

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELOS MULTIATRIBUTO DE DECISÃO PARA
GESTÃO CENTRALIZADA E COORDENADA DE ESTOQUES
NUMA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE DOIS ESTÁGIOS
OPERANDO EM *SINGLE PERIOD PROBLEM***

TESE SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE DOUTOR
POR

ANDERSON JORGE DE MELO BRITO

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, OUTUBRO/2011

Catálogo na fonte
Bibliotecária Joselly de Barros Gonçalves, CRB4-1748

B862m Brito, Anderson Jorge de Melo.
Modelos multiatributo de decisão para gestão centralizada e coordenada de estoques numa cadeia de suprimentos de dois estágios operando em *Single Period Problem* / Anderson Jorge de Melo Brito. – Recife: O autor, 2011.
xi, 189 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Adiel Teixeira de Almeida.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG. Engenharia de Produção, 2011.
Inclui bibliografia e anexo.

1. Engenharia de produção. 2. Logística empresarial. 3. Controle de estoque. 4. Processo decisório por critério múltiplo. I. Almeida, Adiel Teixeira de (Orientador). II. Título.

658.5

CDD (22.ed.)

UFPE (BC2011-199)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO DE
ANDERSON JORGE DE MELO BRITO

*“MODELOS MULTIATRIBUTO DE DECISÃO PARA GESTÃO CENTRALIZADA E
COORDENADA DE ESTOQUES NUMA CADEIA DE SUPRIMENTOS.”*

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato ANDERSON JORGE DE MELO BRITO **APROVADO**.

Recife, 27 de outubro de 2011.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Profª. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutor (UFPE)

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

Prof. FLÁVIO SANSON FOGLIATTO, PhD (UFPE)

Profª. ERICA PIROS KOVACS, Doutor (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Minha sincera gratidão a Deus, que me concedeu graça e ânimo para concluir este trabalho e superar dificuldades que surgiram ao longo do caminho.

À minha querida esposa Lílian, e ao meu filho Eduardo, pela paciência e apoio nos muitos momentos de indisponibilidade no desenvolvimento desta tese.

Aos meus pais, irmãos, familiares e amigos, pelas orações e carinho.

Agradeço ao Prof. Adiel Almeida, pelos quase dez anos de orientação acadêmica e amizade, desde o início da graduação até o término deste doutorado em Engenharia de Produção.

Aos professores que compuseram a banca para a defesa desta tese, pelos comentários, sugestões e críticas para enriquecimento e aprimoramento da versão final deste trabalho.

Aos colegas de trabalho da Petrobras, em especial à Sra. Rosemary Di Cavalcanti, pela compreensão e apoio que me demonstraram ao longo desta Pós-Graduação.

Aos professores do PPGEP, funcionários do Departamento de Engenharia de Produção, e colegas de graduação, mestrado e doutorado pelos momentos de aprendizado, trabalho em equipe e companheirismo, dentro e fora das salas de aula.

RESUMO

O *single period problem* (SPP) ou problema do jornaleiro é uma ferramenta útil para o estudo de decisões de quanto pedir/produzir, assim como para análise de iniciativas de coordenação entre estágios de cadeias de suprimentos. Entretanto os modelos de SPP até então desenvolvidos são em sua maioria focados em objetivos de maximização do lucro ou minimização do custo, não incorporando julgamentos de valor sobre conseqüências não-monetárias tais como boa vontade dos clientes, imagem corporativa, e impactos ambientais das atividades das empresas. O presente trabalho apresenta uma modelagem multicritério do problema de decisão de um SPP. Com base no *framework* de MAUT e de Análise da Decisão, foi desenvolvido um modelo multiatributo para o problema do jornaleiro envolvendo conseqüências de *Lucro, Nível de Serviço e Impactos Ambientais*. Realiza-se a consideração de julgamentos de preferências sobre estes múltiplos objetivos ou dimensões de impacto, avaliadas na determinação do volume de produção/pedido característico de um SPP. Com base no modelo proposto, são apresentados dois modelos multiatributo para coordenação de uma cadeia de suprimentos de dois estágios operando em SPP. O primeiro corresponde a um modelo de decisão em grupo para uma cadeia de suprimentos centralizada. O segundo abrange um modelo multiatributo de barganha para coordenação de uma cadeia de suprimentos descentralizada. Nesses modelos, foi possível incorporar as preferências dos decisores de cada estágio da cadeia, bem como as suas atitudes em relação aos riscos associados ao processo de gestão de estoques. A abordagem multiatributo mostrou-se mais apropriada em face da complexidade da gestão de estoques em cadeias de suprimentos. Os modelos desenvolvidos mostraram-se superiores aos modelos pré-existentes em retratar compensações e conflitos entre objetivos e entre estágios das cadeias de suprimentos.

Palavras-Chave: Gestão da Cadeia de Suprimentos; Controle de Estoques; Problema do Jornaleiro; Apoio Multicritério a Decisão; Teoria da Utilidade Multiatributo.

ABSTRACT

The single period problem (SPP) or newsvendor problem is a useful tool for the study of ordering / producing decisions, as well as for analysis of coordination efforts between stages of supply chains. However, SPP models developed so far are mostly focused on goals addressing only profit maximization or cost minimization, which does not incorporate value judgments about non-monetary consequences such as customer goodwill, corporate image, and environmental impacts of company's activities. This work presents a multi-criteria decision model for the Single Period Problem. Based on the framework of MAUT and Decision Analysis, a multiattribute newsvendor model was developed involving consequences of *Profit*, *Service Level* and *Environmental Impacts*. Value judgments on these multiple objectives or impact dimensions are taken into consideration when determining the production/ordering lot size for the SPP. Based on the proposed model, two multiattribute models are presented for coordinating a two-level supply chain which operates in a SPP context. The first model corresponds to a group decision-making model for a centralized supply chain. The second one presents a multiattribute bargaining model for coordinating a decentralized supply chain. In the models developed it was possible to incorporate the preferences of decision-makers from each stage of the chain, as well as their attitudes toward the risks associated with inventory management. The multiattribute approach has shown to be more appropriate regarding the complexity of inventory management in supply chains. The developed models proved to be superior to prior models in translating trade-offs and conflicts between objectives and between stages of supply chains.

Keywords: Supply Chain Management; Inventory Control; Newsvendor Problem; Multicriteria Decision Analysis; Multi-Attribute Utility Theory.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Relevância e contribuição do estudo	2
1.2	Objetivos	5
1.3	Estrutura do Trabalho	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1	Cadeia de Suprimentos	8
2.2	Gestão de Estoques.....	9
2.2.1	Custos de estoque.....	9
2.3	Apoio Multicritério a Decisão	11
2.3.1	Atores do processo decisório	13
2.3.2	Abordagens dos métodos multicritério	13
2.4	Teoria da Utilidade e Teoria da Utilidade Multiatributo.....	15
2.4.1	Teoria da Utilidade Esperada.....	15
2.4.2	MAUT – Teoria da Utilidade Multiatributo	18
2.5	Teoria da Utilidade e Decisão em Grupo	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1	Coordenação da Cadeia de Suprimentos	25
3.1.1	Desafios na coordenação da cadeia de suprimentos	25
3.1.2	Modelos de coordenação de cadeias de suprimentos.....	28
3.2	Single Period Problem, Newsvendor Problem ou Problema do Jornaleiro.....	52
3.3	SPP e Coordenação da Cadeia de Suprimentos	69
3.4	Modelos Multiobjetivo, Multiatributo ou Multidimensionais em CS.....	79
3.5	Síntese do estado da arte	83
4	MODELO MULTIATRIBUTO DE SPP PARA UMA EMPRESA ATUANDO INDIVIDUALMENTE	88
4.1	Descrição do Modelo.....	89
4.1.1	As opções de ressuprimento emergencial	90
4.1.2	O fenômeno de retenção da demanda	91
4.1.3	Atributos de avaliação e decisão.....	93
4.1.3.1	Lucro	93
4.1.3.2	Nível de Serviço.....	95

4.1.3.3	Impactos Ambientais.....	97
4.1.4	Agregação dos múltiplos atributos e resolução do problema	101
4.2	Aplicação do Modelo	105
4.3	Análise de Sensibilidade	110
4.4	Discussão dos Resultados.....	112
5	MODELO MULTIATRIBUTO DE SPP PARA UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS CENTRALIZADA.....	116
5.1	Descrição do Modelo.....	116
5.1.1	Atributos de Avaliação e Decisão.....	120
5.1.1.1	Lucro	120
5.1.1.2	Nível de Serviço.....	121
5.1.1.3	Impactos Ambientais.....	121
5.1.2	Modelagem da decisão em grupo para resolução do problema.....	122
5.1.2.1	Avaliação individual das conseqüências.....	124
5.1.2.2	Avaliação das constantes de escala γ e agregação das preferências individuais	125
5.2	Aplicação do Modelo com Funções Utilidade Similares	126
5.3	Aplicação do Modelo com Funções Utilidade Contraditórias	133
5.4	Análise de Sensibilidade	139
5.5	Discussão dos Resultados.....	141
6	MODELO MULTIATRIBUTO DE BARGANHA PARA COORDENAÇÃO DE UMA CS DESCENTRALIZADA	144
6.1	Descrição do Modelo.....	144
6.1.1	Atributos de Avaliação e Decisão.....	147
6.1.1.1	Fornecedor.....	147
6.1.1.2	Revendedor	149
6.1.2	Agregação individual dos múltiplos atributos	151
6.1.3	O processo decisório inicial do revendedor	153
6.1.4	A avaliação pelo fornecedor e o processo de barganha	154
6.1.5	O processo decisório final do fornecedor	155
6.2	Aplicação do Modelo	156
6.3	Análise de Sensibilidade	163
6.4	Discussão dos Resultados.....	165

