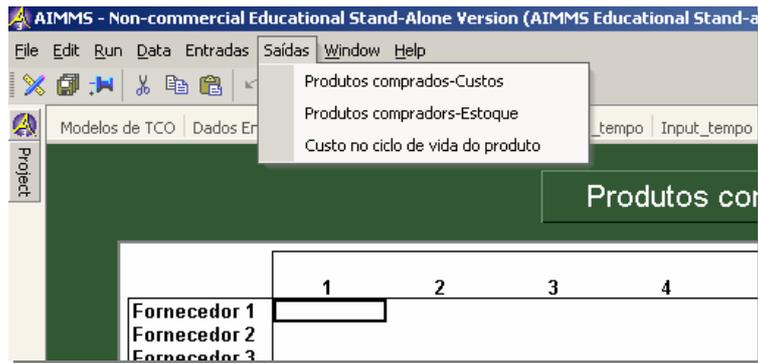


Figura 9 - Saídas do modelo

Dados os parâmetros de entrada, ilustrados anteriormente, a Figura 10 mostra a interface dos resultados referente a quantidade de produtos que deve ser adquirida em cada um dos períodos considerados, além de apresentar cada um dos custos que definem o TCO do fornecedor escolhido, tais como: custo de estoque, de fornecedor, de instalação, de produtos etc. Apesar do gráfico (figura 10) a seguir ilustrar uma relação da demanda com consumo dos produtos unitária, isto nem sempre é verdadeiro e só acontece naquelas situações onde a eficiência do produto é 100%.

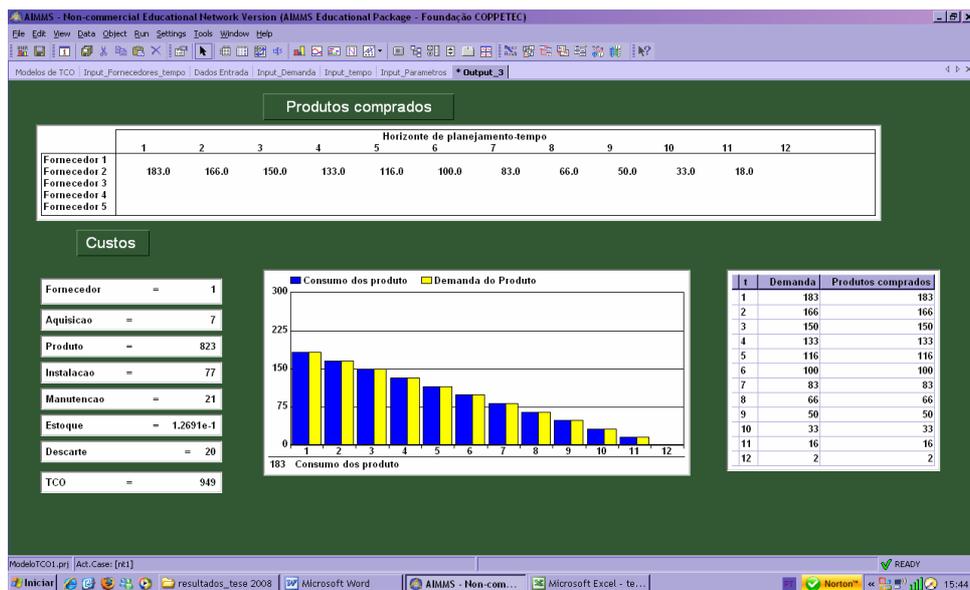


Figura 10 – Interface dos custos do fornecedor escolhido

A Figura 11 apresenta o resultado obtido pelo modelo da quantidade comprada de produtos, a quantidade usada e o nível de estoque. São mostradas as tabelas referentes as quantidades de produtos comprados, utilizados e estocados do fornecedor escolhido. As tabelas fornecidas pelo software representam os níveis de estoque para cada um dos períodos analisados, ou seja, as quantidades de produtos disponíveis no estoque. Isso significa que as compras, em um determinado período, podem exceder a demanda e serem estocadas.

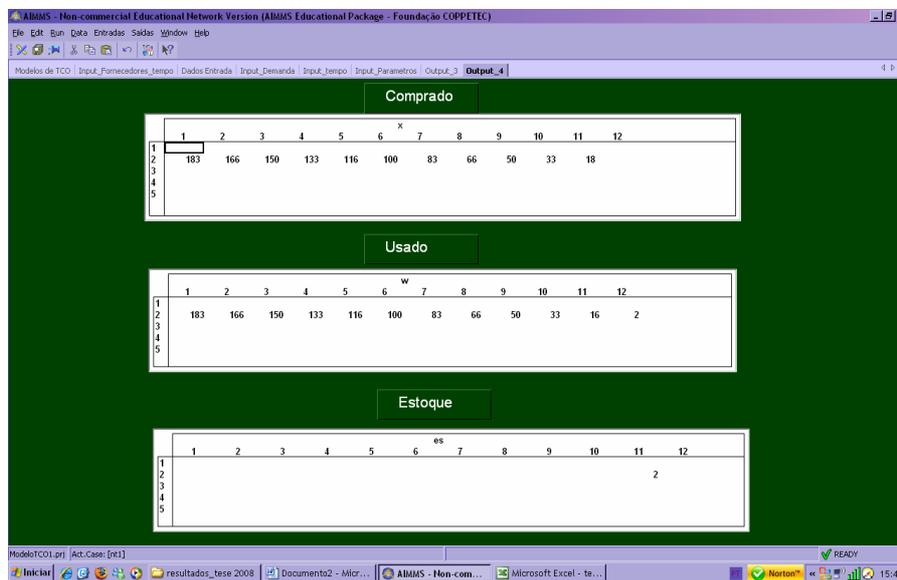


Figura 11 – Interface dos resultados dos produtos comprados, usados e estocados

E finalmente a Figura 12 ilustra os gráficos com os custos incorridos ao longo do horizonte de planejamento e seus custos acumulados.

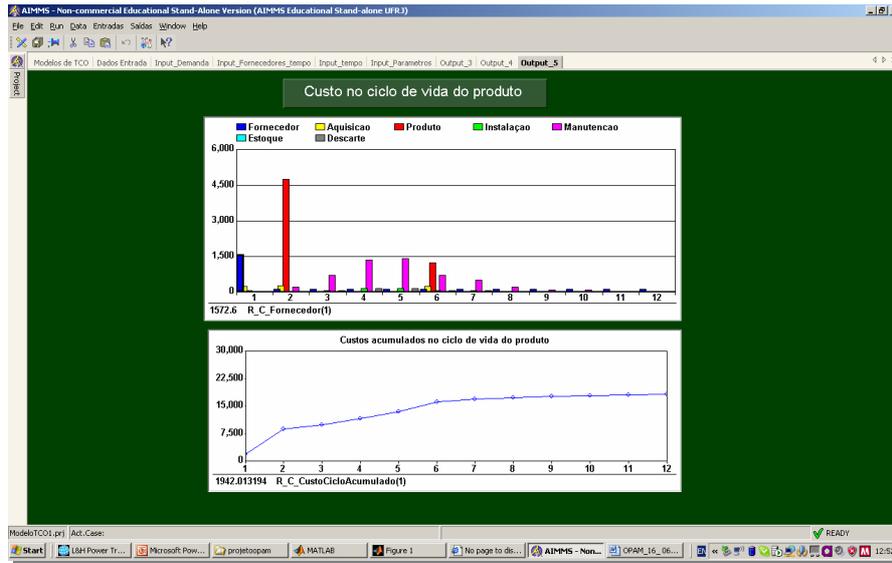


Figura 12 – Interface gráfica dos custos no ciclo de vida do produto

## V. CLASSIFICAÇÃO DE SENSIBILIDADE AO TCO

Este capítulo inicia-se com a apresentação de uma estrutura de classificação na qual são caracterizados nove diferentes cenários. Foram construídas diversas situações de compras fictícias segundo uma metodologia de geração de problemas que correspondem a estes nove cenários. Por fim é mostrada um exemplo ilustrativo do modelo matemático proposto para uma das diferentes situações geradas.

### V. 1. Matriz de Classificação de Sensibilidade ao TCO

Nesta seção é apresentada uma estrutura de classificação de problema de TCO através uma da matriz que define nove diferentes cenários, conforme ilustrado na Figura 13. A principal motivação para criação desta matriz foi auxiliar na identificação de situações de compras que geram custos internos representativos para o comprador.

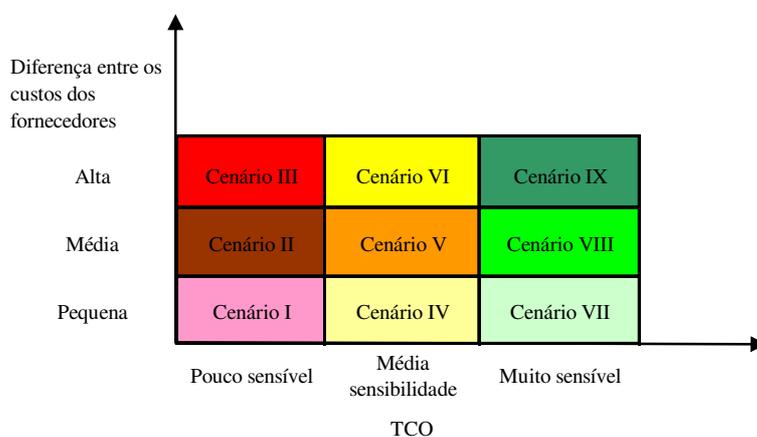


Figura 13 - Matriz classificação de sensibilidade ao TCO

Essa matriz contempla duas dimensões essenciais, são elas: o grau de sensibilidade do problema ao TCO e a diferença entre os custos dos fornecedores. A dimensão representada pelo o eixo horizontal, o grau de sensibilidade, está dividida em: pouco,

médio e muito sensível. A dimensão representada pelo eixo vertical, consiste na diferença dos custos entre fornecedores, classificado-se em: pequena, media e alta diferenciação.

Um produto será pouco sensível ao TCO se possuir maior parte dos seus custos externos, ou seja, custos que estão exteriorizados à organização. Por outro lado um produto é muito sensível ao TCO se gera custos elevados ao longo do seu ciclo de vida, como por exemplo, custo com a manutenção do produto e com o estoque.

Podemos classificar todos os custos incorridos no ciclo de vida do produto em custos internos e custos externos. A sensibilidade ao TCO pode ser dividida em baixa, média e alta sensibilidade conforme ilustrado na Figura 13.

A baixa sensibilidade ocorre nos casos em que os custos internos correspondem a um percentual muito pequeno dos custos totais, como pode ser visto na Figura 14.

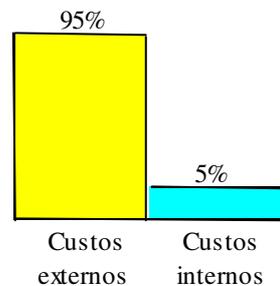


Figura 14 - Baixa sensibilidade

A sensibilidade pode ser considerada média quando os custos internos possuem representatividade mediana, ou seja, quando os percentuais dos custos internos não são tão baixos, nem tão altos, como mostra a Figura 15.