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	167
7.1 Conclusões.....	167
7.2 Trabalhos Futuros.....	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
ANEXO 1	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplo genérico de uma cadeia de suprimentos	8
Figura 3.1 - Dificuldades na coordenação de cadeias de suprimentos	28
Figura 3.2 – Modelos de descontos por quantidade	43
Figura 4.1 – Histograma dos lotes de compra para as opções s_3 e s_4 nos cenários simulados	111
Figura 5.1 – Curvas de função utilidade para Lucro de fornecedor e revendedor	134
Figura 5.2 – Curvas de função utilidade para Nível de Serviço de fornecedor e revendedor	135
Figura 5.3 – Curvas de função utilidade para Impactos Ambientais de fornecedor e revendedor	136
Figura 5.5 – Histograma dos lotes de compra para as opções s_3 e s_4 nos cenários de CS centralizada	139
Figura 6.1 – Vetores solução $[s_i, Q^C]$ para diferentes percentuais de retorno de produtos ao fornecedor	160
Figura 6.2 – Utilidade das respostas obtidas para diferentes percentuais de retorno ao fornecedor	161
Figura 6.3– Histograma dos lotes de compra mediante oscilações no preço de buyback.....	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 –Resumo dos principais tipos de contratos de coordenação em cadeias de suprimentos.....	50
Tabela 4.1 - Conjunto de esquemas de ressuprimento emergencial disponíveis.....	106
Tabela 4.2 - Resultados do modelo multiatributo e do modelo tradicional para o SPP	110
Tabela 4.3 – Intervalo de Confiança para Q^c no modelo multiatributo de SPP	112
Tabela 5.1 – Esquemas de ressuprimento emergencial levantados na cadeia de suprimentos	128
Tabela 5.2 –Resultados do modelo multiatributo de SPP para a CS centralizada	131
Tabela 5.3 –Resultados do modelo multiatributo de SPP para o fornecedor.....	132
Tabela 5.4 –Resultados do modelo multiatributo de SPP para o revendedor	132
Tabela 5.5 - Resultados da segunda aplicação do modelo multiatributo para a CS centralizada	137
Tabela 5.6 - Resultados da segunda aplicação do modelo para o fornecedor	138
Tabela 5.7 - Resultados da segunda aplicação do modelo para o revendedor.....	138
Tabela 6.1 – Resultados do modelo multiatributo para o revendedor na ausência de coordenação	157
Tabela 6.2 – Soluções escolhidas pelo revendedor para cada opção de buyback sondada pelo fornecedor	160
Tabela 6.3 – Utilidade para o fornecedor das soluções escolhidas pelo revendedor sob cada opção de buyback.....	161
Tabela 6.4 – Refinamento da sondagem das soluções escolhidas pelo revendedor	163
Tabela 6.5 – Utilidade para o fornecedor das soluções escolhidas pelo revendedor na nova sondagem	163

LISTA DE SIGLAS

AMD	Apoio Multicritério A Decisão, denominado internacionalmente por <i>Multiple Criteria Decision Making</i> (MCDM) ou <i>Multi-Criteria Decision Analysis</i> (MCDA)
CS	Cadeia de Suprimentos
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i> , método multicritério de apoio a decisão
JELS	<i>Joint Economic Lot Sizing</i> , ou Seleção Conjunta de Lote Econômico
LEQ	Lote Econômico de Compra
LEF	Lote Econômico de Fabricação
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i> , ou Teoria da Utilidade Multiatributo
SPP	<i>Single Period Problem</i> , também conhecido como <i>Newsvendor Problem</i> , <i>Newsboy Problem</i> , ou Problema do Jornaleiro
UTA	<i>Utilités Additives</i> , método multicritério de apoio a decisão
UTADIS	<i>Utilités Additives Discriminantes</i> , método multicritério de apoio a decisão
VMI	<i>Vendor Managed Inventory</i> , sistema de gerenciamento de estoques pelo fornecedor.

1 INTRODUÇÃO

Quanto mais competitivo o ambiente de negócios onde uma organização atua, maiores serão as pressões por um equacionamento adequado entre necessidades de redução de custos, aumento de flexibilidade, e manutenção de altos níveis de serviço. O lançamento de produtos com ciclos de vida curtos tem exigido das empresas retornos de investimentos em horizontes crescentemente menores, requerendo, dentre outras coisas, uma eficiente gestão de pedidos e estoques não apenas no âmbito de uma fábrica, mas no âmbito de toda a sua cadeia de suprimento.

A gestão de estoques em ambientes complexos é um processo que impacta diretamente os custos totais e o nível de serviço de uma cadeia de suprimentos. Só nos Estados Unidos, segundo Hillier & Lieberman (2005), mais de um trilhão de dólares estão aplicados em estoques, incluindo matérias-primas, produtos em processo e produtos acabados. Nesse sentido, reduzir estoques desnecessários e garantir uma dada disponibilidade de produto ao menor nível de estoques possível torna-se uma diretriz para cadeias de suprimento que buscam aumentar sua competitividade, sobretudo em países como o Brasil, onde as elevadas taxas de juros tornam altos os custos de oportunidade do capital (Wanke, 2008).

O problema da gestão de estoque e da integração da cadeia de suprimentos (CS) vem sendo explorado por meio de técnicas de Pesquisa Operacional desde longa data, sendo desenvolvidos modelos de programação matemática (linear e não linear, estática e dinâmica), modelos de jogos, modelos de decisão multicritério, modelos com aplicação de algoritmos evolucionários, dentre outros. Para explorar os *trade-offs* entre custos de manutenção de estoques, custos da falta de produtos e nível de serviço, os modelos mais simples de lote econômico evoluíram para modelos mais complexos que procuram retratar outros aspectos do problema, tais como incertezas, informações incompletas e assimétricas, demanda reprimida, comportamento em relação ao risco, e interação de diferentes agentes na cadeia.

Dentre os problemas estudados nessa área, se encontra a clássica questão de quanto pedir ou produzir em um único período, de forma a maximizar o lucro ou minimizar o custo em face de uma demanda probabilística, considerando que qualquer produto em estoque no fim do período precisará ser descartado ou vendido sob desconto. Este problema, conhecido como “problema de um único período” (*single period problem - SPP*) ou “problema do jornaleiro” (*newsvendor* ou *newsboy problem*) foi proposto inicialmente por Within (1955) e

desde então numerosos artigos têm sido publicados explorando uma variedade de extensões desenvolvidas para problemas do tipo *SPP* (Khouja, 1999; Keren & Pliskin, 2006).

A modelagem do tipo problema do jornaleiro, doravante denominado também de *SPP*, tem sido amplamente empregada na literatura não apenas na gestão de estoques de plantas individuais, mas também nas iniciativas de integração de cadeias de suprimentos. Ela tem sido um instrumento teórico para analisar os efeitos de diferentes mecanismos de coordenação, do compartilhamento de informações entre os elos da cadeia, e os impactos que perturbações sobre parâmetros como preços, custos e demanda podem gerar no desempenho das cadeias de suprimentos.

Nesse contexto, diversas modelagens e extensões do *SPP* foram desenvolvidas (Khouja, 1999): extensões para outro objetivo, diferente da maximização do lucro esperado, como a maximização da probabilidade de realização de um dado lucro alvo ou a maximização da utilidade esperada do lucro; extensões para diferentes políticas de preços e descontos; para diferentes modelos de barganha entre fornecedor e revendedor; para produção aleatória; para problemas multi-produto; para sistemas multi-estágios; para modelos com múltiplas locações e retorno de produtos etc.

Entretanto, percebe-se na literatura uma escassez de trabalhos que modelem o *SPP* e a coordenação de estoques de uma CS do tipo *newsvendor* sob uma perspectiva multicritério, explorando as preferências dos decisores e os seus *trade-offs* entre diferentes dimensões de conseqüências, bem como os *trade-offs* entre os diferentes elos da cadeia de suprimentos. Esta é a motivação desta tese, que propõe um tratamento para o problema fundamentado na Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT (Keeney & Raiffa, 1976), teoria desenvolvida sobre uma sólida base axiomática para o contexto de problemas com múltiplas conseqüências em face de incertezas.

1.1 Relevância e contribuição do estudo

Os três principais elementos de um modelo integrado de cadeia de suprimentos são, segundo Handfield & Nichols (1999), *gestão de estoques* (gerenciamento do fluxo de produtos e materiais), *sistemas de informação* (para controlar os fluxos de informação sobre demanda, transações financeiras etc.) e *gestão de relacionamentos* na cadeia de suprimentos.

No que concerne ao primeiro elemento citado, sabe-se que estoques geridos adequadamente podem satisfazer a demanda de consumidores, proporcionar níveis de serviço satisfatórios, suavizar planos de produção e reduzir custos operacionais de uma cadeia de

suprimentos, ao passo que falhas nesse processo podem proporcionar sérias conseqüências para a saúde financeira, para a imagem e para a competitividade da organização a longo prazo. A importância de um gerenciamento eficaz de estoques tem sido amplificada por fatores como: redução do ciclo de vida de produtos; redução dos níveis de padronização de produtos em atendimento a demandas crescentes por customização; reivindicação dos consumidores por tempos de entrega cada vez mais curtos; e redução das barreiras tarifárias ao comércio internacional, proporcionando uma maior competição em escala global que trouxe consigo maior dinamismo, complexidade e maiores incertezas associadas às mudanças no comportamento do mercado (Power, 2005).

O problema de gerenciamento de pedidos/estoques, juntamente com aspectos de fluxo de informação e de relacionamento entre os estágios de uma CS, tem sido analisado na literatura por meio de modelos de *SPP*. O problema de único período ou *SPP* é tipicamente empregado para modelar e quantificar o desalinhamento entre os membros de uma cadeia de suprimentos, e também para avaliar os impactos de diferentes iniciativas de coordenação (Ryu & Yücesan, 2010). Embora já amplamente estudado, o *SPP* permanece sendo um proeminente tema de pesquisa. A gestão de operações de produtos do tipo *newsvendor* tem atraído a atenção de acadêmicos e profissionais, sobretudo em ambientes de rápido avanço tecnológico, onde ciclos de vida de produtos tornam-se cada vez mais curtos, o que lhes confere características semelhantes a produtos sazonais com gestão em um único período (Khouja, 1999; Zhou & Wang, 2009; Hau, 2010).

A proeminência de modelagens de cadeias de suprimentos no contexto de *SPP* deve-se basicamente a dois motivos: à crescente redução dos ciclos de vida dos produtos em face dos rápidos avanços tecnológicos; e ao fato de os modelos de *newsvendor* serem um bloco básico sobre o qual são construídos diversos modelos de estoque dinâmico multi-período, de planejamento de capacidade e de projeto de contratos (Agrawal & Seshadri, 2000; Hau, 2010). Adicionalmente, no contexto da indústria de acessórios, por exemplo, Brito *et al.* (2008) apontam que a compra de produtos “de moda” tem se tornado uma atividade de lazer, sobretudo nas faixas etárias mais jovens do mercado. Neste segmento, procura-se por produtos que ofereçam novidades a baixo custo, produtos estes que são frequentemente descartados pouco depois da compra. Isso tem provocado um aumento na volatilidade da demanda de produtos com curto ciclo de vida, proporcionando dificuldades de gestão principalmente para pequenas e médias empresas com menores competências de previsão de

demanda e menores flexibilidades na gestão de estoques, o que reforça o uso de modelos de *SPP* para análise e tratamento do problema.

Paralelamente aos desafios de aumento de volatilidade da demanda e encurtamento do ciclo de vida de produtos, as empresas em cadeias de suprimentos têm se deparado com a crescente necessidade de consideração explícita de fatores não monetários em seus processos de decisão individuais e coordenados. Dentre estes fatores, destaca-se o nível de serviço, cujos impactos podem ocorrer sobre imagem da empresa, o relacionamento com os clientes, e o *market share* de longo prazo, sobretudo para empresas que atuam em mercados altamente competitivos. Esses impactos são frequentemente difíceis de serem estimados monetariamente, sendo tratados em alguns modelos através de restrições (Chen & Krass, 2001; Tempelmeier, 2006), embora julgamentos de preferências e *trade-offs* precisem ser realizados entre diferentes conseqüências de lucro e de nível de serviço (Agrell, 1995; Lenard & Roy, 1995).