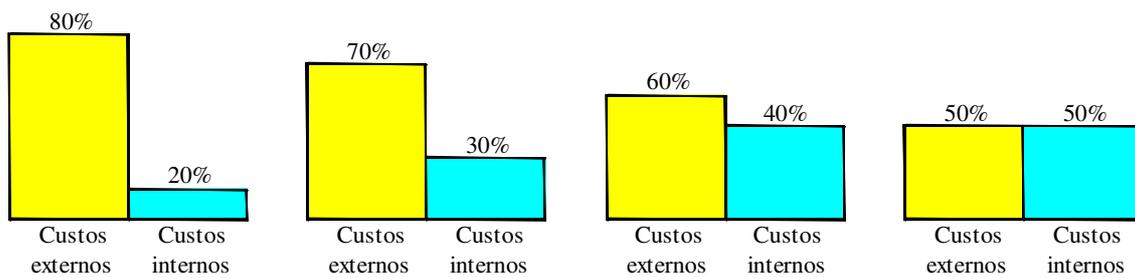


Figura 15 - Média sensibilidade

A alta sensibilidade é caracterizada quando os custos internos possuem grande representatividade nos custos totais de um determinado produto, ou seja, quando os custos internos ultrapassarem os custos externos (ver Figura 16).

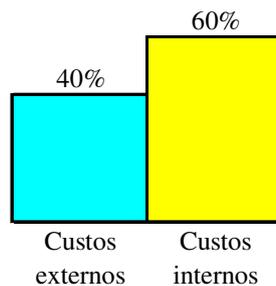


Figura 16 - Alta sensibilidade

Entretanto não é fácil classificar o quão sensível um produto é em relação ao TCO, ou seja, estabelecer as divisas entre alta, média e baixa sensibilidade do produto ao TCO. Por esse motivo a sensibilidade foi estabelecida neste trabalho conforme mostrado na Tabela 4.

Pouco sensível	Custos internos menores ou igual a 10% dos custos totais
Sensibilidade média	Custos internos maiores 10% e menores ou igual 50% dos custos totais
Muito sensível	Custos internos maiores que 50% dos custos totais

Tabela 4 - Classificação da Sensibilidade

Quanto a diferença entre os custos dos fornecedores, devido a sua complexidade, a margem de classificação estabelecida neste trabalho foi determinada conforme a Tabela 5.

Pequena	Se a diferença entre os custos dos fornecedores for menor ou igual a 30%
Média	Se a diferença entre os custos dos fornecedores for que 30% e menor ou igual a 60%
Alta	Se a diferença entre os custos dos fornecedores for maior que 60%

Tabela 5 - Diferença entre os custos dos fornecedores

## V.2. Processo de geração de problemas exemplos

A necessidade de testar o modelo sob os mais diversos aspectos, determinou a geração numérica de diversos problemas exemplos. É importante ressaltar que um problema é definido pelo número de fornecedores, seus custos associados e por uma determinada demanda.

Inicialmente foram gerados os custos internos e externos aleatoriamente para poder ser explorado as diversas situações possíveis. Entretanto, conforme pode ser visto no modelo núcleo, o número de variáveis dos custos internos é maior que o número de custos externos. Observaram-se números muitos elevados de situações com

características de média e alta sensibilidades, e poucas ou nenhuma situações que não enquadraram-se em todos os cenários de baixa sensibilidade. Ocorrendo situações em que conjunto dos custos gerados encontravam-se apenas numa das categorias de diferença entre os custos dos fornecedores (cenários I, II, III). Por esse motivo, fez-se uma nova geração de custos, ponderando os custos internos e externos para gerar situações mais equilibradas de forma que as gerações contemplem as diversas situações da matriz classificação.

Sendo assim o processo de geração de um problema foi dividido em três processos paralelos:

a) A geração de dados dos custos de um determinado número de fornecedores; os quais incluem informações completas sobre os fornecedores; isto é:

- Custos externos dos fornecedores, tais como: custo com a escolha do fornecedor (CE), com a aquisição do produto do fornecedor (CA) e seu preço unitário (P);
- Custos internos dos fornecedores, tais como: custo com a instalação do produto do fornecedor (CI), com a manutenção do produto do fornecedor (CM), custo com o estoque (Cest), e custo com o descarte do produto (CD);

b) A geração da eficiência de cada fornecedor; esta eficiência é um fator de grande relevância para o modelo matemático, porque ela é inversamente proporcional ao consumo dos produtos comprados. Portanto se um produto é pouco eficiente, esse deverá ser comprado em maior quantidade para suprir demanda prevista.

c) A geração da demanda.

## V. 2. 1 Geração dos custos

Com a ajuda da ferramenta geração de números aleatório do Excel, foram gerados números, com os seguintes parâmetros:

Número de variáveis: 7

Quantidades de números aleatórios: 1030

Parâmetros entre 0 e 1

Distribuição uniforme

Não foi especificada a semente aleatória

Depois de gerados esses números foram efetuados os seguintes passos:

Passo 1: Foram associados a cada um dos parâmetros de custos do modelo de TCO, as setes variáveis geradas aleatoriamente, entre 0 e 1;

Passo 2: De forma a equilibrar a relação entre os custos internos e externos aquelas variáveis relacionadas aos custos internos foram multiplicadas por 3/5;

Passo 3: cada linha gerada, constituída pelos custos internos e externos representa a oferta de um determinado fornecedor. Logo foram geradas 1030 ofertas de compras de fornecedores diferentes;

Passo 4: Foram calculados os percentuais dos custos internos (%CI) de cada fornecedor em relação ao somatório de todos os custos gerados ( custos totais) de cada linha gerada (cada oferta);

Passo 5: Depois de calculados os percentuais de CI, as ofertas de compra foram classificadas em de baixa, média ou alta sensibilidade, conforme a classificação de sensibilidade apresentada na seção anterior (Tabela 4). As 1030 ofertas geradas foram separadas em 45 são de baixa sensibilidade, 575 são de média sensibilidade e 410 são de alta sensibilidade;

Passo 6: De forma a compor os problemas teste as ofertas de compra foram agrupadas cinco a cinco, selecionadas aleatoriamente em cada grupo de classificações. Cada grupo de ofertas de compras é chamada de uma **situação de compra**. Por consequência, as 45 ofertas de compras de baixa sensibilidade, foram dividida em 9 diferentes **situações de compras**, as 575 ofertas de compra de média sensibilidade tornaram-se 115 diferentes **situações de compras** e as 410 ofertas de alta sensibilidade tornaram-se 82 diferentes **situações de compras**;

Passo 7: Depois de obtidas cada uma das **situações de compras**, elas foram classificadas quanto a diferenciação entre os custos de cada oferta (fornecedor). Esta diferenciação entre os custos dos fornecedores de cada **situação de compra** é caracterizada pelo coeficiente de variação (relação entre o desvio padrão e a média) dos custos das ofertas participantes de cada situação;

Passo 8: Por fim depois de determinada a diferenciação entre os custos de cada oferta de cada **situação de compra**, estas foram classificadas em cada um dos cenários definidos anteriormente na seção V.1. Na Tabela 6 pode ser visualizada a quantidade de **situações de compras** geradas com as características dos nove cenários da matriz sensibilidade.

	Pouco Sensível ao TCO	Média Sensibilidade ao TCO	Muito Sensível ao TCO
Alta diferença entre os fornecedores	1	2	4
Média diferença entre os fornecedores	3	12	11
Pequena diferença entre os fornecedores	4	101	67
Total de situações de compras	9	115	82
Total de oferta de compras geradas	45	575	410

Tabela 6 – **Situações de compras geradas**

### V. 2. 2 Geração do índices de eficiência

Os índices de eficiência (ef) foram gerados de acordo com os seguintes parâmetros:

Número de variáveis: 1

Quantidades de números aleatórios: 1030

Parâmetros entre 0 e 1

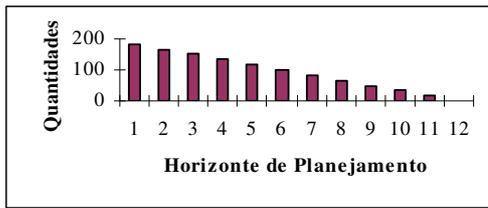
Distribuição uniforme

Não foi especificada a semente aleatória

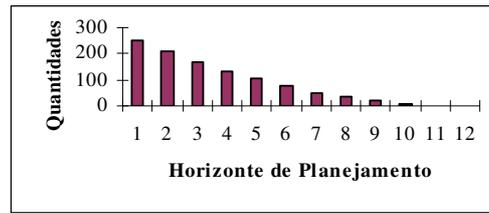
### V. 2. 3 Geração das demandas

As demandas foram obtidas de forma semelhante aquelas descritas em GARCIA e FERREIRA FILHO (2007). Estas demandas foram geradas segundo uma distribuição Beta, a qual foi usada por permitir uma grande variedade de formatos em função dos valores de seus parâmetros característicos  $(\alpha, \beta)$ , incluindo distribuições que apresentam assimetrias negativa ou positiva, que são obtidas usando parâmetros

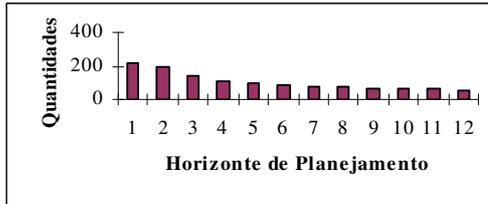
característicos  $\alpha > \beta$  e  $\alpha < \beta$  respectivamente. Foram gerados dez diferentes padrões que podem ser visualizados na Figura 17.



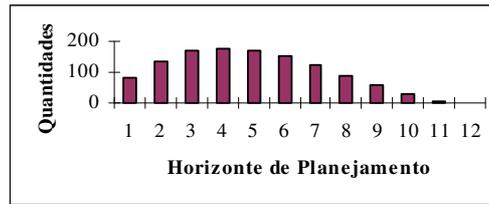
Demanda 1 ( $\alpha = 1$  e  $\beta = 2$ )



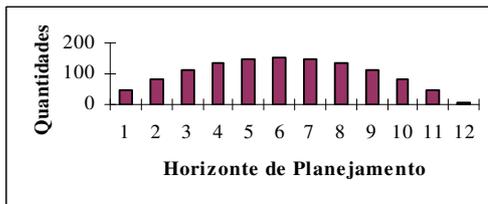
Demanda 2 ( $\alpha = 1$  e  $\beta = 3$ )



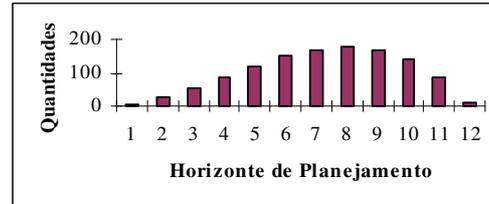
Demanda 3 ( $\alpha = 0,5$  e  $\beta = 1$ )



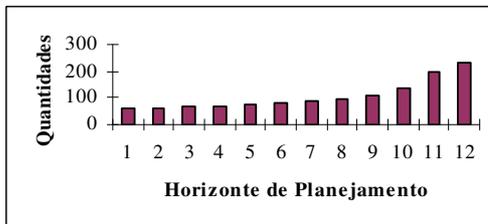
Demanda 4 ( $\alpha = 2$  e  $\beta = 3$ )



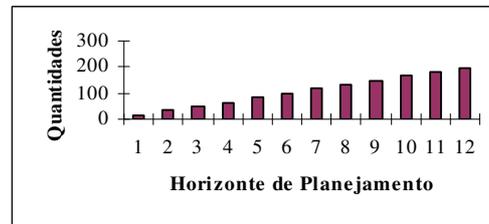
Demanda 5 ( $\alpha = 2$  e  $\beta = 2$ )



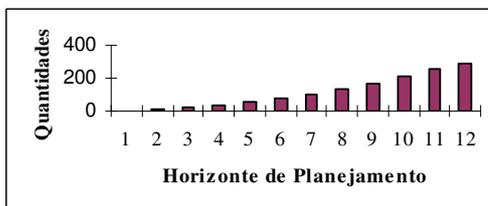
Demanda 6 ( $\alpha = 3$  e  $\beta = 2$ )



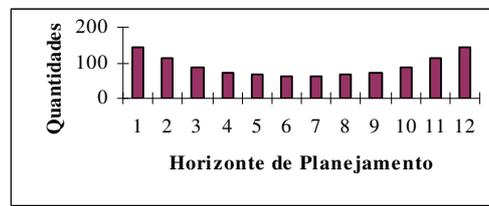
Demanda 7 ( $\alpha = 1$  e  $\beta = 0,5$ )



Demanda 8 ( $\alpha = 2$  e  $\beta = 1$ )



Demanda 9 ( $\alpha = 3$  e  $\beta = 1$ )



Demanda 10 ( $\alpha = 0,5$  e  $\beta = 0,5$ )

Figura 17 – Demandas Geradas

### V.3. Problema exemplo ilustrativo

Para o melhor entendimento do modelo proposto neste trabalho, nesta seção é mostrada uma situação de compra fictícia, onde são feitas análises sob a ótica do TCO.

Dados um conjunto de produtos e suas demandas e um conjunto de fornecedores potenciais com seus custos associados. O comprador deverá decidir:

- i. Qual o fornecedor deverá ser escolhido?
- ii. Quais são as quantidades de cada um dos produtos que deverão ser adquiridos do fornecedor escolhido?
- iii. Em que intervalos de tempo os produtos deveram ser adquiridos?

As informações de cada fornecedor tais como: custos externos (unidades monetárias), custos internos (unidades monetárias), eficiência do produto (percentual) podem ser vistas na Tabela 7, enquanto a demanda prevista é apresentada na Tabela 8.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				Ef(%)	Custos internos	Média dos Custos internos	Diferenciação entre os custos dos fornecedores
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,42	0,39	0,26	0,002	0,10	0,02	0,03	42	12%	37%	35%
2	0,03	0,97	0,86	0,18	0,49	0,25	0,14	18	36%		
3	0,22	0,85	0,76	0,38	0,23	0,33	0,39	13	42%		
4	0,42	0,48	0,09	0,03	0,25	0,22	0,41	45	48%		
5	0,74	0,32	0,51	0,34	0,49	0,50	0,05	94	47%		

Tabela 7 – Informações dos fornecedores potenciais

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	2	8	18	33	52	75	102	133	168	208	252	294

Tabela 8 – Demanda prevista

Sob a ótica do TCO, pode-se observar que dadas as informações acima o problema exemplo corresponde à um problema com as características do cenário V mostrado na Figura 13. Nesse problema a média entre os custos internos dos fornecedores correspondem a 37 % do somatório de todos os custos e a diferenciação entre os custos dos fornecedores é de 35 % como pode ser visto na Tabela 7.

O problema proposto com os dados apresentados na Tabelas 7 e 8 foi resolvido com o modelo núcleo de TCO, apresentado no Cap. IV. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Tabelas 9 e 10. Na Tabela 9, constam os custos externos e internos do produto do fornecedor escolhido. Na Tabela 10 é mostrada a política de compra, bem como o consumo e a evolução dos estoques ao longo do horizonte de planejamento de 12 períodos.

Custos									
Fornecedor	Aquisição	Produto	Instalação	Manutenção	Estoque	Descarte	Função Objetivo	$\sum$ custos externos	$\sum$ custos internos
0,42	5	836	5	74	27,02	311	1258	67%	33%

Tabela 9 – Custos incorridos ao longo do ciclo de vida do produto do Fornecedor 1

	Período											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Compra	5	19	43	79	124	179	243	317	603	754	546	294
Consumo	5	19	43	79	124	179	243	317	400	496	601	701
Estoque	0	0	0	0	0	0	0	0	203	461	407	0

Tabela 10 – Política de compra

O modelo apontou o Fornecedor 1 ,que não possui o menor preço de venda, como o melhor candidato. A escolha do Fornecedor 1 justifica-se pelo fato deste possuir custos de instalação (CI), descarte (CD), estoque (Cest) e manutenção (CM), menores que dos outros fornecedores. Como os custos com o estoque e manutenção são custos que levam em consideração o tempo, estes custos se tornam cada vez maiores ao longo do ciclo de vida do produto.

É interessante notar que, com relação a eficiência, o Fornecedor 5 seria um ótimo candidato, mas este fornecedor gera custos internos tão altos para a organização, que na situação de compra deste exemplo, vale mais a pena comprar maiores quantidades do Fornecedor 1, mesmo que este possua uma eficiência bem mais baixa.

A política de compra adotada pelo modelo gera estoque nos períodos finais do período planejado. Isso ocorre não só pelo fato do custo de estoque ser muito inferior ao custo com aquisição, mas também pelo comportamento da demanda desse exemplo que é crescente ao longo do horizonte de planejamento.

A variação no comportamento demanda ao longo do período do planejamento também influencia na política de estoque a ser adotada pela empresa. Para analisar a influência deste comportamento, supõe-se que o comprador possua a mesma situação de compra

descrita no enunciado da seção, porém com diferentes comportamentos de demandas , apresentadas na Tabela 11.

Períodos	Demandas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	183	252	213	84	45	7	58	16	2	146
2	166	208	195	138	83	27	61	33	8	115
3	150	168	138	168	112	56	65	50	18	85
4	133	133	112	177	133	88	69	66	33	73
5	116	102	97	170	145	121	73	83	52	67
6	100	75	87	150	150	150	79	100	75	64
7	83	52	79	121	145	170	87	116	102	64
8	66	33	73	88	133	177	97	133	133	67
9	50	18	69	56	112	168	112	150	168	73
10	33	8	65	27	83	138	138	166	208	85
11	16	2	61	7	45	84	195	183	252	115
12	2	1	58	2	5	11	230	198	294	146
$\Sigma$	1098	1052	1247	1188	1191	1197	1264	1294	1345	1100

Tabela 11 - Diferentes Demandas

Vale informar que a Demanda 9 da Tabela 11, foi a demanda utilizada para o problema apresentado anteriormente (Tabela 8).

Na Tabela 12 são mostrados os resultados obtidos pelo modelo para problemas com os mesmos fornecedores, mas com os diferentes comportamentos das demandas. Os Problemas 1 a 10 correspondem respectivamente às demandas 1 a 10.

Custos	Problemas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fornecedor	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Aquisição	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5
Produto	682	654	775	738	740	744	785	804	836	683
Instalação	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4
Manutenção	60	58	68	65	65	66	69	71	74	60
Estoque	5,62	4,61	6,67	9,02	11,12	15,82	20,18	19,69	27,02	12,33
Descarte	254	244	289	275	276	277	293	300	311	255
Função Objetivo	1011	968	1148	1097	1102	1112	1177	1204	1258	1020
$\Sigma$ custos externos	68%	68%	68%	68%	68%	67%	67%	67%	67%	67%
$\Sigma$ custos internos	32%	32%	32%	32%	32%	33%	33%	33%	33%	33%
Fornecedor escolhido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 12 – Custos incorridos para diferentes tipos de demanda

É de se notar que, independentemente da variabilidade da demanda, o fornecedor escolhido pelo modelo foi o mesmo em todos problemas. E ainda, que os custos internos produzidos por este fornecedor em todos problemas, apesar de apresentarem uma pequena variação, entre 32% e 33%, possuem alta representatividade nos custos totais de propriedade.

Outro ponto de grande relevância é o estoque, o modelo optou por estocar em todos os dez problemas como consequência dos custos com estoques serem muito inferiores ao custo de aquisição. Entretanto, a demanda influenciou na política de estoque a ser utilizada, determinando a quantidade e o período de tempo no qual o produto foi estocado como mostra a Tabela 13. Observe que apesar do custo de manutenção ser muito pequeno o modelo não optou por estocar em todos os períodos.

		Período												Quantidade total estocada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	0	0	0	0	0	9	61	71	53	25	5	0	224
	2	0	0	0	0	42	53	43	26	12	4	2	0	182
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	78	107	80	0	265
	4	0	0	0	0	6	99	112	82	41	12	5	0	357
	5	0	0	0	0	0	0	90	151	129	64	7	0	441
	6	0	0	0	0	0	0	60	216	216	120	15	0	627
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	124	358	318	0	800
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	178	329	274	0	781
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	203	461	407	0	1071
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	72	215	202	0	489

Tabela 13 – Estoque no horizonte de planejamento de 12 períodos de tempo

## VI. EXPERIMENTAÇÃO

Para avaliar a eficiência do modelo, bem como avaliar o impacto dos diferentes parâmetros foram rodados problemas gerados aleatoriamente conforme descrito na seção V.2.

O modelo matemático foi implementado no software *Aimms* usando a plataforma Windows XP; Celeron processor 380, 1,6 GHz, com 512 MB de RAM.

Das 1030 **situações de compras** geradas na seção V.2.1, foram escolhidos 9 **situações de compras** diferentes, correspondendo a uma situação para cada cenário. Como um problema não é definido somente por suas situações de compra, mas também pela previsão de demanda, para cada uma das nove situações escolhidas ( chamadas de testes na seção a seguir), foram atribuídas dez diferentes demandas ( as quais podem ser vista Tabela 11 e suas distribuições na Figura 17 ). Por conseguinte foram rodados noventa problemas diferentes no modelo matemático núcleo que serão discutidos nas seções a seguir.

É importante mencionar que os custos de todas as situações de compras estão representados em unidades monetárias, a eficiência, a média dos custos internos e a diferenciação entre os custos dos fornecedores estão representados em percentual.