Além dos impactos sobre o nível de serviço, decisões sobre quanto produzir, pedir, e armazenar, mesmo em empresas que operem em um contexto de *SPP*, precisam levar em conta aspectos de responsabilidade corporativa relacionados a impactos ambientais como poluição, geração de resíduos e descarte de produtos consumidos ou não vendidos, por exemplo (Jiménez & Lorente, 2001). Para empresas de grande porte com políticas corporativas de responsabilidade social (Cruz, 2009), a minimização de emissões decorrentes do processo de produção ou de um processo de descarte dos produtos residuais pode ser um objetivo não monetário a ser estabelecido e a ter seus impactos avaliados.

Entretanto, os modelos de *newsvendor* até então desenvolvidos – seja para agentes independentes, seja para coordenação de cadeias de suprimentos operando em *SPP* – trabalham em sua maioria com uma função objetivo caracterizada por um resultado financeiro esperado (custo ou lucro) ou pela utilidade esperada deste resultado. Eles não realizam um tratamento multicritério que permita a consideração simultânea e o confronto dos objetivos monetários e não monetários no processo de tomada de decisão de quanto pedir/produzir para um único período. Mais especificamente, não exploram as preferências dos agentes de decisão quando da realização de compensações entre os objetivos de lucro, nível de serviço e impactos ambientais, feitas no processo de tomada de decisão característica de um *SPP*. Também não retratam o comportamento multicritério dos agentes de diferentes elos da cadeia nos processos de integração da cadeia de suprimentos, nem as suas atitudes em relação ao risco multidimensional associado à gestão de estoques.

A relevância do tema e a limitação dos modelos desenvolvidos serviram de motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Esta tese, detalhada adiante, se diferencia e contribui aos trabalhos já existentes ao fazer uma modelagem multicritério do problema de decisão de um *SPP* através da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), permitindo a consideração de julgamentos de preferências sobre múltiplos objetivos ou dimensões de impacto avaliadas na determinação do volume de produção/pedido característico de um *SPP*. Com base no modelo proposto, este trabalho também apresenta dois modelos multiatributo para coordenação de uma cadeia de suprimentos de dois estágios operando em *SPP*, sob diferentes cenários de centralização da tomada de decisão. Nestes modelos, são incorporadas as preferências dos atores/estágios da cadeia, bem como as suas atitudes em relação aos riscos associados ao processo de gestão integrada de estoques em uma cadeia de suprimentos.

1.2 Objetivos

Os objetivos gerais deste trabalho são:

- Desenvolver um modelo multicritério para o Problema de Único Período, Problema do Jornaleiro, ou *SPP* fundamentado na Teoria da Utilidade Multiatributo e;
- Com base no modelo desenvolvido, apresentar uma abordagem multiatributo para o *SPP* no contexto de uma cadeia de suprimentos com múltiplos decisores/estágios, considerando um cenário de cadeia centralizada e um cenário de cadeia coordenada.

Para atingir essas metas, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos para esta tese:

1. Retratar os *trade-offs* sobre múltiplos objetivos que os agentes de decisão se deparam diante da gestão de produtos de um único período,
2. Desenvolver um modelo multiatributo de *SPP* para uma empresa independente, baseado em MAUT, considerando múltiplos atributos ou critérios de decisão, e incorporando a atitude dos decisores em relação ao risco diante das incertezas inerentes ao problema;
3. Com base no modelo de *SPP* proposto, desenvolver um modelo de decisão em grupo baseado em MAUT para uma CS centralizada de dois estágios;

4. Propor um modelo multiatributo para coordenação de uma cadeia de suprimentos fornecedor-revendedor não-centralizada, fazendo uso de um mecanismo *buyback* (retorno de produtos);
5. Realizar uma aplicação dos modelos propostos com o intuito de ilustrar o seu funcionamento, procedendo a uma análise de sensibilidade a fim de avaliar a influência de variações nos parâmetros e nas estruturas de preferência dos decisores sobre os resultados obtidos.

1.3 Estrutura do Trabalho

Com o propósito de esclarecer como o atendimento dos objetivos gerais e específicos irá ser buscado ao longo deste trabalho, é realizada a abaixo uma breve descrição da estrutura desta tese. O trabalho está estruturado em 7 capítulos a seguir:

- O presente Capítulo 1 (Introdução) apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo.
- O Capítulo 2 apresenta uma breve fundamentação teórica reunindo conceitos de Cadeia de Suprimentos, Gestão de Estoques, Apoio Multicritério a Decisão e Teoria da Utilidade, necessários para o entendimento dos modelos posteriormente construídos.
- No Capítulo 3 são apresentados os resultados de uma pesquisa bibliográfica abrangendo os benefícios e desafios da coordenação de cadeias de suprimentos, os principais mecanismos de coordenação, as características do “problema do jornaleiro” ou *Single Period Problem (SPP)*, modelos de coordenação de cadeias de suprimentos do tipo *SPP*, e modelos multiobjetivo ou multiatributo aplicados a cadeias de suprimentos. Após apresentação desta revisão, o Capítulo 3 se encerra com uma síntese do estado da arte no tema desta tese, apresentando as limitações dos estudos até então desenvolvidos que motivaram o desenvolvido deste trabalho.
- Nos Capítulos 4, 5 e 6 são desenvolvidos três modelos multiatributo de decisão, com base em Teoria da Utilidade Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976) para tratamento do *SPP* sob uma abordagem multicritério. O primeiro é um modelo de decisão individual, elaborado para uma empresa independente que opere como um *news vendor*. O segundo é um modelo de decisão em grupo, desenvolvido para o

contexto de uma cadeia de suprimentos centralizada de dois estágios. O terceiro modelo é um modelo de barganha desenvolvido para uma cadeia de dois estágios descentralizada formada por empresas autônomas, sendo apresentado um mecanismo de coordenação para agentes com tomada de decisão sob múltiplos atributos. Para ilustração destes modelos, são apresentadas simulações computacionais que, embora fictícias, se propõem a ilustrar a aplicabilidade dos modelos desenvolvidos em casos reais.

- Finalizando, o Capítulo 7 apresenta as conclusões e considerações acerca dos modelos multiatributo de *SPP* propostos, sugerindo futuros trabalhos de continuidade à pesquisa no tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos utilizados para fundamentação teórica dos modelos desenvolvidos nesta tese. Embora uma explanação aprofundada sobre estes fundamentos fuja ao escopo deste texto, são apresentados os aspectos básicos para compreensão do trabalho desenvolvido, e apontadas bibliografias de referência nos temas em questão.

2.1 Cadeia de Suprimentos

Conforme sintetizam Sarmah *et al.* (2006), uma cadeia de suprimentos (*supply chain*) consiste de um conjunto de entidades distintas (como por exemplo, fornecedores de matéria-prima, produtores, transportadores, revendedores etc) que são responsáveis pela conversão de matérias-primas em produtos acabados, tornando-os disponíveis aos consumidores finais com o propósito de satisfazer sua demanda. Envolve, desta forma, todos os esforços de interação destas entidades, para elaboração e entrega de um produto ou serviço, desde o primeiro fornecedor até o consumidor final. Uma ilustração de uma cadeia de suprimentos está presente na Figura 2.1

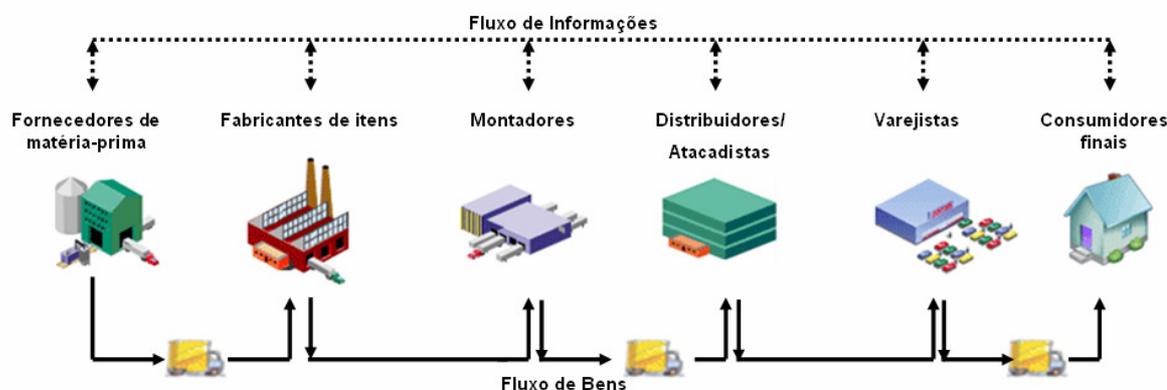


Figura 2.1 – Exemplo genérico de uma cadeia de suprimentos

Fonte: Adaptado de Reid & Sanders (2005)

As entidades de uma cadeia de suprimentos podem pertencer a uma organização proprietária ou a várias organizações autônomas. Enquanto os bens geralmente fluem à jusante, do início da cadeia até o consumidor final, um fluxo de informações relevante sobre aspectos como demanda, estoques e entregas fluem nos dois sentidos entre os participantes da cadeia (Reid & Sanders, 2005).

A administração ou gestão da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) é o gerenciamento dos fluxos de materiais e informações tanto dentro como entre instalações da cadeia, tais como as ilustradas na Figura 2.1. Mais detalhadamente, a gestão da cadeia de suprimentos engloba (Reid & Sanders, 2005):

- A coordenação da movimentação de bens entre os elos da cadeia de suprimentos, desde fornecedores de insumos a produtores, passando por distribuidores e revendedores até o cliente cuja demanda precisa ser satisfeita;
- O compartilhamento de informações relevantes, entre os componentes da cadeia de suprimentos, acerca de previsão de vendas, tendências de mercado, dados sobre entregas, campanhas promocionais etc.

A fim de garantir um melhor desempenho em termo de custo, tempo de resposta e nível de serviço, diversas estratégias são utilizadas para alinhar as atividades e os processos de negócio entre os membros de uma cadeia de suprimentos. A coordenação de cadeias de suprimentos, tema visitado na revisão bibliográfica adiante, se concentra no desenvolvimento e na implementação destas estratégias (Sarmah *et al.*, 2006).

2.2 Gestão de Estoques

O tema de gestão de estoques é um dos pilares dos estudos e dos modelos de integração de cadeias de suprimentos (Handfield & Nichols, 1999). Estoques podem ser definidos como quaisquer acumulações de matéria-prima, componentes, materiais em processo e produtos acabados que podem surgir em diversos pontos de uma cadeia de suprimentos ou do processo de produção de uma empresa. O custo de manutenção destes itens pode chegar de 20 a 40% de seu valor por ano, de forma que administrar cuidadosamente o nível de estoques em uma cadeia de suprimentos é no mínimo economicamente sensato, e na maioria dos casos, fundamental para a viabilidade econômica e para a competitividade de um negócio (Ballou, 2006).

2.2.1 Custos de estoque

Para uma ampla gama de empresas de manufatura e varejo, os custos de estoque ou custos de inventário são um dos maiores custos de operação de um negócio. Nos processos de tomada de decisão em estoques, há *trade-offs* que podem ser feitos entre estes custos e outros componentes logísticos importantes, como por exemplo, nível de serviço (Rushton *et al.*,

2000). Desta forma, faz-se necessária a compreensão dos principais elementos de custo relacionados a estoques.

Ballou (1993) identifica três grandes categorias de custos de administração de estoques, a saber: 1. Custos de manutenção; 2. Custos de requisição ou compra; 3. Custos de falta de estoques.

- **Custos de manutenção:** São os custos que incluem as despesas variáveis incorridas pela empresa em função do volume do estoque mantido por um certo período de tempo. Estes custos encerram: O custo de oportunidade do capital, relacionado a aplicações alternativas do dinheiro investido em estoques; impostos; seguros do inventário; custos de armazenagem física propriamente dita, relacionados à guarda e manuseio dos produtos; e custos de riscos relativos a obsolescência, danos, e deterioração.
- **Custos de requisição ou compra:** Também denominados de custos de emissão de pedidos (Reid & Sanders, 2005). São os custos incorridos na apresentação de uma ordem de compra a um fornecedor de matéria-prima ou de componentes, ou os custos de pedido à unidade fabricante de um produto feito internamente. Os custos de requisição incluem os custos do trabalho burocrático de preparar, liberar, acompanhar e receber pedidos, como aqueles decorrentes do processamento de pedidos pelas áreas de compras; os custos de manuseio do produto físico na doca de recepção; o custo de preparação da produção (*setup*) para fabricação do lote solicitado (no caso de suprimento interno à organização) etc.
- **Custos de falta de estoques:** São aqueles que ocorrem quando a demanda dos clientes ultrapassa o estoque disponível de um dado produto, ocorrendo a chamada “quebra de estoques”, denominada na literatura internacional de *stock-out*. Em função da reação de clientes potenciais em um cenário de insuficiência de estoques, estes custos de falta podem se caracterizar como *custos de vendas perdidas* ou *custos de atrasos*.
- O custo de vendas perdidas ocorre quando um cliente cancela seu pedido caso o produto desejado esteja em falta. Este custo pode ser estimado pela adição, ao lucro perdido na venda, de qualquer perda de lucro futuro decorrente dos impactos negativos que a falta do produto tenha gerado na boa vontade do cliente. Torna-se, portanto, um custo de difícil mensuração pois pressupõe a capacidade de prever as

intenções futuras deste cliente quanto a novas compras do mesmo produto ou das linhas de produtos da empresa.

- Os custos de atraso, de mais fácil mensuração, estão relacionados a gastos diretos adicionais que a empresa pode assumir quando o cliente aceita atrasar sua compra, aguardando até que o estoque seja repostado. Este cenário de retenção completa ou parcial de demanda é conhecido como *backlogging*, como explanado mais adiante. Estes custos são decorrentes de atividades administrativas para processamento emergencial do pedido, além de custos extraordinários de transporte caso o suprimento seja realizado fora do canal regular de distribuição.

Estes custos anteriormente descritos têm sido utilizados em técnicas quantitativas para subsidiar políticas de estoque que enfoquem a minimização do custo total (esperado ou não, a depender da abordagem probabilística ou determinística utilizada). Acerca dos custos de estoques, Rushton *et al.* (2000) esclarecem que o efeito da quantidade pedida Q sobre os custos de manutenção de estoques é que, quanto maior o lote Q , maior será o tempo médio em depósitos e maiores os custos incorridos em armazenagem. Por outro lado, escolhendo-se uma estratégia de emissão de um maior número de pedidos com valores de Q menores (lotes pequenos), obtém-se um menor nível médio de estoques, mas os custos de requisição e recebimento de produtos tornam-se maiores e podem anular as economias auferidas na armazenagem.

Para aprofundamentos e maiores detalhes nos aspectos brevemente abordados nesta seção 2.1.2, recomenda-se a consulta de referências como Ballou (1993), Rushton *et al.* (2000), Moreira (2000), Bowersox & Closs (2001), Wanke (2008) e Corrêa (2010).

2.3 Apoio Multicritério a Decisão

Tal como em problemas envolvendo gestão de estoques e gestão da cadeia de suprimentos, as pessoas e organizações se deparam freqüentemente com problemas de decisão complexos nos mais diversos contextos econômicos, sociais, políticos e tecnológicos. Geralmente, esses problemas se caracterizam pela existência de múltiplos e conflitantes objetivos a serem atingidos, mensurados por meio de atributos ou critérios de decisão. Nesse sentido, quando um problema de decisão é caracterizado pela consideração simultânea de múltiplos objetivos ou critérios para a escolha de um curso de ação, tem-se um problema de *decisão multicritério* (Almeida & Costa, 2003; Almeida, 2011).

De acordo como Campello de Souza (2002), uma boa decisão é uma consequência lógica daquilo que se quer (preferências a respeito das consequências das decisões, que podem ser certas ou incertas), daquilo que se sabe (informações a respeito das incertezas e dos outros fatores envolvidos no processo decisório) e daquilo que se pode fazer (alternativas de ação para atingir os objetivos).

Idealmente, procura-se encontrar uma alternativa de ação que tenha o máximo desempenho no conjunto de atributos à luz dos quais o problema está sendo analisado. Todavia, uma característica dos problemas de decisão em ambientes complexos é que uma alternativa dificilmente maximizará seu desempenho em todos os atributos ou critérios. Numa decisão multicritério, os critérios utilizados para avaliação de alternativas são geralmente conflitantes, havendo um complexo jogo de benefícios e perdas entre os mesmos. Esta característica conflituosa entre os critérios impede a existência de uma solução que seja “ótima” para todos os objetivos simultaneamente, levando à procura de uma “solução de compromisso” entre os atributos de decisão do problema (Zeleney, 1982; Roy, 1996; Almeida, 2011).

Em um problema com múltiplos critérios, cada alternativa de ação apresentará uma combinação própria de desempenhos nos critérios, que é comparada com as combinações das demais alternativas a fim de que se emitam juízos de valor entre estes desempenhos e se tome uma decisão a partir das conclusões obtidas. Em geral, estas comparações apresentam dificuldades de serem realizadas objetivamente, pois há problemas em que são comparados valores em diferentes dimensões, escalas, unidades etc. A opção ou alternativa a ser recomendada é aquela que apresenta a combinação de desempenhos mais desejável no que tange às preferências expressas por um decisor ou de um grupo de decisores. Dessa forma, busca-se o estabelecimento de uma relação subjetiva de preferências entre as alternativas que estão sendo avaliadas (Almeida & Costa, 2003).

Nesse contexto, o Apoio Multicritério a Decisão (AMD), denominado internacionalmente por *Multicriteria Decision Aid* (MCDA) ou *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), dentre outras variantes, se caracteriza como um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar pessoas e organizações na resolução de problemas de decisão onde vários pontos de vista, frequentemente conflitantes, precisam ser levados em consideração (Zeleney, 1982; Vincke, 1992; Roy, 1996; Almeida, 2011).

Sob o enfoque do AMD, a abordagem do problema de decisão não se destina a prescrever para o decisor uma solução única e verdadeira para o problema. Ao invés disto, os

métodos de AMD se propõem a oferecer suporte ao processo de decisão por meio da recomendação de soluções que melhor correspondam às preferências e juízos de valor expressos pelos agentes de decisão (Almeida, 2011). Nesse sentido, o AMD enfatiza o desenvolvimento de modelagens de preferências que buscam incorporar os julgamentos de valor dos agentes de decisão, buscando assim acompanhar a maneira como se desenvolvem suas preferências sobre os desempenhos das alternativas de ação, avaliadas sob a perspectiva dos múltiplos critérios considerados (Zopounidis & Doumpos, 2002).

2.3.1 Atores do processo decisório

A literatura de AMD denomina de “atores” o conjunto de pessoas que participam direta ou indiretamente de um processo decisório (Roy, 1996). Há diversas classificações para estes (Almeida, 2011). Gomes *et al.* (2009) elencam os seguintes atores envolvidos em processo de decisão: *decisor*, que é o indivíduo ou grupo que exerce influência na decisão de acordo com seus juízos de valor e com as relações de preferência que estabelece; *facilitador*, que atua na coordenação do processo decisório, procurando, de forma neutra, concentrar as atenções dos decisores na resolução do problema e destacar o aprendizado associado; e *analista*, que também pode agir como facilitador, e é o indivíduo que faz a análise do processo decisório, identificando os fatores que influenciam na configuração do problema e modelando o processo de tomada de decisão.

Adicionalmente a estes atores, existe os grupos de interesse ou *stackholders* (Roy, 1996), que influenciam o decisor através de algum tipo de pressão. Em várias circunstâncias, pode ocorrer que estes atores sejam impactados pela decisão a ser tomada, de forma que o decisor pode querer considerar, em parte, os sistemas de valor destes atores (Almeida, 2011).

2.3.2 Abordagens dos métodos multicritério

De forma geral, os métodos utilizados dentro de contexto de Apoio Multicritério a Decisão são destinados ao tratamento de problemas como os apresentados na equação 2.1:

$$\text{Max}_{a_i} \{g_1(a_i), g_2(a_i), g_3(a_i), \dots, g_j(a_i), \dots, g_k(a_i) \mid a_i \in A, j = 1, 2, 3, \dots, k\} \quad (2.1)$$

Onde $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ corresponde um conjunto finito e enumerável de n alternativas de ação potenciais, $G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_k\}$ um conjunto de k critérios segundo os quais alternativas serão avaliadas e $g_j(a_i)$ ao desempenho da alternativa a_i no critério g_j .

Considerando a importância e a complexidades deste tipo de problema, diversas abordagens de AMD foram desenvolvidas. Roy (1985) classifica estas abordagens em três grandes categorias, em função dos princípios de modelagem de preferências utilizados:

- **Abordagem de critério único de Síntese:** Nesta abordagem faz-se uso de uma função de síntese que busca agregar os desempenhos de cada alternativa a_i no conjunto G de critérios. Esta função de síntese deve ser subsequentemente maximizada ou minimizada, a depender da sua formulação no contexto do problema. Essa abordagem admite a compensação, para uma dada alternativa, de desempenhos menos satisfatórios em alguns critérios por desempenhos mais desejáveis em outros, assumindo também que todas as alternativas são comparáveis entre si e que existe transitividade nas relações de preferências (de forma que se a alternativa a_1 é preferível a a_2 e a_2 é preferível a a_3 , então a_1 será necessariamente preferível a a_3). Dentro desta abordagem, destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976).
- **Abordagem de sobreclassificação:** Envolve métodos que exploram relações de *outranking*, traduzidas por sobreclassificação, subordinação, ou prevalência (Ro, 1985; Almeida, 2011). Nestes métodos, avalia-se a credibilidade de proposições do tipo: “a alternativa a é ao menos tão boa quanto a alternativa b ”. Primeiramente, é realizada uma análise exploratória através da comparação par-a-par das alternativas, levando-se em conta todos os critérios de decisão. Em um segundo momento, relações de sobreclassificação são construídas e exploradas para auxiliar o decisor a resolver o problema. Diferentemente dos métodos compensatórios, os métodos de sobreclassificação não exploram julgamentos de compensações ou *trade-offs*, não admitindo a compensação ilimitada de desvantagens em um critério por vantagens em outro (Vincke, 1992). Estes métodos podem ser utilizados a fim de selecionar um subconjunto finito de alternativas, classificá-las ou mesmo ordená-las (Roy, 1996).
- **Abordagens de julgamentos iterativos:** Compreende métodos e algoritmos de solução baseados em cálculos alternados, rendendo sucessivas soluções que são utilizadas como informação e *input* para refinamento dos julgamentos realizados pelos decisores antes da execução de uma nova rodada de cálculos. Estes métodos são desenvolvidos sobretudo para o contexto de programação matemática multi-objetivo.