### VI.1 Teste I

Os dados da **situação de compra** 1 podem ser visualizados na Tabela 14. Pode-se observar que dadas essas informações, os problemas gerados a partir deste teste

corresponderão à problemas com as características do cenário I mostrado na Figura 13. Nesse teste ( e conseqüentemente nos problemas dele), a média entre os custos internos dos fornecedores corresponde a 7 % do somatório de todos os custos e a diferenciação entre os custos dos fornecedores é de 9 % como pode ser visto na Tabela 14.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,53	0,94	0,95	0,17	0,02	0,05	0,02	100	9	7	9
2	0,89	0,61	0,75	0,07	0,02	0,02	0,06	100	7		
3	0,65	0,99	0,74	0,01	0,01	0,11	0,02	100	7		
4	1,00	0,82	0,98	0,02	0,01	0,12	0,01	100	7		
5	0,82	0,98	0,89	0,17	0,02	0,03	0,03	100	8		

Tabela 14 - Dados de entrada dos problemas do Teste I

A variabilidade da demanda não influenciou na escolha do fornecedor. Em todos os testes realizados, dentro deste cenário, a solução obtida pelo modelo define comprar do Fornecedor 2 ao longo de todo o horizonte de tempo. O Fornecedor 2 é aquele que possui o segundo menor preço. Observe que, o modelo não optou pelo Fornecedor 3 ( o que possui o menor preço) por esse possuir o custo de manutenção bem superior ao do fornecedor escolhido, lembrando que os custos de manutenção e de estoque são custos que aumentam com passar do tempo. Na Tabela 15 são mostrados os custos obtido ao longo do ciclo de vida para cada um dos problemas testados.

	Problemas									
Custos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fornecedor	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Aquisição	7	6	7	6	7	7	7	7	7	7
Produto	823	789	935	891	893	897	948	970	1.008	825
Instalação	77	74	88	84	84	84	89	91	95	77
Manutenção	21	20	24	23	23	23	24	25	26	21
Estoque	0,13	0,25	0,00	0,70	0,32	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00
Descarte	20	19	22	21	21	21	23	23	24	20
TCO	949	909	1077	1026	1029	1034	1092	1117	1161	951
$\sum$ custos externos (%)	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%
$\sum$ custos internos (%)	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%

Tabela 15 - Custos incorridos dos problemas do Teste I

Como pode ser visto na Tabela 15, o custo com o fornecedor é mesmo para todos os problemas efetuados para o Teste. Como em todos os testes efetuados a demanda não influenciou na escolha do fornecedor, assim sendo o custo do fornecedor sempre será o mesmo para todas as demandas. Já os demais custos da Tabela 15 variaram em função da quantidades de produtos comprados e consumidos a partir de cada demanda.

Na Tabela 15 são mostrados ainda a representatividade em termos percentuais do somatório dos custos externos e internos. Para este teste a variabilidade da demanda também não influenciou nos resultados relacionados aos custos internos e externos. Em todos os problemas realizados, os custos internos representam aproximadamente 12 % dos custos totais de propriedade.

A eficiência é um fator que tem grande influência na quantidade consumida de produtos de um determinado fornecedor ao longo do tempo. No capítulo anterior onde é apresentado o modelo matemático, pode-se observar que a eficiência encontra-se entre as restrições do modelo genérico.

Para o Teste I a eficiência foi a mesma para todos os fornecedores e corresponde a 100%, logo para os problemas relacionados com o esse teste, não ocorrerão diferenças entre as quantidades totais de produtos demanda e do consumo desses problemas. Nas Tabelas 16 e 17, são mostrados os resultados com relação a política de compra obtida pelo modelo no horizonte de planejamento de 12 meses para todos os problemas.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total comprada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	183	166	150	133	116	100	83	66	50	33	18	0	1098
	2	252	208	168	133	102	75	52	33	18	11	0	0	1052
	3	213	195	138	112	97	87	79	73	69	65	61	58	1247
	4	84	138	168	177	170	150	121	88	56	36	0	0	1188
	5	45	83	112	133	145	150	145	133	112	83	50	0	1191
	6	7	27	56	88	121	150	170	177	168	138	84	11	1197
	7	58	61	65	69	73	79	87	97	112	138	195	230	1264
	8	16	33	50	66	83	100	116	133	150	166	183	198	1294
	9	10	0	18	33	52	75	102	133	168	208	252	294	1345
	10	146	115	85	73	67	64	64	67	73	85	115	146	1100

Tabela 16 - Política de compra dos problemas do Teste I

		Horizonte de planejamento												Quantidade total consumida
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	183	166	150	133	116	100	83	66	50	33	16	2	1098
	2	252	208	168	133	102	75	52	33	18	8	2	1	1052
	3	213	195	138	112	97	87	79	73	69	65	61	58	1247
	4	84	138	168	177	170	150	121	88	56	27	7	2	1188
	5	45	83	112	133	145	150	145	133	112	83	45	5	1191
	6	7	27	56	88	121	150	170	177	168	138	84	11	1197
	7	58	61	65	69	73	79	87	97	112	138	195	230	1264
	8	16	33	50	66	83	100	116	133	150	166	183	198	1294
	9	2	8	18	33	52	75	102	133	168	208	252	294	1345
	10	146	115	85	73	67	64	64	67	73	85	115	146	1100

Tabela 17 – Resultado do consumo dos problemas do Teste I

Com relação ao comportamento do estoque nesse teste, o modelo optou por ora estocar, ora não estocar conforme a variação da demanda, ou seja, apesar da variabilidade não

influenciar nos resultados relacionados ao custo total de propriedade, essa variação influenciou na política de estoque .

Na Tabela 18 é mostrada a política de estoque adotada pelo modelo para todos os problemas, pode-se observar que apenas nos problemas 1, 2, 4 e 5 ocorreram estoque. Nesses problemas as quantidades dos produtos demandadas são bem pequenas nos dois últimos períodos do horizonte de planejamento e o modelo optou por estocar no final porque os custos de manutenção e estoque são custos acumulados ao longo do tempo.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total estocada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	4
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	2	0	11
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 18 - Política de estoque dos problemas do Teste I

## VI. 2 Teste II

O Teste II consiste no cenário de fornecedores com baixa sensibilidade como no teste anterior, porém com média diferenciação entre os custos dos fornecedores (Cenário II).

A baixa sensibilidade ao TCO desse teste corresponde a 6% e a diferenciação entre os custos dos fornecedores deste teste é de 34%, como mostrado na Tabela 19.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,10	0,082	0,767	0,015	0,002	0,019	0,017	98	5	6	34
2	0,84	0,335	0,717	0,016	0,015	0,084	0,083	55	10		
3	0,84	0,097	0,701	0,003	0,036	0,079	0,011	90	7		
4	0,71	0,956	0,519	0,012	0,045	0,015	0,011	6	5		
5	0,80	0,989	0,954	0,015	0,067	0,039	0,012	69	5		

Tabela 19 - Dados de entrada dos problemas do Teste II

A solução obtida pelo modelo foi a escolha do Fornecedor 1, que possui o menor custo total de propriedade. A escolha pelo Fornecedor 1 justifica-se principalmente por esse possuir uma eficiência muito superior que a do Fornecedor 4, como pode visualizado na Tabela 19. Observe que o Fornecedor 4 seria um ótimo candidato se não fosse pela sua baixa eficiência, uma vez que se o modelo optasse por comprar dele precisaria comprar quantidades muito grandes para atender a demanda. Observando ainda que quanto menor a eficiência menor é sua vida útil do produto.

A variabilidade da demanda não influenciou na proporção relativa dos custos internos e externos dos resultados obtidos dos problemas do Teste II. Os custos internos dos problemas são irrelevantes por representar no máximo 4 % dos custos total de propriedade. Na Tabela 20 são mostrados o TCO e a representatividade dos custos internos e externos para cada um dos problemas efetuados.

Os custos incorridos ao longo do ciclo de vida de cada problema constam em Anexo I.

Problemas										
Custos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	897	860	1019	971	973	978	1033	1057	1099	899
$\sum$ custos externos (%)	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
$\sum$ custos internos (%)	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Tabela 20 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste II

Diferente do teste anterior, nos problemas do Teste II, a eficiência influencia não só na escolha como também na quantidade comprada e na quantidade consumida. Como a eficiência é menor que 100%, logo o modelo comprará mais para compensar a ineficiência do produto comprado. Neste exemplo apesar da eficiência do fornecedor escolhido não ser 100%, ela é bastante alta. Nas Tabelas 21 e 22 são mostrados a política de compra e o consumo obtidos para os problemas do Teste II.

Horizonte de planejamento														Quantidade total comprada
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Problemas	1	186	169	152	135	118	102	84	67	51	34	16	2	1116
	2	256	211	171	135	104	76	53	34	18	8	2	1	1069
	3	217	198	140	114	99	88	80	74	70	66	62	59	1267
	4	85	140	171	180	173	152	123	89	57	28	9	2	1209
	5	46	84	114	135	147	152	147	135	114	84	46	5	1209
	6	7	27	57	89	123	152	173	180	171	140	86	11	1216
	7	59	62	66	70	74	80	88	99	114	140	202	230	1284
	8	16	34	51	67	84	102	118	135	152	169	189	198	1315
	9	2	8	18	34	53	76	104	135	171	211	261	294	1367
	10	148	117	86	74	68	65	65	68	74	86	119	146	1116

Tabela 21 - Política de compra dos problemas do Teste II

Observe que a quantidade comprada é superior à demanda prevista ( Tabela 11), isso ocorre devido a eficiência do produto comprado.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total consumida
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	186	169	152	135	118	102	84	67	51	34	16	2	1116
	2	256	211	171	135	104	76	53	34	18	8	2	1	1069
	3	217	198	140	114	99	88	80	74	70	66	62	59	1267
	4	85	140	171	180	173	152	123	89	57	28	9	2	1209
	5	46	84	114	135	147	152	147	135	114	84	46	5	1209
	6	7	27	57	89	123	152	173	180	171	140	86	11	1216
	7	59	62	66	70	74	80	88	99	114	140	198	234	1284
	8	16	34	51	67	84	102	118	135	152	169	186	201	1315
	9	2	8	18	34	53	76	104	135	171	211	256	299	1367
	10	148	117	86	74	68	65	65	68	74	86	117	148	1116

Tabela 22 – Resultado do consumo dos problemas do Teste II

Com relação ao comportamento do estoque nesse teste, o modelo também optou por estocar em alguns problemas conforme a variação da demanda, ou seja, apesar da variabilidade não influenciar nos resultados relacionados ao custo total de propriedade, essa variação também influenciou na política de estoque. Na Tabela 23 pode-se observar a política de estoque adotada pelo modelo para cada demanda no horizonte de planejamento de 12 períodos. Neste teste, o modelo optou por estocar nos problemas nos quais as demandas previstas possuem maiores quantidades de produtos no período final do horizonte de planejamento como acontece nos problemas 7, 8, 9 e 10. Isso ocorre porque o custo de aquisição de produto desse teste é bastante alto.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total estocada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2

Tabela 23 - Política de Estoque dos problemas do Teste II

### VI.3 Teste III

Correspondendo ao cenário III, foram resolvidos problemas considerando os parâmetros de entrada mostrados na Tabela 24. Esses problemas, consistem de fornecedores com baixa sensibilidade ao TCO e alta diferenciação entre os custos dos fornecedores. A média dos custos internos corresponde a 8% e a diferenciação entre os custos dos fornecedores deste problema é de 63%, como ilustra a Tabela 24.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,948	0,974	0,990	0,084	0,051	0,122	0,042	13	9	8	63
2	0,071	0,196	0,092	0,001	0,005	0,001	0,005	28	3		
3	0,387	0,734	0,463	0,006	0,091	0,060	0,018	92	10		
4	0,515	0,378	0,130	0,009	0,070	0,015	0,017	47	10		
5	0,488	0,576	0,680	0,002	0,016	0,060	0,040	73	6		

Tabela 24 - Dados de entrada dos problemas do Teste III

O Fornecedor 2 foi escolhido por apresentar todos os seus custos muito inferiores aos custos dos demais fornecedores. Na Tabela 25 são mostrados o TCO e a

representatividade dos custos internos e externos para cada um dos problemas efetuados. Os custos incorridos no ciclo de vida de cada problema constam em Anexo I.

Custos	Problemas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	397	376	448	433	434	439	462	474	496	399
∑ custos externos (%)	91%	92%	91%	90%	90%	90%	90%	90%	89%	91%
∑ custos internos (%)	9%	8%	9%	10%	10%	10%	10%	10%	11%	9%

Tabela 25 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste III

Nesses problemas a relação entre os custos internos e externos não são iguais em todos problemas. Todos os problemas efetuados mostraram que custos internos variam entre 8% e 11% .

Os resultados das quantidades de produtos compradas e consumidas dos problemas do Teste III conforme a mudança do comportamento da demanda são apresentados nas Tabelas 26 e 27, respectivamente.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total comprada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	650	590	659	599	466	351	250	167	101	51	18	0	3902
	2	1052	800	592	424	291	189	184	152	29	11	0	0	3724
	3	757	693	490	398	345	403	405	326	253	184	119	58	4431
	4	298	490	944	798	621	451	301	181	92	36	9	0	4221
	5	160	295	398	554	818	673	523	379	245	133	50	5	4233
	6	25	96	199	313	657	898	748	578	401	233	94	11	4253
	7	206	217	231	245	259	281	387	772	675	563	425	230	4491
	8	57	117	178	235	295	355	708	831	697	547	381	198	4599
	9	35	0	64	117	185	266	540	1055	922	754	546	294	4778
	10	519	409	302	259	238	227	296	486	419	346	261	146	3908

Tabela 26 - Política de compra dos problemas do Teste III

		Horizonte de planejamento												Quantidade total consumida
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	650	590	533	473	412	355	295	235	178	117	57	7	3902
	2	895	739	597	473	362	266	185	104	64	28	7	4	3724
	3	757	693	490	398	345	309	281	259	245	231	217	206	4431
	4	298	490	597	629	604	533	430	313	199	96	25	7	4221
	5	160	295	398	473	515	533	515	473	398	295	160	18	4233
	6	25	96	199	313	430	533	604	629	597	490	298	39	4253
	7	206	217	231	245	259	281	309	345	398	490	693	817	4491
	8	57	117	178	235	295	355	412	473	533	590	650	704	4599
	9	7	28	64	117	185	266	362	473	597	739	895	1045	4778
	10	519	409	302	259	238	227	227	238	259	302	409	519	3908

Tabela 27 – Resultado do consumo dos problemas do Teste III

Na Tabela 28 é apresentada a política de estoque adotada pelo modelo para cada demanda no horizonte de planejamento de 12 períodos. Neste teste os custos de estoque é muito inferior ao custo de aquisição, logo o modelo optou por estocar em todos os problemas.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total estocada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	0	0	126	253	307	301	256	189	112	46	7	0	1597
	2	157	218	213	164	93	16	15	63	28	11	4	0	982
	3	0	0	0	0	0	94	218	285	293	246	148	0	1284
	4	0	0	347	516	533	451	323	190	83	23	7	0	2473
	5	0	0	0	81	384	524	532	438	285	123	13	0	2380
	6	0	0	0	0	227	592	736	685	489	232	28	0	2989
	7	0	0	0	0	0	0	78	505	782	855	587	0	2807
	8	0	0	0	0	0	0	296	654	818	775	506	0	3049
	9	28	0	0	0	0	0	178	760	1085	1100	751	0	3902
	10	0	0	0	0	0	0	69	317	476	520	373	0	1755

Tabela 28 – Política de estoque dos problemas do Teste III

#### VI.4 Teste IV

Neste caso os produtos dos fornecedores da Tabela 29 possuem média sensibilidade ao TCO e a diferenciação entre os custos dos fornecedores é baixa. A média dos custos internos dos fornecedores é igual a 40%. A diferenciação entre os custos dos fornecedores desse teste corresponde a 25 % como ilustrado na Tabela 29.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,506	0,756	0,906	0,233	0,336	0,009	0,456	11	32	40	25
2	0,576	0,241	0,617	0,232	0,270	0,163	0,401	72	43		
3	0,690	0,433	0,127	0,361	0,418	0,305	0,123	92	49		
4	0,350	0,037	0,585	0,017	0,187	0,187	0,214	9	38		
5	0,575	0,835	0,471	0,132	0,392	0,270	0,307	9	37		

Tabela 29 - Dados de entrada dos problemas do Teste IV

O modelo optou por comprar do Fornecedor 3 por esse possuir a melhor eficiência (ef) se comparado com os demais fornecedores mostrados na Tabela 29 .

Diferentemente das situações anteriormente apresentadas, os custos internos produzidos nos problemas desta série são bastante representativos sob a ótica do TCO. Em todos os problemas os custos internos representam 89% dos custos totais, como são mostrados na Tabela 30. Em anexo constam os resultados de todos os custos incorridos para cada problema.

Problemas										
Custos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	1452	1391	1649	1571	1575	1583	1674	1713	1781	1457
$\sum$ custos externos (%)	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
$\sum$ custos internos (%)	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%

Tabela 30 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste IV

Nas Tabelas 31 e 32 constam os resultados das quantidades de produtos compradas e consumidas ao longo do horizonte de planejamento para todos os problemas do Teste IV.

Horizonte de planejamento														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total comprada
Problemas	1	199	181	163	145	126	109	90	72	54	36	18	2	1195
	2	274	226	183	145	111	82	57	36	20	9	2	1	1146
	3	232	212	150	122	106	95	86	79	75	71	71	58	1357
	4	91	150	183	193	185	163	132	96	61	29	10	0	1293
	5	49	90	122	145	158	163	158	145	122	90	49	5	1296
	6	8	29	61	96	132	163	185	193	183	150	91	12	1303
	7	63	66	71	75	79	86	95	106	122	150	232	230	1375
	8	17	36	54	72	90	109	126	145	163	181	216	198	1407
	9	2	9	20	36	57	82	111	145	183	226	300	294	1465
	10	159	125	92	79	73	70	70	73	79	92	138	146	196

Tabela 31 - Política de compra dos problemas do Teste IV

		Horizonte de planejamento												Quantidade total consumida
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	199	181	163	145	126	109	90	72	54	36	18	2	1195
	2	274	226	183	145	111	82	57	36	20	9	2	1	1146
	3	232	212	150	122	106	95	86	79	75	71	66	63	1357
	4	91	150	183	193	185	163	132	96	61	29	8	2	1293
	5	49	90	122	145	158	163	158	145	122	90	49	5	1296
	6	8	29	61	96	132	163	185	193	183	150	91	12	1303
	7	63	66	71	75	79	86	95	106	122	150	212	250	1375
	8	17	36	54	72	90	109	126	145	163	181	199	215	1407
	9	2	9	20	36	57	82	111	145	183	226	274	320	1465
	10	159	125	92	79	73	70	70	73	79	92	125	159	1196

Tabela 32 - Resultado do consumo dos problemas do Teste IV

Neste teste, o modelo também por estocou em alguns períodos conforme a variação da demanda. Essa variabilidade também não influenciou nos resultados relacionados ao custo total de propriedade, mas sim na política de estoque, a qual é apresentada na Tabela 33.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total estocada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0

Tabela 33 – Política de estoque dos problemas do Teste IV

A Tabela 33 ilustra a política de estoque do modelo, que optou em estocar sempre no décimo primeiro período dos problemas 3, 4, 7, 8, 9 e 10. Observe que nesses períodos as quantidades de produtos compradas são bem maiores que a dos demais problemas.

## VI. 5 Teste V

Esse teste já foi discutido com problema exemplo, no capítulo V.

## VI. 6 Teste VI

Os problemas deste teste consistem de fornecedores que possuem alta diferenciação entre seus custos e média sensibilidade ao TCO. Na Tabela 34 são apresentados os dados de entrada para todos os problemas efetuados. A média dos custos internos é igual a 34 % e a diferenciação entre os custos dos fornecedores igual a 62 %.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,762	0,299	0,406	0,159	0,039	0,052	0,325	74	28	34	62
2	0,093	0,117	0,206	0,017	0,002	0,134	0,011	2	28		
3	0,309	0,818	0,510	0,121	0,036	0,284	0,047	2	23		
4	0,863	0,945	0,743	0,428	0,604	0,656	0,402	47	45		
5	0,091	0,748	0,469	0,497	0,039	0,362	0,152	43	45		

Tabela 34 - Dados de entrada dos problemas do Teste VI

O modelo optou por comprar do Fornecedor 1. O principal motivo da escolha deve-se ao fato do Fornecedor 1 possuir uma eficiência (ef) muito superior aos demais fornecedores mostrados na Tabela 34, além daquele fornecedor possuir o custo de manutenção muito baixo. O TCO para todos os problemas do Teste VI e as representatividades dos custos internos e externos podem ser vistos na Tabela 35.

Custos	Problemas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	977	935	1114	1056	1062	1071	1148	1171	1227	994
$\Sigma$ custos externos (%)	62%	62%	62%	62%	62%	61%	61%	61%	60%	61%
$\Sigma$ custos internos (%)	38%	38%	38%	38%	38%	39%	39%	39%	40%	39%

Tabela 35 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste VI

Neste teste, apesar de pequena, houve variação na representatividade dos custos internos e externos para os problemas efetuados.

Os resultados obtidos pelo modelo para política de compra desse teste são apresentados nas tabelas a seguir.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total comprada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	247	224	202	179	156	135	112	89	67	49	18	2	1480
	2	340	280	226	179	137	101	70	44	24	11	3	1	1416
	3	287	263	186	151	131	117	106	98	93	88	102	58	1680
	4	113	186	226	238	229	202	163	119	77	35	9	2	1599
	5	61	112	151	179	195	202	195	179	151	124	51	5	1605
	6	9	36	75	119	163	202	229	238	226	208	95	11	1611
	7	78	82	88	93	98	106	117	131	151	186	343	230	1703
	8	22	44	67	89	112	135	156	179	202	224	316	198	1744
	9	3	11	24	44	70	101	137	179	226	280	442	294	1811
	10	197	155	115	98	90	86	86	90	98	115	206	146	1482

Tabela 36 – Política de compras dos problemas efetuados do Teste VI

		Horizonte de planejamento												Quantidade total consumida
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	247	224	202	179	156	135	112	89	67	44	22	3	1480
	2	340	280	226	179	137	101	70	44	24	11	3	1	1416
	3	287	263	186	151	131	117	106	98	93	88	82	78	1680
	4	113	186	226	238	229	202	163	119	75	36	9	3	1599
	5	61	112	151	179	195	202	195	179	151	112	61	7	1605
	6	9	36	75	119	163	202	229	238	226	186	113	15	1611
	7	78	82	88	93	98	106	117	131	151	186	263	310	1703
	8	22	44	67	89	112	135	156	179	202	224	247	267	1744
	9	3	11	24	44	70	101	137	179	226	280	340	396	1811
	10	197	155	115	98	90	86	86	90	98	115	155	197	1482

Tabela 37 – Consumo dos problemas efetuados do Teste VI

Neste teste o modelo estocou produtos em quase os todos os problemas, com exceção do problema 2, que possui quantidades de produtos muito pequenas nos últimos períodos, logo não fará diferença estocá-los.