Para informações mais detalhadas sobre os métodos desenvolvidos em cada abordagem, bem como sobre problemáticas de decisão, modelagem de preferências e outros conceitos em AMD, são sugeridas bibliografias de referência como Keeney & Raiffa (1976), Vincke (1992), Roy (1996) e Almeida (2011).

2.4 Teoria da Utilidade e Teoria da Utilidade Multiatributo

Dentro do contexto do Apoio Multicritério a Decisão, realiza-se a seguir uma breve explanação acerca de conceitos básicos de Teoria da Utilidade e Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), utilizados no desenvolvimento dos modelos deste trabalho. São também apresentadas bibliografias de referência para possíveis consultas mais detalhadas nestes temas.

2.4.1 Teoria da Utilidade Esperada

Quando se procura realizar um processo de escolha entre duas ou mais opções em um problema de decisão, normalmente faz-se isso tendo em vista obter-se a melhor forma de atingir um ou mais objetivos. Por sua vez, a avaliação do alcance dos objetivos estabelecidos é precedida pelo estabelecimento de medidas sobre as conseqüências decorrentes da escolha de cada alternativa de ação (Almeida, 2011).

A Teoria da Utilidade de von Neuman & Morgenstern ou Teoria da Utilidade Esperada (Campello de Souza, 2002; Almeida, 2011) permite avaliar tais conseqüências por meio de um processo de elicitacão de preferências que se destina a incorporar ao problema a atitude do decisor em relação ao risco. Esse processo permite criar uma nova escala, a escala de *utilidade*, que estabelece para cada conseqüência um valor de utilidade. O objetivo da Teoria da Utilidade é o desenvolvimento de um modelo matemático para representar a desejabilidade do decisor pelas conseqüências que as alternativas de ação poderão lhe proporcionar (Campello de Souza, 2002). Dessa forma, a Teoria da Utilidade é proposta para quantificar essa desejabilidade, associando aos bens um valor que represente um critério de escolha pelo decisor. O processo de escolha é então realizado com base na escala de utilidade, agregando os aspectos de incerteza presentes no problema de decisão.

A solução do problema de decisão por meio da Teoria da Utilidade envolve, a rigor, a avaliação das preferências por distribuições de probabilidade sobre os bens, o que permite capturar a psicologia do decisor com relação à tomada de decisão sob incerteza e o seu comportamento em relação ao risco (Campello de Souza, 2002). Realiza-se, assim, a

maximização de uma função real, denominada de “função utilidade”, que represente matematicamente as preferências do decisor diante de incertezas nas conseqüências do problema. Em virtude das propriedades estatísticas destas distribuições, o problema pode ser resolvido pela maximização do valor esperado da função utilidade. Este valor esperado, também denominado de utilidade esperada, é obtido pela combinação da função utilidade sobre as conseqüências determinísticas com a distribuição de probabilidades em relação às conseqüências consideradas (Almeida, 2011).

Para o desenvolvimento dessa Teoria, cujas principais contribuições foram dadas por von Neuman & Morgenstern na primeira metade do século XX (von Neumann & Morgenstern, 1944), foi estabelecido um conjunto de axiomas de preferência que modelam o comportamento racional do decisor (Campello de Souza, 2002). Considere-se que $P, Q, R \in P^*$, bem como a seguinte notação:

- $P \sim Q$: a conseqüência P é indiferente à conseqüência Q;
- $P \succ Q$: a conseqüência P é preferível à conseqüência Q;
- $P \prec Q$: a conseqüência Q é preferível à conseqüência P.

Tem-se então o seguinte conjunto de axiomas:

1. *Axioma da Completeza* ou de *Ordenabilidade*: Dadas as conseqüências P e Q, pode-se dizer que $P \succ Q$ ou $P \sim Q$ ou $P \prec Q$;

2. *Axioma da Transitividade*:

- $P \succ Q$ e $Q \succ R \Rightarrow P \succ R$
- $P \sim Q$ e $Q \sim R \Rightarrow P \sim R$

3. *Axioma da Dominância*:

- Se $P \succ Q$ e $1 \geq \lambda > 0$, então $\forall R \in P^*$ tem-se: $\lambda P + (1 - \lambda)R \succ \lambda Q + (1 - \lambda)R$;
- Se $P \sim Q$ e $1 \geq \lambda > 0$, então $\forall R \in P^*$ tem-se: $\lambda P + (1 - \lambda)R \sim \lambda Q + (1 - \lambda)R$.

Aqui, pode-se interpretar $\lambda P + (1 - \lambda)Q$ como uma loteria composta onde se ganha uma distribuição P com probabilidade λ e uma distribuição Q com uma probabilidade $1 - \lambda$ (Campello de Souza, 2002).

4. *Axioma Arquimediano*: Se $P \succ Q \succ R$, então existem números λ e μ tais que $1 > \lambda > \mu > 0$ e tais que $\lambda P + (1 - \lambda)R \succ Q \succ \mu P + (1 - \mu)R$.

O Axioma da Completeza impõe que quaisquer duas conseqüências P e Q podem ser comparadas, permitindo a ordenação de todas as conseqüências de um conjunto segundo as preferências de um decisor. O Axioma da Transitividade é um axioma de racionalidade, possuindo um caráter normativo e estabelecendo a transitividade de preferências. O Axioma da Dominância assume que se for adicionada probabilisticamente, através de uma loteria, uma dada conseqüência a ambos os lados de uma relação de preferência, esta relação permanece válida. Dessa forma, garante-se a linearidade em probabilidade da função utilidade que representará a ordem de preferências. Por fim, o Axioma Arquimediano expressa uma característica de continuidade, afirmando que entre duas conseqüências P e R quaisquer, com P preferível a R , existe sempre outra conseqüência Q que é menos preferível que P e mais preferível que R .

Atendidos estes axiomas, uma função u é dita uma *função utilidade* se (Campello de Souza, 2002):

1. $u: \mathcal{P}^* \rightarrow \mathbb{R}$, ou seja, para toda distribuição $P \in \mathcal{P}^*$ há a correspondência de um número real $u(P)$;
2. Estes números $u(P)$ atribuídos preservam a ordem de preferências entre as conseqüências, no sentido de que $P \succ Q \Leftrightarrow u(P) > u(Q)$ e $P \sim Q \Leftrightarrow u(P) = u(Q)$.
3. Existe linearidade: $u[\lambda P + (1 - \lambda)Q] = \lambda u(P) + (1 - \lambda)u(Q)$. Em outras palavras, a utilidade atribuída a uma combinação convexa de distribuições é a combinação convexa das utilidades das distribuições. Dessa forma, ela é calculada como um valor esperado.

Segundo Almeida (2011), a elicitação da função utilidade para as conseqüências de um problema de decisão pode ser realizada através de duas técnicas: *avaliação direta* das utilidades ou *levantamento da função utilidade*. Segue uma breve descrição das mesmas (Gomes *et al.*, 2009; Almeida, 2011):

1. *Avaliação direta*: Esta técnica abrange inicialmente a identificação pelo decisor da conseqüência mais desejável e menos desejável (\bar{P} e \underline{P} , respectivamente), que serão os valores extremos da escala. Os demais valores são obtidos por meio da determinação da probabilidade λ de o decisor ficar indiferente entre obter cada conseqüência com certeza ou obter uma loteria $\lambda \bar{P} + (1 - \lambda)\underline{P}$ (onde se tem a probabilidade λ de se ganhar a conseqüência \bar{P} e $1 - \lambda$ de se obter de obter a

consequência \underline{P}). Esta técnica é limitada a problemas com um conjunto discreto de poucas consequências.

2. *Levantamento da função utilidade* – Esta técnica baseia-se no procedimento da avaliação direta, onde a partir da utilidade de algumas consequências, é ajustada a melhor curva de regressão cuja equação irá representar a função utilidade, possibilitando determinar a utilidade de qualquer consequência no intervalo predefinido. É aplicada a problemas com um número maior de consequências.

De posse da função utilidade, aplica-se o princípio de maximização da utilidade esperada para as escolhas da melhor alternativa no problema sob incerteza. Isto decorre de uma propriedade em que, para duas distribuições de probabilidade P_1 e P_2 sobre um vetor de consequências multidimensionais \hat{c} , tem-se:

$$P_1 \succsim P_2 \Leftrightarrow E_{P_1}[u(\hat{c})] \geq E_{P_2}[u(\hat{c})] \quad (2.2)$$

Em outras palavras, P_1 será no mínimo tão preferível quanto P_2 se e somente se o valor esperado da utilidade das consequências \hat{c} sob a distribuição P_1 , (E_{P_1}), for tão grande quanto o valor esperado da utilidade das consequências \hat{c} sob P_2 , (E_{P_2}).

2.4.2 MAUT – Teoria da Utilidade Multiatributo

A Teoria da Utilidade Multiatributo, frequentemente denominada de MAUT (do inglês *Multi-Attribute Utility Theory*), derivou da Teoria da Utilidade com o objetivo de incorporar a essa última o tratamento de problemas com múltiplos critérios ou atributos (Gomes *et al.*, 2009). Como Almeida (2011) saliente, embora haja autores que classifiquem MAUT entre os métodos aplicáveis a problemas discretos, a concepção inicial de MAUT, associada à Teoria da Decisão, envolve a solução de problemas com conjunto de ações discreto ou contínuo.

Em um problema de decisão multicritério ou multiatributo (fazendo-se aqui a intercambialidade dessas palavras) modelado com MAUT, a cada alternativa de ação $a \in A$ (sendo A discreto ou contínuo) estão associadas consequências multidimensionais representadas por n atributos ou critérios, avaliados por $X_1(a), X_2(a), \dots, X_n(a)$. Em outras palavras, o conjunto dos atributos X_j , $j = (1, 2, 3, \dots, n)$, associa a cada opção a um ponto $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ em um espaço n -dimensional de consequências. Dessa forma, o problema do agente de decisão refere-se à escolha da alternativa de ação a que o deixe mais satisfeito com o vetor resultante $X_1(a), X_2(a), \dots, X_n(a)$, sabendo que há incerteza sobre o valor final que cada $X_j(a)$ irá assumir (Keeney & Raiffa, 1976; Almeida, 2011).