Com relação ao estoque gerado, observa-se que o custo com estoque é aproximadamente a metade do custo de adquirir o produto do fornecedor escolhido. A

Tabela 38 mostra a política de estoque adotada pelo modelo para todos os problemas.

		Horizonte de planejamento												Quantidade total estocada
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Problemas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	5
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	2	0	14
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	4	0	26
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	80
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	69
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	102
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	51

Tabela 38 – Política de estoque dos problemas do Teste VI

VI. 7 Teste VII

Correspondendo ao cenário VII f os parâmetros de entrada são apresentados na Tabela 39. Este cenário consiste de fornecedores com baixa diferenciação entre seus custos e com alta sensibilidade ao TCO. A alta sensibilidade desse teste corresponde a 60% e baixa diferenciação a 16% como mostrado a seguir.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,657	0,258	0,765	0,700	0,859	0,003	0,330	48	53	60	16
2	0,679	0,929	0,042	0,518	0,912	0,954	0,607	92	64		
3	0,594	0,558	0,968	0,483	0,256	0,818	0,638	33	51		
4	0,496	0,851	0,668	0,927	0,452	0,168	0,765	90	53		
5	0,062	0,005	0,541	0,618	0,493	0,579	0,814	38	80		

Tabela 39 - Dados de entrada dos problemas do Teste VII

A escolha pelo Fornecedor 4 deve-se principalmente por esse fornecedor apresentar uma alta eficiência (ef) e também pelo baixo custo de manutenção. Os custos totais de propriedade e a relação dos custos internos e externos dos problemas efetuados do Teste VII pode visto na Tabela 40.

Custos	Problemas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	2719	2606	3085	2941	2949	2964	4129	4240	4380	3614
$\sum$ custos externos (%)	30%	30%	30%	30%	30%	30%	23%	23%	23%	23%
$\sum$ custos internos (%)	70%	70%	70%	70%	70%	70%	77%	77%	77%	77%

Tabela 40 - Custo total de propriedade dos problemas do Teste VII

Observe na Tabela 40 que a representatividade dos custos internos também variou em 7%.

Com relação ao estoque o modelo não estocou em nenhum dos problemas efetuados por consequência dos custos com estoque do fornecedor escolhido ser muito maior que o custo de adquirir o produto do fornecedor mês a mês. Por conseguinte os resultados das quantidades de produtos comprados e consumidos são iguais ao longo dos 12 período, já que o modelo compra exatamente o que será consumido mês a mês.

Em anexos constam os resultados encontrado pelo modelo para a política de compra, consumo e estoque dos problemas desse teste.

#### VI. 8. Teste VIII

Os problemas desta categoria consistem em fornecedores com alta sensibilidade ao TCO e com média diferença entre os custos dos fornecedores. Na Tabela 41 são apresentados os dados de entrada para todos os problemas efetuados do Teste VIII. Nestes problemas a média dos custos internos correspondem a 63 % dos custos totais e a diferenciação entre os custos dos fornecedores é 31%.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,260	0,167	0,884	0,821	0,042	0,898	0,034	32	58	63	31
2	0,421	0,128	0,030	0,205	0,682	0,821	0,005	55	75		
3	0,472	0,479	0,785	0,362	0,823	0,311	0,259	78	50		
4	0,990	0,772	0,729	0,163	0,808	0,926	0,911	21	53		
5	0,232	0,382	0,090	0,912	0,852	0,573	0,486	11	80		

Tabela 41 - Dados de entrada dos problemas do Teste VIII

O modelo optou por comprar apenas do Fornecedor 3. Esse fornecedor apesar de não apresentar o menor preço de custo (P), apresenta o menor custo de manutenção (CM) e uma eficiência (ef) superior aos demais fornecedores.

Na Tabela 42 são mostrados os custos totais e a sua partição em custos internos e externos para os problemas do Teste VIII. Observe que não ocorreram variação na proporção dos custos internos dos problemas efetuados que foram bastante altas.

Custos	Problemas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	3236	3101	3674	3501	3568	3524	3722	3814	3967	3241
$\sum$ custos externos (%)	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
$\sum$ custos internos (%)	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%

Tabela 42 - Custo total de propriedade dos problemas Teste VIII

Nesses problemas também não houveram estoques porque o custo de estocagem também é muito maior que o custo de aquisição.

Em anexo constam os resultados com a política de compra obtida pelo modelo.

## VI. 9. Testes IX

O teste efetuado consiste no cenário de fornecedores com alta sensibilidade e alta diferenciação entre os custos dos fornecedores. A alta sensibilidade ao TCO desse teste corresponde 58% e diferenciação entre os custos dos fornecedores deste teste é de 61%.

Os dados de entrada para todos os problemas realizados do Teste IX são apresentados na Tabela 43.

Fornecedores (s)	Custos externos			Custos Internos				ef (%)	Custos internos (%)	Média dos Custos internos (%)	Diferenciação entre os custos dos fornecedores (%)
	CE	CA	P	CI	CD	CM	Cest				
1	0,060	0,009	0,240	0,013	0,082	0,376	0,016	1	61	58	61
2	0,829	0,166	0,271	0,200	0,114	0,366	0,334	27	44		
3	0,435	0,330	0,211	0,740	0,523	0,897	0,874	91	76		
4	0,960	0,892	0,959	0,849	0,970	0,981	0,961	3	57		
5	0,930	0,559	0,774	0,231	0,731	0,587	0,739	50	50		

Tabela 43 - Dados de entrada dos Testes IX

O modelo optou por comprar do Fornecedor 3. Esse fornecedor não possui o menor custo de instalação (CI), custo com o descarte (CD), custo com o estoque (Cest) e custo de manutenção (CM), contudo possui a melhor eficiência.

Os custos internos de todos os problemas testados representam 91% dos custos totais, ou seja, os custos internos possuem alta representatividade nos custos totais de propriedade. Na Tabela 44 são mostrados os resultados dos custos em todos os problemas.

Problemas										
Custos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCO	2861	2741	3249	3095	3103	3118	3292	3372	3503	2860
$\sum$ custos externos (%)	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%
$\sum$ custos internos (%)	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%

Tabela 44 - Custos Total de propriedade do Teste IX

Como no teste anterior o modelo matemático também não gerou estoque. Os resultados obtidos na política de compra cada um dos problemas constam em Anexo II.

## VII. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES COMPUTACIONAIS

Este capítulo tem como objetivo apresentar, com base nos resultados numéricos obtidos, uma análise qualitativa do modelo. Mostrando com um gestor de compras poderia atuar dadas diferentes **situações de compras** como, por exemplo, as geradas no capítulo anterior.

A mudança na política de aquisição pode mudar o comportamento dos fornecedores que passam a dirigir sua atenção na agregação de valor ao ciclo de vida dos produtos, dentro do contexto das empresas. Estas por sua vez deixam de usar como critério de seleção das compras, apenas o preço de aquisição.

De fato, é importante que o comprador esteja de posse dos dados históricos dos seus fornecedores, esses dados ajudaram a classificar quais os problemas mais relevantes para utilização do modelo. É necessário que o gestor conheça os fornecedores potenciais e todos seus custos associados para alimentar o modelo. Dependendo da situação nem sempre é viável a utilização do modelo.

A escolha adequada de um fornecedor pode produzir resultados positivos no sistema de suprimentos enquanto que uma escolha ruim certamente trará problemas não somente para uma área específica da empresa, mas também para outras funções envolvidas nesta decisão, impactando diretamente na lucratividade da organização.

Neste trabalho foi sugerido uma matriz de classificação, não somente para gerar as situações possíveis, mas também para auxiliar ao comprador a saber se é possível e/ou adequada a utilização do modelo em uma determinada aquisição de produtos. Dependendo da quantidade de produtos a serem compradas e dos custos internos por

eles produzidos , ou melhor, da representatividade destes custos na organização deve-se avaliar se realmente é necessário a utilização do modelo proposto. Um comprador consciente de sua necessidade e do seu interesse, avalia todos os custos a serem por ele arcados e pode, mesmo sem a ajuda de um modelo de TCO, optar por um produto com um preço de compra superior ao de um concorrente.

Numa primeira análise, podemos afirmar que para fornecedores que possuem produtos poucos sensíveis ao TCO não seria necessária a utilização do modelo proposto, já que os custos desses fornecedores são facilmente visualizados, sem a necessidade do modelo para escolher o melhor entre eles. Entretanto o modelo pode ser utilizado não somente como apoio a decisão do melhor fornecedor, mas também para caracterizar quando e como comprar os produtos, dada uma demanda prevista.

Nos Testes I, II e III a partir dos dados dos fornecedores potenciais, mesmo sem a utilização do modelo, é possível intuir que o fornecedor a ser escolhido será aquele que possui o menor percentual dos custos internos e que possui produtos com maior eficiência, pois um produto pouco eficiente deverá ser comprado em maior quantidade para compensar sua ineficiência. Como os custos internos dos fornecedores nestes testes são baixos, a diferenciação entre os custos dos fornecedores não influenciou na escolha do fornecedor. Porém se a quantidade dos custos associados ao conjunto de fornecedores potenciais fosse maior, seria mais difícil a visualização do melhor fornecedor a ser escolhido.

As quantidades dos produtos a serem compradas dos Testes I, II e III, os intervalos de tempo que os produtos deverão ser adquiridos de cada um desses testes dependem não apenas das informações dos conjunto de fornecedores potenciais, mas também da

demanda prevista. Portanto a utilização do modelo é válida para problemas de baixa sensibilidade que possuem grandes variações na demanda prevista num determinado horizonte de planejamento.

Já as **situações de compras** de média e alta sensibilidade, conforme a própria definição de sensibilidade ao TCO, são situações que requerem a utilização do modelo, já que essas situações possuem maiores custos internos, principalmente ao longo do ciclo de vida do produto. Como mostrados nos testes realizados. Nessas situações não é viável escolher o melhor fornecedor apenas por uma simples inspeção dos dados dos custos dos fornecedores.

Nos Testes IV, V, VI, VII VIII e IX não é possível verificar o melhor fornecedor apenas com base nos dados dos fornecedores potenciais de cada um desses testes, pois nem sempre o fornecedor escolhido foi o fornecedor que possui o menor percentual dos custos internos da **situação de compra** de cada teste.

Foi verificado nos testes efetuados, com exceção daqueles testes com situações de baixa sensibilidade, que quanto maior a diferenciação maior a dificuldade de escolha do melhor fornecedor. Tanto a sensibilidade quanto a diferenciação são fatores de grande importância para o TCO, pois quanto mais diferente for um fornecedor do outro numa situação de compra, mais dificuldade o comprador encontrará em escolher o melhor fornecedor.