Dessa forma, faz-se necessário um índice ou medida-síntese que retrate a utilidade do vetor $X_1(a), X_2(a), \dots, X_n(a)$ por meio de um valor de desejabilidade, que no contexto de MAUT será a função utilidade multiatributo (Almeida, 2011). Procura-se obter uma função utilidade multiatributo u , definida sobre todo o espaço n -dimensional de conseqüências $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, com a seguinte propriedade (equação 2.3):

$$u(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) > u(x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_n) \Leftrightarrow x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \succ x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_n) \quad (2.3)$$

Através de protocolos estruturados de elicitacão (vide Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977; Campello de Souza, 2002 e Wanderley, 2008 para maiores detalhes) pode-se proceder a julgamentos de valor para elicitacão da utilidade do vetor $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, mas esse é um procedimento cognitivamente mais complexo (Keeney & Raiffa, 1976; Almeida, 2011). Em geral, busca-se obter uma função que agregue as funções utilidade para cada atributo, como apresentado na equação 2.4:

$$u(a) = u(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = f[u_1(x_1), u_2(x_2), u_3(x_3), \dots, u_n(x_n)] \quad (2.4)$$

Uma forma típica bastante utilizada para a função utilidade multiatributo é a função utilidade aditiva, representada pela forma a seguir:

$$u(a) = \sum_{j=1}^n k_j u_j(a) \quad (2.5)$$

Nesta expressão, $u_j(a)$ denota a função utilidade unidimensional da alternativa a segundo o j -ésimo atributo e k_j (com $k_j \geq 0$) representa uma constante de escala relativa a este atributo (Gomes *et al.*, 2009). Esta constante de escala é ocasional e indevidamente chamada de peso, uma denominação inapropriada uma vez que a mesma é uma métrica que conjuga não apenas a importância do atributo, mas também a amplitude da dispersão dos desempenhos das alternativas neste último.

A confrontação das preferências do decisor com os axiomas da Teoria distingue o uso de MAUT como Teoria do uso de MAUT apenas como método (Almeida, 2011). Para o uso como teoria, um conjunto de hipóteses sobre a estrutura de preferências do decisor devem ser atendidas, a fim de que estas preferências possam ser representadas pela função utilidade aditiva. As mais importantes delas são a *independência em utilidade* e a *independência aditiva* entre os atributos.

Segundo Keeney & Raiffa (1976), um atributo Z_1 é independente em utilidade de um atributo Z_2 quando preferências condicionais por loterias em Z_1 , dado um nível de Z_2 fixado, não dependem do nível particular de Z_2 . Por sua vez, os atributos $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ apresentam independência aditiva se as preferências por loterias nestes atributos dependem apenas das distribuições de probabilidade marginais sobre os mesmos, e não de alguma probabilidade conjunta de dois ou mais atributos dentre $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ (Almeida, 2011).

No uso de MAUT como teoria, para utilização da função utilidade aditiva, as condições de independência em utilidade e a independência aditiva precisam ser confirmadas através da confrontação da estrutura de preferências do decisor com as condições de independência exigidas pelos axiomas da teoria. Uma vez confirmadas, procede-se ao processo de avaliação com o decisor para determinação dos parâmetros da função utilidade aditiva, ou seja, das constantes de escala. Contudo, em muitos casos, esta confrontação não é realizada, e a função utilidade aditiva é assumida para representar a utilidade de uma alternativa diante de múltiplos atributos. Isso distingue o uso do MAUT como teoria do uso do MAUT como método, onde, por simplificação e conveniência, isso não é realizado, utilizando-se a função utilidade aditiva arbitrariamente (Almeida, 2011).

Para maiores detalhes sobre Teoria da Utilidade e Teoria da Utilidade Multiatributo, seus aspectos filosóficos, estrutura axiomática e conceitos associados de propensão ao risco, independência em utilidade e independência aditiva, dentre outros aspectos, recomenda-se a consulta de bibliografias de referência como von Neumann & Morgenstern (1944), Keeney & Raiffa (1976), Campello de Souza (2002) e Almeida (2011).

2.5 Teoria da Utilidade e Decisão em Grupo

Além de diversas situações onde decisões precisam ser tomadas sob incerteza, freqüentemente a responsabilidade pela tomada de decisão não recai apenas sobre um indivíduo, mas envolve um grupo de indivíduos. Neste caso, o grupo como um todo precisa lançar mão de um método que permita selecionar a alternativa de ação que represente a melhor opção para o grupo, embora a opção escolhida não necessariamente seja a melhor para cada um dos decisores de maneira individual.

Uma abordagem de decisão em grupo que se fundamenta sobre os conceitos de Teoria da Decisão (Berger, 1985; Campello de Souza, 2002) e Teoria da Utilidade (von Neumann & Morgenstern, 1944), esta última explanada anteriormente, é a construção de uma função de

bem-estar social (*cardinal social welfare function*) ou função de “utilidade de grupo”, conforme apresentado por Keeney & Kirkwood (1975).

Considerando processos decisórios individuais sob incerteza, Teoria da Utilidade e MAUT foram desenvolvidas para subsidiar uma tomada de decisão fundamentada sobre uma base axiomática sólida e bem estruturada. Nesse contexto, conforme discorrido na seção 2.4, o indivíduo deve escolher a alternativa que maximiza sua utilidade esperada (equação 2.6):

$$\text{Max}_{a_j} E_j[u(\hat{c})] = \sum_c u(\hat{c}) p_j(\hat{c}) \quad (2.6)$$

Onde u é a função utilidade do decisor, \hat{c} é o vetor de conseqüências e p_j é a distribuição de probabilidade sobre as conseqüências dado que a alternativa a_j foi escolhida.

Para o caso de decisões em grupo, uma teoria denominada de “posição Bayesiana de grupo” (*group Bayesian position*), discutida por Raiffa (1970), torna-se razoável para certas situações. De acordo com esta teoria, um grupo de natureza cooperativa deve ser visto como uma entidade cujas preferências obedecem aos axiomas da Teoria da Utilidade (Raiffa, 1970). Nesse sentido, a solução recomendada para o problema de decisão do grupo é a alternativa a_j que maximiza a seguinte expressão (Keeney & Kirkwood, 1975):

$$\text{Max}_{a_j} E_j[W(\hat{c})] = \sum_c W(\hat{c}) P_j(\hat{c}) \quad (2.7)$$

Onde W é a função cardinal de “bem-estar” ou de utilidade do grupo e P_j é a distribuição de probabilidade sobre as conseqüências de escolher a alternativa a_j (distribuição esta que pode ser objetivamente determinada por dados ou subjetivamente determinada pelo grupo).

Dentro desta abordagem, torna-se necessário obter as funções $W(\hat{c})$ e $P_j(\hat{c})$. Segundo Keeney & Kirkwood (1975), uma condição que naturalmente se impõe para estas funções é que a preferência coletiva (W) dependa apenas das preferências dos membros do grupo, e que os julgamentos do grupo sobre os “estados da natureza” (P_j) dependam apenas dos julgamentos realizados pelos próprios membros deste grupo. Em outras palavras:

$$W(\hat{c}) = w[u_1(\hat{c}), u_2(\hat{c}), \dots, u_M(\hat{c})] \quad (2.8)$$

$$P_j(\hat{c}) = p[p_j^1(\hat{c}), p_j^2(\hat{c}), \dots, p_j^M(\hat{c})] \quad (2.9)$$

Nas expressões 2.8 e 2.9, M é o número de indivíduos (decisores) do grupo, u_k é a função utilidade sobre o vetor de conseqüências \hat{c} do k -ésimo membro do grupo ($k=1,2,\dots,M$), p_j^k é a distribuição de probabilidade que o decisor k associa ao vetor de conseqüências quando a_j é escolhida, e w e p são funções de agregação dos julgamentos individuais.

Segundo Keeney & Kirkwood (1975), há pelo menos dois diferentes tipos de problemas de decisão onde uma análise Bayesiana de grupo é útil. No primeiro deles, uma pessoa específica ou um subgrupo é quem de fato precisa tomar a decisão, entretanto, esta pessoa deseja incorporar as preferências de todos os membros do grupo em seu processo de tomada de decisão. Este indivíduo ou subgrupo, denominado na literatura como “ditador benevolente” (*benevolent dictator*) ou supra-decisor (*supra decision-maker*) (Keeney & Raiffa, 1976; Leyva-López & Fernández-González, 2003) é alguém que tem responsabilidade pela decisão, mas que deseja ter a participação dos outros membros do grupo e a agregação de seus pontos de vista. Neste tipo de situação, é razoável assumir que o supra-decisor especifica as formas de w e p nas expressões 2.8 e 2.9.

No segundo tipo de problema de decisão em grupo, mais complexo que o primeiro, o grupo inteiro é coletivamente responsável pela decisão. Neste caso, o grupo como um todo é responsável pela determinação da forma das funções w e p .

Diferente da abordagem da Teoria da Utilidade para decisões individuais, o foco da abordagem Bayesiana de grupo não é obter as utilidades esperadas dos indivíduos, embora W tenha como base as funções utilidade u_k individuais. Ao invés disso, procura-se determinar o valor esperado para a função utilidade do grupo, a fim de maximizar a satisfação coletiva por meio da obtenção de uma “solução de compromisso” entre os membros do mesmo.

Analisando o mecanismo de obtenção da função utilidade do grupo (W), Keeney & Kirkwood (1975) apresentam duas condições que devem ser atendidas por W , condições estas que especificam como a função de bem-estar ou utilidade do grupo deve se comportar em casos extremos:

- **Condição 1:** Para qualquer indivíduo k , $k = 1, 2, \dots, M$, se todos os outros $M-1$ membros do grupo estiverem indiferentes entre todas as possíveis consequências, então as preferências do grupo por quaisquer loterias sobre estas consequências serão as preferências do indivíduo k ;
- **Condição 2:** Para quaisquer dois indivíduos k e h , onde $k, h = 1, 2, \dots, M$ e $k \neq h$, se todos os outros $M-2$ membros do grupo forem indiferentes entre todas as possíveis consequências, então as preferências do grupo por quaisquer loterias sobre estas consequências serão governadas apenas pelas preferências dos indivíduos k e h .

Ambas as funções $W(\hat{c})$ e $u_k(\hat{c})$, $k = 1, 2, \dots, M$, são funções utilidade cardinais. Assim, dado que $W(\hat{c})$ precisa atender à Condição 1 em casos extremos, esta função precisa levar às mesmas decisões que $u_k(\hat{c})$ nestes casos. Sendo isto verdadeiro, pode-se demonstrar que $W(c)$

deve ser uma transformação linear positiva de $u_k(\hat{c})$. (von Neumann & Morgenstern, 1944; Campello de Souza, 2002; Almeida, 2011). Em outras palavras:

$$W(\hat{c}) = a_k + b_k \cdot u_k(\hat{c}), \quad k = 1, 2, \dots, M. \quad (2.10)$$

Onde a_k e b_k são constantes e $b_k > 0$.

Considerando esta característica para todos os M decisores do grupo, obtém-se por paralelismo resultados idênticos aos da Teoria da Utilidade Multiatributo se quaisquer atributos (decisores) u_k e u_h forem conjuntamente independentes em utilidade de todos os outros atributos (Keeney & Kirkwood, 1975). Dessa forma, estes autores demonstram que:

- Dado que a Condição 1 é válida, então:

$$W(\hat{c}) = \sum_{k=1}^M \gamma_k u_k(\hat{c}) + \sum_{\substack{k=1 \\ j>k}}^M \gamma_{kj} u_k(\hat{c}) u_j(\hat{c}) + \dots + \gamma_{1,2,\dots,M} u_1(\hat{c}) u_2(\hat{c}) \dots u_M(\hat{c}) \quad (2.11)$$

Onde W e u_k são estabelecidos no intervalo $[0;1]$, e os parâmetros γ_k ($k=1,2,\dots, M$) são constantes e tais que $0 < \gamma_k < 1$ para todos os k 's.

- Dado que as Condições 1 e 2 são válidas e o grupo possui ao menos três membros, então:

$$W(\hat{c}) = \sum_{k=1}^M \gamma_k u_k(\hat{c}) + \gamma \sum_{\substack{k=1 \\ j>k}}^M \gamma_k \gamma_j u_k(\hat{c}) u_j(\hat{c}) + \dots + \gamma^{M-1} \gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_M u_1(\hat{c}) u_2(\hat{c}) \dots u_M(\hat{c}) \quad (2.12)$$

Onde, semelhantemente, W e u_k são estabelecidos no intervalo $[0;1]$, os parâmetros γ_k ($k=1,2,\dots, M$) são constantes e tais que $0 < \gamma_k < 1$ para todos os k 's, e $\gamma > -1$.

A abordagem para avaliação e determinação das constantes de escala γ dependerá do tipo de problema mencionado anteriormente. No caso da existência de um supra-decisor, os parâmetros γ deverão ser avaliados por este indivíduo, de forma que a sua função utilidade $W(c)$ em 2.11 ou 2.12 seja também a função utilidade do grupo, ou seja, represente as preferências do grupo de indivíduos como coletividade. Similarmente ao processo de elicitação das constantes de escala dos atributos em MAUT (Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977; Almeida, 2011), a avaliação dos parâmetros γ envolve a comparação interpessoal das medidas de utilidade (graus de satisfação) dos indivíduos, bem como a importância relativa que o supra-decisor deseja dar aos pontos de vista de diferentes indivíduos. Para o segundo caso, onde o grupo como um todo tem a responsabilidade final pela decisão, as constantes de escala γ precisam ser avaliadas pelo grupo inteiro por meio de um esquema de arbitragem que

leve a um espaço cada vez mais restrito de constantes dentro do qual todos os membros do grupo tenham atingido a concordância (Keeney & Kirkwood, 1975).

Para explanações adicionais neste assunto são recomendados os trabalhos de referência de Raiffa (1970) e Keeney & Kirkwood (1975).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica a fim de apresentar contribuições seminais e relevantes anteriormente desenvolvidas no tema em estudo. Embora uma cobertura exaustiva dos trabalhos não seja possível, diante da ampla disseminação de pesquisas e inúmeros trabalhos publicados nesta área, procurou-se mapear o estado da arte dos trabalhos em *single-period problem* e em coordenação de cadeias de suprimentos. Algumas limitações deste estado da arte serão trabalhadas com a aplicação de conceitos apresentados na Base Teórica desta tese, quando da formulação do modelo de decisão adiante proposto.

3.1 Coordenação da Cadeia de Suprimentos

No contexto da gestão da cadeia de suprimentos, termos como integração, colaboração, cooperação e coordenação podem ser considerados como sinônimos. Essa convenção pode ser seguida, segundo Arshinder *et al.* (2008), sem perda de generalidade, uma vez que as idéias de integração (combinação das partes como um todo), colaboração (trabalho conjunto) e cooperação (operação com auxílio mútuo) podem ser consideradas como elementos dos esforços de coordenação de uma CS. Uma definição, apresentada na literatura, para este conceito é o ato de gerenciar as interdependências entre entidades e o esforço conjunto destas últimas em trabalhar juntas a fim de atingir objetivos mutuamente definidos (Malone & Crowston, 1994 *apud* Arshinder *et al.*, 2008).

3.1.1 Desafios na coordenação da cadeia de suprimentos

Diversas publicações, como as apresentadas a seguir, demonstram os benefícios substanciais decorrentes da gestão integrada da cadeia de suprimentos, e apontam que a falta de coordenação pode proporcionar um desempenho insatisfatório de toda a cadeia. Em estudo citado por Fisher *et al.* (1994), estimava-se que a fraca coordenação entre os membros das cadeias de suprimentos da indústria alimentícia americana resultava em perdas de 30 bilhões de dólares por ano. Nestas e nas outras cadeias, o desalinhamento entre suprimento e demanda ao longo da CS provoca elevação de custos, excesso de estoques, obsolescência de produtos e muitas vezes, descarte destes últimos. As conseqüências da falta de coordenação se estendem a previsões sem acurácia, capacidade ociosa, problemas no giro de estoque, na qualidade,

elevação do tempo de atendimento, atraso na entrega de pedidos e baixa satisfação do consumidor (Arshinder *et al.*, 2008).

A despeito dos benefícios da gestão integrada da CS, esta gestão se apresenta como um desafio para acadêmicos e gestores. Embora o produto usado pelo consumidor final passe por um conjunto de organizações que contribuem com agregação de valor ao produto antes do consumo, as organizações que compõem uma cadeia são frequentemente independentes, tanto economicamente, quanto gerencialmente (Li & Wang, 2007; Arshinder *et al.*, 2008). Mesmo que soluções integradas possam gerar resultados “ótimos” de desempenho para a cadeia de suprimentos como um todo, estes resultados nem sempre serão vistos como vantajosos por cada membro ou estágio de uma CS (Sucky, 2006). Em decorrência disto, com frequência as empresas se preocupam em focar a maximização de seus resultados individuais, preterindo assim os resultados da cadeia para um segundo plano.

Além de diversas empresas não vislumbrarem os aspectos fundamentais de uma CS, outras mais esclarecidas sobre sua dinâmica são frequentemente incapazes de liderar – por razões técnicas, econômicas ou gerenciais – uma coordenação inter-organizacional na cadeia. Observa-se em diversos casos em que cadeias de suprimento eficazes possuem uma organização dominante que percebe os benefícios da coordenação e pressiona o resto da cadeia a cooperar com esta iniciativa. Destaca-se, por exemplo, o caso da Wal-Mart, uma rede de supermercados americana que é líder mundial no setor de varejo (Arshinder *et al.*, 2008).

Analisando o relacionamento entre os membros de diferentes estágios de uma CS de construção civil no Brasil, Bandeira *et al.* (2009) afirmam que o relacionamento nas cadeias se desenvolve por meio de relações complexas de dependência, poder, dominação e cooperação. Para os autores, poder e a confiança tendem a coexistir em diferentes aspectos no processo de coordenação de cadeias de suprimentos. Entretanto, a forma como essa coexistência se manifesta varia segundo a estrutura e características da cadeia, não sendo possível generalizar que a coordenação de uma cadeia se desenvolva apenas com base em relações de dominação ou de cooperação.

Entretanto, muitas cadeias de suprimento não apresentam uma empresa com poder suficiente para estabelecer uma relação de coordenação entre os elos da cadeia. Nestes casos, é comum se observarem problemas oriundos de objetivos conflitantes entre os membros da cadeia, levando a relações de curto prazo e a mudanças de parceria que mantêm o ambiente e as expectativas da CS em recorrente mutação (Arshinder *et al.*, 2008).

Arshinder *et al.* (2008) realizam uma revisão da literatura com o objetivo de levantar diferentes perspectivas nas quais a coordenação de cadeias de suprimento é abordada, discutindo o papel que esta coordenação representa para diferentes modelos e empresas, e propondo um procedimento para implementação de diferentes mecanismos de coordenação ao longo da cadeia. Segundo os autores, são diferentes as expectativas que os diversos atores de uma cadeia possuem sobre o processo de integração, bem como são diferentes os graus de influências que estes atores possuem sobre a cadeia de suprimentos. Além disso, uma vez que as diversas atividades/ processos de uma CS são diferentes, os requisitos necessários para viabilizar a coordenação variam conforme a complexidade das atividades, e deve-se estar atento a isso.

De acordo com estes autores, as seguintes dificuldades em coordenar os membros de uma cadeia de suprimentos podem ser percebidas:

- Existência de diferenças de interesses dos membros da CS, uma vez que estas pessoas geralmente trabalham em firmas individuais baseadas em perspectivas locais, e não sistêmicas. Estas perspectivas fomentam comportamentos oportunistas que levam ao desalinhamento entre suprimento e demanda e a outras ineficiências na cadeia;
- Conflito de objetivos, discordâncias sobre áreas de abrangência dos poderes decisórios e de ações, e diferenças na percepção da realidade em processos decisórios em conjunto;
- O uso de medidas de desempenho tradicionais baseadas em performances individuais, que podem ser insatisfatórias para a maximização dos resultados da CS sob uma gestão coordenada;
- Políticas tradicionais, e suas conseqüentes regras e procedimentos, que podem ser irrelevantes ou conflitantes com novas condições de relacionamento inter-organizacional;
- Dificuldades decorrentes de produtos com curto ciclo de vida e parceiros inseridos em ambientes de negócio em rápido processo de mudança

Estas e outras dificuldades são representadas esquematicamente em um diagrama espinha de peixe, conforme Figura 3.1.

Embora a coordenação de cadeias de suprimento possa proporcionar melhorias na competitividade de empresas - decorrentes de redução de custos e aumentos de flexibilidade, por exemplo - a concorrência entre empresas do mesmo ramo (na mesma cadeia logística, ou em cadeias diferentes) pode se apresentar também como um fator dificultador dos esforços de

integração. Nas palavras de um executivo do ramo do varejo: “Nós queremos ter a eficiência de volume, e não dar as eficiências aos produtores. Se eles dispuserem das eficiências de volume através de seus canais de distribuição, então eles poderão oferecer a qualquer um, inclusive a nossos concorrentes, um preço mais barato” (Neuman & Samuels, 1996, p.8). Com este ponto de vista, diversos agentes do ramo de revenda e varejo não se sentem incentivados a empenhar esforços de integração com outros membros da cadeia de suprimentos.