Em todos os testes realizados foi observado que independente da variabilidade da demanda, o fornecedor escolhido foi sempre o mesmo, ou seja, a demanda não influenciou na escolha do fornecedor. Entretanto a demanda influenciou na política de

estoque dos problemas realizados de cada teste. Pode-se observar que o modelo optou, na maioria dos problemas realizados, por estocar nos períodos finais (quando ocorreram estoques). Essa escolha deve-se pelo equilíbrio que o modelo buscou fazer entre aos custos de aquisição e os custos com o estoque dos produtos comprados.

## VIII. CONCLUSÕES

O bom entendimento do desempenho no processo de aquisição dos produtos ou serviços de uma organização é um fator de extrema importância devida a competição no mercado globalizado. A escolha adequada de um fornecedor pode produzir resultados positivos no sistema de suprimentos enquanto que uma escolha ruim certamente trará problemas não somente para uma área específica da empresa, mas também para outras funções envolvidas nesta decisão, impactando diretamente na lucratividade da organização.

Este trabalho apresentou uma revisão bibliográfica do TCO, destacando os conceitos presentes na literatura sobre modelos de avaliação e seleção de fornecedores para aquisição de bens e serviços com enfoque TCO. Foi também apresentada uma formulação de um modelo núcleo, que leva em consideração os principais custos envolvidos no ciclo de vida de determinado produto.

Como as compras externas dos produtos e dos serviços correspondem a uma parte importante dos custos totais para a maioria das organizações, o estudo focou a adoção do TCO sob a ótica de um modelo matemático que se possa adaptar para qualquer situação em que o custo total de propriedade seja de grande relevância, contribuindo para que as empresas compradoras conheçam melhor os fornecedores potenciais. O modelo de TCO proposto pode ser uma eficiente ferramenta aplicável a várias organizações, uma vez que o modelo proposto pode servir de base para modelos particulares de TCO. A eficiência da utilização destes modelos depende de um sistema de apoio a decisão que incorpore o modelo proposto.

A contribuição pretendida por este estudo consiste na evidenciação da importância da utilização do custo total de propriedade para toda a cadeia de valores de um produto e na proposta de um modelo de TCO de apoio a decisão que se adéque a qualquer situação sensível ao TCO.

Além do modelo proposto, foram desenvolvidas neste estudo métricas para caracterizar problemas sensíveis ao TCO através de uma matriz de classificação. Um conjunto de experimentos computacionais foi desenvolvido a fim de avaliar, validar e ilustrar a aplicabilidade do modelo proposto nas situações de alta e baixa sensibilidade ao TCO e de alta e baixa diferenciação entre os fornecedores.

Ressalta-se que é imprescindível tanto para melhor gestão das organizações quanto para o sucesso da aplicação do modelo proposto, que as organizações possuam ou implementem um sistema de informação robusto e confiável, capaz de registrar e recuperar, de forma eficiente e dinâmica, as diversas informações geradas ao longo do ciclo de vida dos seus produtos.

O modelo de custo total de propriedade pode ser utilizado pelas organizações privadas, que são mais flexíveis, como uma ferramenta de adequação dos processos de compras. De forma a apoiar esse novo direcionamento estratégico, seriam necessárias importantes mudanças nessas organizações, tanto estruturas quanto culturais.

A legislação em vigor, relacionada à aquisição de bens e serviços que subordina as estatais restringe uma atuação mais eficiente dos compradores que, por sua vez estão inseridos em um ambiente de livre mercado, forçando-os a adotar uma política de compra pelo preço mais baixo. O processo de gestão se torna um desafio, dificultando a

adoção do TCO em empresa estatais. Essas empresas necessitam ter padrões de desempenho semelhantes ou melhores que as diferenciem das empresas privadas, para não perderem mercado ou serem consideradas ineficientes.

Por fim, pode-se recomendar para trabalhos futuros: (i) a ampliação do modelo proposto neste trabalho de modo a permitir que cada fornecedor possa disponibilizar diferentes produtos; (ii) trabalhar a demanda estocástica dos estoques, considerando uma função de distribuição de probabilidades para cada produto; (iii) considerar novas formas de aquisição de uma cesta de produtos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMCZUK A.A. (2001) Os relacionamentos na cadeia de suprimento sob o paradigma da desintegração vertical de processos: um estudo de caso, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil.

AISSAOUI N., HAOUARI M. HASSINI E. 2007, “Supplier selection and order lot sizing modeling: A review”, *Computers & Operations Research* 34, 3516 – 3540.

BARBAROSOGLU, G.; YAZGAÇ, T. (1997) “An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem”. *Production and Inventory Management Journal* 1st quarter, 14-21.

BUVIK, A.; GRØNHAUG, K. (2000) Inter-firm dependence, environmental uncertainty and vertical co-ordination in industrial buyer-seller relationships. *Omega*, v. 28, n. 4, 445-454.

BENTON, W.C., Quantity discount decisions under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitations. *International Journal of Production Research*, vol 29 (10) 1953-1961.

COX, A. (1996) Relational competence and strategic procurement management. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v. 2, n. 1, 57-70.

CAVANHA, A.O.F. (2001) *Logística: Novos Modelos*, Qualimark, Rio de Janeiro.

CURRENT JR,WEBER CA. Application of facility location modelling constructs to vendor selection problems. *European Journal of Operational Research* 1994; 76: 387–92.

DE BOER L, EVA LABRO, PIERANGELA MORLACCHI. 2001, “A review of methods supporting supplier selection”. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, v.7, 75-89.

DEGRAEVE, Z; ROODHOOFT, F. 1999. Improving the efficiency of the Purchasing Process using Total Cost of Ownership information: The case of heating electrodes at Cockerill Sambre SA. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH* 112 (1): 42-53

DEGRAEVE, Z., ROODHOOFT F. E VAN DOVEREN, B., 2005. The use of total cost of ownership for strategic procurement: a company-wide management information system, *Journal of the Operational Research Society*, 56, 51–59.

DIAS, M.A. (1996) *Administração de materiais - uma abordagem logística*, 4.ed. Atlas, São Paulo.

ELLRAM, L. M. Total cost of ownership: Elements and implementation. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 29, p. 3 -11; 1993.

ELLRAM LM. Total cost of ownership, an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 1995;25:4–23.

ELLRAM, L. e CARR, A. *Strategic Purchasing: A History and Review of the Literature* *International Journal of Purchasing and Materials Management*. Spring, pp. 10-18,1994.

ELLRAM, L.M., SIFERD, S.P. Purchasing: The cornerstone of the total cost of ownership concept. *Journal of Business Logistics*, 14 (1), p. 163-184; 1993.

ELLRAM, L.M., SIFERD, S.P., Total cost of ownership: a key concept in strategic cost management decisions. *Journal of Business Logistic*. Vol. 19, n.1, 1998.

FARIS, C.W.; ROBINSON, P.J.; WIND, Y. (1967) *Industrial Buying and Creative Marketing*, Allyn & Bacon, Boston.

FERNANDES, E. ; IGNACIO, A. A. V.; SAMPAIO, L.M.D ; ARAUJO ; MELO ; MOREIRA ; SILVA . A Importância do Custo Total de Propriedade na Formulação da Política de Aquisição das Empresas Estatais. XI Congresso Brasileiro de Energia-. XI CBE, Rio de Janeiro, 2006.

GARCIA E. S.; FERREIRA FILHO, V. J. M . Cálculo do ponto de pedido baseado em previsões em uma política  $\langle q, r \rangle$  de gestão de estoques.

GHEMAWAT, P. (2000) *A estratégia e o cenário dos negócios*, Bookman, Porto Alegre.

GREGORY RE. Source selection: a matrix approach. *Journal of Purchasing and Materials Management* 1986; 22: 24–9.

HAMMER, M.; CHAMPY, J. (1994) *Reengenharia revolucionando a empresa*, 18. ed. Campus, Rio de Janeiro.

HINKLE, C.L.; ROBINSON, P.J.; GREEN, P.E. (1969) Vendor evaluation using cluster analysis, *Journal of Purchasing*, 5 (3), 49-58.

HIRAKUBO, N. e KUBLIN, M. The Relative Importance of Supplier Selection Criteria:The Case of Electronic Components Procurement in Japan. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Spring, pp. 20-26, 1998.

HOLT, G.D. (1998) Which contractor selection methodology?, *International Journal of Project Management*, 16 (3), 153-164.

HUMPHREYS, P.K.; LO, V.H.Y.; MCIVOR, R.T. (2000) A decision support framework for strategic purchasing, *Journal of Processing Materials Technology*, v. 107, n.1-3, p. 353-362.

HUTCHINS, D. (1993) *Just in time*, Atlas, São Paulo.

IGNÁCIO, A. A. V.; FERREIRA FILHO V. J. M., 2004. "O uso de software de modelagem AIMMS na solução de problemas de programação matemática", *Pesquisa Operacional*, 24, 197-210.

LI, C.C.; FUN, Y.P.; HUNG, J.S. (1997) A new measure for supplier performance evaluation. *IIE Transactions on Operations Engineering*, 29, 753-758.

LIU, J.; DING, F.Y.; LALL, V. (2000) Using Data Envelopment Analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement, *Supply Chain Management: An International Journal*, 5 (3), 143-150.

MASELLA, C., RANGONE, A. (2000), "A contingent approach to the design of vendor selection systems for different types of co-operative customer/supplier relationships", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20 No.1, pp.70-84.

MANDAL, A.; DESHMUKH, S.G. (1994) Vendor selection using Interpretive Structural Modelling (ISM), *International Journal of Operations and Production Management*, 14 (6), 52-59.

MONCZKA RM, TRECHA SJ. Cost-based supplier performance evaluation. *Journal of Purchasing and Materials Management* 1988; 24:2–7.

NARASIMHAN, R. (1983) An analytic approach to supplier selection, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 1, 27-32.

NELLORE, R.; SÖDERQUIST, K. (2000) Strategic outsourcing through specifications, *Omega*, v. 28, n. 5, p. 525-540.

NG, S.T.; SKITMORE, R.M. (1995) CP-DSS: decision support system for contractor prequalification, *Civil Engineering Systems: Decision Making Problem Solving*, 12 (2), 133-160.

NYDICK, R.L.; HILL, R.P. (1992) Using the Analytic Hierarchy Process to structure the supplier selection procedure, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 28 (2), 31-36.

PAN, A.C. (1989) Allocation of order quantities among suppliers, *Journal of Purchasing and Materials Management*, 25 (2), 36-39.

PANIZZOLO, R. (1998) Applying the lessons learned from 27 lean manufactures. The relevance of relationships management. *International Journal of Production Economics*, v. 55, n. 3, 223-240.

PAPAGAPIOU, A.; MINGERS, J.; THANASSOULIS, E. (1996) Would you buy a used car with DEA?, *OR Insight*, 10 (1), 13-19.

PORTER, M.E. (1980) *Competitive strategy*, The Free Press, New York.

SARKIS, J.; TALLURI, S. (2000) A model for strategic supplier selection, In: Leenders, M. (Ed.), Proceedings of the 9th international IPSERA Conference. Richard Ivey Business School, London, Ontario, pp. 652-661.

SIFERD, S.P. Purchasing: The Cornerstone of the Total Cost of Ownership Concept. Journal of Business Logistics, Oak Brook; 1997

SMYTKA, D.L.; CLEMENS, M.W. (1993) Total cost supplier selection model: a case study, International Journal of Purchasing and Materials Management, 29 (1), 42-49.

TIMMERMAN E. An approach to vendor performance evaluation. Journal of Purchasing and Supply Management 1986;1:27-32.

THOMPSON, K. (1990) Vendor profile analysis, Journal of Purchasing and Materials Management, 26 (1), 11-18.

VOKURKA, R.J.; CHOUBINEH, J.; VADI, L. (1996) A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers, International Journal of Operations and Production Management, 16 (12), 106-127.

WEBER CA, CURRENT JR, BENTON WC. Vendor selection criteria and methods. European Journal of Operational Research 1991;50:2-18.

WEBER, C.A.; CURRENT, J.R.; DESAI, A. (1998) Non-cooperative negotiation strategies for vendor selection, European Journal of Operational Research, 108, 208-223.

WEBER, C.A.; DESAI, A. (1996) Determination of paths to vendor market efficiency using parallel co-ordinates representation: a negotiation tool for buyers, *European Journal of Operational Research*, 90, 142-155.

WILLIS, T.H.; HUSTON, C.R.; POHLKAMP, F. (1993) Evaluation measures of just-time supplier performance, *Production and Inventory Management Journal*, 2nd quarter, 1-5.

WOUTERS, M; ANDERSON, JC; WYNSTRA, F. 2005. The adoption of Total Cost of Ownership for sourcing decisions – a structural equations analysis. *Accounting Organizations and Society* 30 (2): 167-191.

YOUSEF, M.A., ZAIRI, M. e MOHANTY, B. Supplier selection in an advanced manufacturing technology environment: an optimization model. *Benchmarking for Quality Management & Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 60-72, 1996.

ZENZ, G. (1981) *Purchasing and the Management of Materials*, Wiley, New York.

## ANEXO I

Neste anexo constam resultados computacionais incorridos no ciclo de vida de cada teste efetuado neste trabalho.

### Teste II

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Aquisição	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Produto	856	820	972	926	929	933	985	1.009	1.049	858
Instalação	16	16	18	18	18	18	19	19	20	16
Manutenção	21	20	24	23	23	23	24	25	26	21
Estoque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,08	0,04
Descarte	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TCO	897	860	1019	971	973	978	1033	1057	1099	899
$\sum$ externos (%)	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
$\sum$ internos (%)	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

### Teste III

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071
Aquisição	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Produto	359	342	407	388	389	391	413	423	439	359
Instalação	5	4	5	5	5	5	5	5	6	5
Manutenção	6	5	6	6	6	6	7	7	7	6
Estoque	8	5	7	13	12	15	14	16	20	9
Descarte	18	17	20	19	19	19	20	21	22	18
TCO	397	376	448	433	434	439	462	474	496	399
∑ externos (%)	91%	92%	91%	90%	90%	90%	90%	90%	89%	91%
∑ internos (%)	9%	8%	9%	10%	10%	10%	10%	10%	11%	9%

## Teste IV

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Aquisição	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Produto	151	145	172	164	164	165	174	178	185	152
Instalação	431	413	490	466	468	470	496	508	528	432
Manutenção	364	349	414	394	395	397	420	430	446	365
Estoque	0,00	0,00	0,63	0,25	0,00	0,00	2,50	2,15	3,19	1,59
Descarte	500	479	567	541	542	545	575	589	612	500
TCO	1452	1391	1649	1571	1575	1583	1674	1713	1781	1457
$\sum$ externos (%)	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
$\sum$ internos (%)	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%

## Teste VI

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762	0,762
Aquisição	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Produto	600	575	681	649	651	654	691	707	735	601
Instalação	236	226	268	255	256	257	272	278	289	236
Manutenção	77	74	88	83	84	84	89	91	94	77
Estoque	1,61	0,00	6,55	1,08	4,59	8,39	25,97	22,36	33,20	16,49
Descarte	58	56	66	63	63	63	67	68	71	58
TCO	977	935	1114	1056	1062	1071	1148	1171	1227	994
$\sum$ externos (%)	62%	62%	62%	62%	62%	61%	61%	61%	60%	61%
$\sum$ internos (%)	38%	38%	38%	38%	38%	39%	39%	39%	40%	39%

## Teste VII

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496	0,496
Aquisição	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Produto	817	783	927	884	886	891	923	948	979	808
Instalação	1.134	1.086	1.287	1.226	1.230	1.236	1.281	1.315	1.359	1.121
Manutenção	206	197	233	222	223	224	232	239	246	203
Estoque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.058	1.086	1.122	925
Descarte	552	529	627	598	599	602	624,34	641	662	546
TCO	2719	2606	3085	2941	2949	2964	4129	4240	4380	3614
$\sum$ externos (%)	30%	30%	30%	30%	30%	30%	23%	23%	23%	23%
$\sum$ internos (%)	70%	70%	70%	70%	70%	70%	77%	77%	77%	77%

## Teste VIII

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472
Aquisição	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Produto	1.111	1.065	1.262	1.203	1.205	1.210	1.279	1.310	1.363	1.113
Instalação	513	492	583	555	556	559	590	605	629	514
Manutenção	440	421	499	476	477	479	506	518	539	440
Estoque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Descarte	1.166	1.117	1.324	1.261	1.324	1.270	1.341	1.374	1.429	1.167
TCO	3236	3101	3674	3501	3568	3524	3722	3814	3967	3241
$\sum$ externos (%)	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
$\sum$ internos (%)	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%	65%

## Teste IX

Custos	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	Problema 5	Problema 6	Problema 7	Problema 8	Problema 9	Problema 10
Fornecedor	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
Aquisição	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96	3,96
Produto	254	244	289	275	276	277	293	300	311	254
Instalação	892	854	1.013	965	967	972	1.026	1.051	1.092	892
Manutenção	1.080	1.035	1.227	1.169	1.171	1.177	1.243	1.273	1.323	1.080
Estoque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Descarte	630	604	716	682	684	687	726	743	772	630
TCO	2861	2741	3249	3095	3103	3118	3292	3372	3503	2860
$\sum$ externos (%)	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%
$\sum$ internos (%)	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%

## ANEXO II

Resultados com a política de compras.

### Teste VII

Compras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total comprada
Problema 1	204	185	167	148	129	111	92	74	56	37	18	2	1223
Problema 2	281	232	187	148	114	84	58	37	20	9	2	1	1173
Problema 3	237	217	154	125	108	97	88	81	77	72	68	64	1388
Problema 4	94	154	187	197	189	167	135	98	62	30	8	2	1323
Problema 5	50	92	125	148	161	167	161	148	125	92	50	6	1325
Problema 6	8	30	62	98	135	167	189	197	187	154	94	12	1333
Problema 7	65	68	72	77	81	88	97	108	125	154	217	255	1407
Problema 8	18	37	56	74	92	111	129	148	167	185	204	220	1441
Problema 9	2	9	20	37	58	84	114	148	187	232	281	327	1499
Problema 10	163	128	95	81	75	71	71	75	81	95	128	162	1225
Consumo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total consumida
Problema 1	204	185	167	148	129	111	92	74	56	37	18	2	1223
Problema 2	281	232	187	148	114	84	58	37	20	9	2	1	1173
Problema 3	237	217	154	125	108	97	88	81	77	72	68	64	1388
Problema 4	94	154	187	197	189	167	135	98	62	30	8	2	1323
Problema 5	50	92	125	148	161	167	161	148	125	92	50	6	1325
Problema 6	8	30	62	98	135	167	189	197	187	154	94	12	1333
Problema 7	65	68	72	77	81	88	97	108	125	154	217	255	1407
Problema 8	18	37	56	74	92	111	129	148	167	185	204	220	1441
Problema 9	2	9	20	37	58	84	114	148	187	232	281	327	1499
Problema 10	163	128	95	81	75	71	71	75	81	95	128	162	1225

## Teste VIII

Compras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total comprada
Problema 1	236	214	193	172	150	129	107	85	64	43	21	3	1417
Problema 2	325	268	217	172	132	97	67	43	23	10	3	1	1358
Problema 3	275	251	178	144	125	112	102	94	89	84	79	75	1608
Problema 4	108	178	217	228	219	193	156	113	72	35	9	3	1531
Problema 5	58	107	144	172	187	193	187	172	144	107	59	5	1535
Problema 6	9	35	72	113	156	193	219	228	217	178	111	11	1542
Problema 7	75	79	84	89	94	102	112	125	144	178	251	296	1629
Problema 8	21	43	64	85	107	129	150	172	193	214	236	255	1669
Problema 9	3	10	23	43	67	97	132	172	217	268	325	379	1736
Problema 10	188	148	110	94	86	83	83	86	94	110	148	188	1418
Consumo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total Consumida
Problema 1	236	214	193	172	150	129	107	85	64	43	21	3	1417
Problema 2	325	268	217	172	132	97	67	43	23	10	3	1	1358
Problema 3	275	251	178	144	125	112	102	94	89	84	79	75	1608
Problema 4	108	178	217	228	219	193	156	113	72	35	9	3	1531
Problema 5	58	107	144	172	187	193	187	172	144	107	59	5	1535
Problema 6	9	35	72	113	156	193	219	228	217	178	111	11	1542
Problema 7	75	79	84	89	94	102	112	125	144	178	251	296	1629
Problema 8	21	43	64	85	107	129	150	172	193	214	236	255	1669
Problema 9	3	10	23	43	67	97	132	172	217	268	325	379	1736
Problema 10	188	148	110	94	86	83	83	86	94	110	148	188	1418

## Teste IX

Compras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total comprada
Problema 1	201	182	165	146	127	110	91	72	55	36	18	2	1205
Problema 2	276	228	184	146	112	82	57	36	20	9	2	1	1153
Problema 3	234	214	151	123	106	95	87	80	76	71	67	64	1368
Problema 4	92	151	184	194	186	165	133	97	61	30	8	2	1303
Problema 5	49	91	123	146	159	165	159	146	123	91	49	5	1306
Problema 6	8	30	61	97	133	165	186	194	184	151	92	12	1313
Problema 7	64	67	71	76	80	87	95	106	123	151	214	252	1386
Problema 8	18	36	55	72	91	110	127	146	165	182	201	217	1420
Problema 9	2	9	20	36	57	82	112	146	184	228	276	323	1475
Problema 10	160	126	93	80	73	70	70	73	80	93	126	160	1204
Consumo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Quantidade total consumida
Problema 1	201	182	165	146	127	110	91	72	55	36	18	2	1205
Problema 2	276	228	184	146	112	82	57	36	20	9	2	1	1153
Problema 3	234	214	151	123	106	95	87	80	76	71	67	64	1368
Problema 4	92	151	184	194	186	165	133	97	61	30	8	2	1303
Problema 5	49	91	123	146	159	165	159	146	123	91	49	5	1306
Problema 6	8	30	61	97	133	165	186	194	184	151	92	12	1313
Problema 7	64	67	71	76	80	87	95	106	123	151	214	252	1386
Problema 8	18	36	55	72	91	110	127	146	165	182	201	217	1420
Problema 9	2	9	20	36	57	82	112	146	184	228	276	323	1475
Problema 10	160	126	93	80	73	70	70	73	80	93	126	160	1204