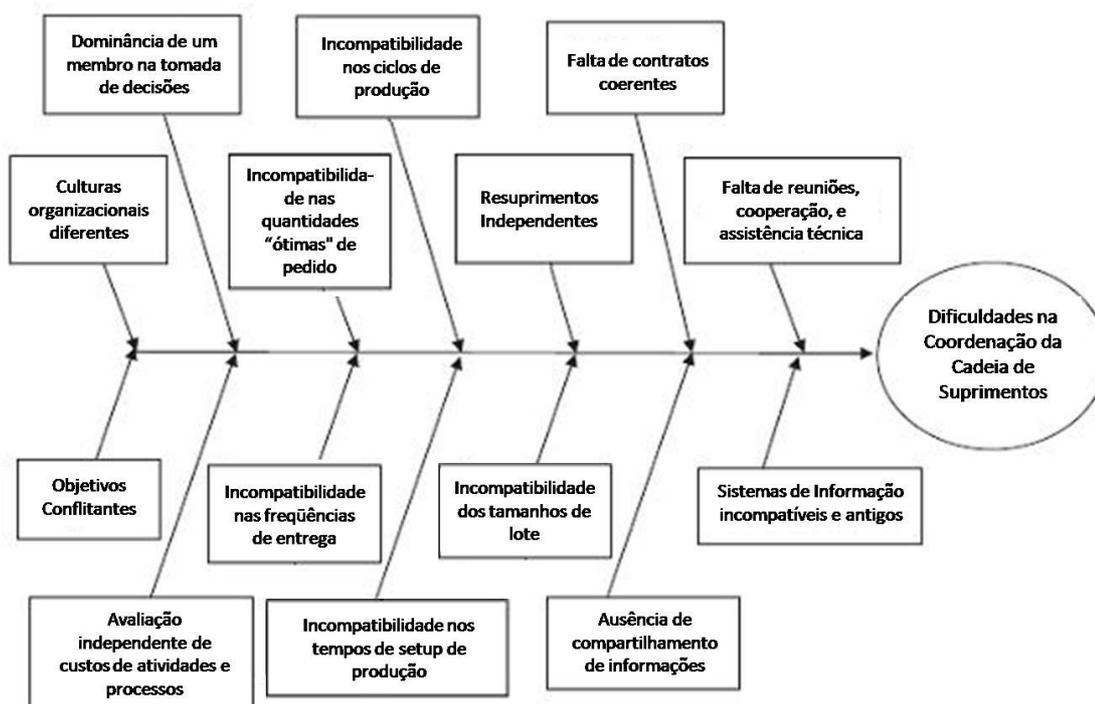


Figura 3.1 - Dificuldades na coordenação de cadeias de suprimentos

Fonte: Arshinder et al. (2008)

3.1.2 Modelos de coordenação de cadeias de suprimentos

Operacionalmente, a gestão da cadeia de suprimentos visa à integração efetiva de fornecedores, produtores, depósitos, revendedores etc. para que os produtos sejam produzidos na “quantidade certa, no local certo, e no momento certo” de forma a minimizar os custos do sistema e atender a determinados requisitos mínimos de nível de serviço (Simchi-Levi *et al.*, 1999; Li & Wang, 2007). Para atingir esse objetivo, uma questão chave para cadeias de suprimento descentralizadas é o desenvolvimento de meios que permitam o alinhamento de interesses e objetivos de membros independentes, coordenando suas atividades e decisões.

Neste sentido, conforme Li & Wang (2007), um mecanismo de coordenação de uma CS pode ser definido como um plano operacional para coordenar as operações dos estágios de uma cadeia de suprimentos e melhorar os resultados sistêmicos. Este plano deve incluir um ou mais esquemas de incentivo que distribuam os benefícios da coordenação, sobretudo os financeiros, entre os membros de cadeia de forma a propiciar a coordenação.

Handfield & Nichols (1999) afirmam que a gestão integrada de estoques é um dos três principais elementos de um modelo integrado de CS, juntamente com sistemas de informação e gestão dos relacionamentos na cadeia. Segundo Sarmah *et al.* (2006), o desenvolvimento dos primeiros modelos integrados de estoque pode ser visto como o início das modelagens de coordenação de cadeia de suprimentos sob uma perspectiva de Pesquisa Operacional.

Estes modelos tomaram como base um método tradicional e amplamente disseminado para o cálculo do tamanho do lote de produção/compra Q , conhecido como *Lote Econômico de Compra* (LEC). Desenvolvido para um contexto multiperíodo e considerando um conjunto específico de hipóteses, o LEC é uma tentativa de calcular o tamanho do lote que proporcione o melhor balanceamento entre o custo de manutenção de estoques e o custo de emissão de pedidos de ressuprimento (Moreira, 2000). Sendo D a demanda por período, C_p o custo de emissão dos pedidos, e C_m o custo de manutenção de estoques, a conhecida expressão que minimiza os custos totais para uma empresa que adquire os itens externamente é apresentada em 3.1:

$$LEC = \sqrt{\frac{2C_p D}{C_m}} \quad (3.1)$$

Como Goyal & Gupta (1989) afirmam, Crowther (1967) foi um dos primeiros a apontar os benefícios no lucro de um fornecedor quando este consegue persuadir seu comprador a fazer um pedido maior do que o seu Lote Econômico de Compra, discutindo também sobre os aumentos nos custos do comprador nestas circunstâncias. Entretanto, Crowther (1967) não chega a formular um modelo que esclareça o método de compartilhamento dos benefícios decorrentes deste aumento de lucro. Com base nas idéias de Crowther (1967), Dolan (1978) propõe a oferta de “descontos por quantidade”, de forma a minimizar o custo total do sistema formado por fornecedor e comprador (equação 3.2):

$$J(Q) = \frac{D}{Q} \cdot (S_1 + S_2) + \frac{1}{2} \cdot (H_1 - H_2) \cdot Q \quad (3.2)$$

Onde S_2 e S_1 correspondem aos custos de pedido e *setup* de comprador e fornecedor, respectivamente; H_2 representa o custo anual de oportunidade do capital do fornecedor, e H_1

representa o custo anual de manutenção de estoques do comprador, ambos expressos como uma porcentagem do valor do item.

Em seu trabalho, Dolan (1978) não apontou meios pelos quais as reduções de custo seriam compartilhadas com o comprador, de forma a motivá-lo a modificar seu padrão de tamanho de pedido. Isso foi realizado por Monahan (1984), que com base no modelo determinístico do LEC, e considerando que os custos de pedido/*setup* e de manutenção de estoques entre produtor/fornecedor e revendedor/comprador são diferentes e conhecidos, sugere a oferta de incentivo, por parte do fornecedor, para encorajar o comprador a elevar o seu volume de pedido rumo ao lote econômico do fornecedor. O modelo sugere a oferta de um desconto por quantidade que motive o comprador a elevar seu tamanho de pedido para $K.Q^*$, onde Q^* é o LEC do comprador e K é o fator pelo qual o fornecedor incrementa o tamanho do pedido do comprador. Este desconto deve compensar o comprador pelo aumento em seus custos de manutenção de estoques, de forma que o torne no mínimo indiferente entre aumentar o tamanho do pedido ou pedir o LEC. O valor ótimo do fator K que maximiza o lucro do fornecedor pode ser obtido pela equação 3.3 (Monahan, 1984; Goyal & Gupta, 1989; Thomas & Griffin, 1996; Sarmah *et al.*, 2006):

$$K^* = \sqrt{\frac{S_2}{S_1} + 1} \quad (3.3)$$

De posse do valor de K^* , o fornecedor oferece então um desconto unitário igual ao aumento de custos do comprador, conforme apresentado na equação 3.4:

$$d_k = \sqrt{\frac{2S_1H_1P_0}{D} \left[\frac{(K-1)^2}{2K} \right]} \quad (3.4)$$

Onde P_0 é o preço cobrado pelo fornecedor ao comprador sem descontos.

Outro trabalho seminal nesta área foi desenvolvido por Riordan (1984), que participa do início das discussões do uso de contratos de pagamentos laterais (*side-payment contracts*) para coordenação de cadeias de suprimentos. O autor considera uma CS descentralizada composta de um fornecedor e um comprador. O fornecedor, com base em seus custos de produção, estabelece seu lote de produção e propõe ao comprador um esquema de pagamento para que este seja incentivado a aumentar seu tamanho de pedido. O comprador observa então suas informações privativas de demanda, e com base nas condições de pagamento do fornecedor, escolhe uma quantidade a ser pedida e a informa. Após isso, o fornecedor entrega a quantidade pedida para o comprador, que paga ao fornecedor de acordo com o esquema por

ele proposto. O autor discute então as condições em que o esquema de pagamento e a quantidade a ser pedida permitem atingir a coordenação da cadeia (Riordan, 1984; Leng & Zhu, 2009).

Lee & Rosenblatt (1986) demonstraram que, dentro do modelo do Lote Econômico, e visando a maximização do lucro da CS, a quantidade ótima a ser pedida/produzida pelo fornecedor deve ser um múltiplo inteiro da quantidade ótima pedida pelo comprador. Chamando este múltiplo de k , o trabalho de Lee & Rosenblatt (1986) apresenta um algoritmo para encontrar os valores ótimos de k e K , onde K , como em Monahan (1984), corresponde ao fator ótimo de incremento sobre o Lote Econômico individual do comprador.

Banerjee (1986a) desenvolveu um modelo de lote econômico conjunto (*joint economic lot sizing problem* – JELS) para uma cadeia de suprimentos formada por um produtor/fornecedor e um comprador, considerando a restrição de que o fornecedor possui uma taxa de produção limitada, e assumindo a existência de custos fixos de *setup* a cada vez que um pedido é colocado pelo comprador. Os autores determinaram o lote econômico conjunto para minimização do custo da CS como um todo, diferenciando a equação do custo total da cadeia em relação a Q e obtendo a seguinte expressão (equação 3.5):

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D(S_1 + S_2)}{r \left(P_0 + \frac{D}{R_2} C_2 \right)}} \quad (3.5)$$

Onde R_2 é a taxa de produção do fornecedor e C_2 é o custo de produção do fornecedor.

Entretanto, como Sucky (2006) destaca, quando fornecedores (estágios anteriores) e compradores/revendedores (estágios posteriores) independentes gerenciam seus estoques em condições determinísticas, sabe-se que o lote econômico de fabricação (LEF) e o lote econômico de pedido (LEC) são respectivamente as opções que levam às soluções ótimas individuais. Todavia, como modelos tradicionais confirmam (Monahan, 1984; Banerjee, 1986a), uma política de pedido baseada no LEC é muitas vezes inaceitável para o fornecedor ao passo que uma política de produção e entrega baseada no LEF é inaceitável para o comprador. Embora elas proporcionem os menores custos para uma parte, levam a perdas e condições sub-ótimas para a outra. Adicionalmente, embora uma política de lote conjunto prescreva um ponto de custo mínimo considerando a cadeia como um todo, uma análise das conseqüências econômicas individuais demonstra que muitas vezes nem fornecedores nem compradores possuem incentivo, em um contexto de empresas independentes e de comportamento racional, para abandonar suas políticas de produção/pedido individuais.

Embora uma política de pedido baseada no JELS minimize os custos totais da cadeia, Banerjee (1986a) observa que, sem a concessão de descontos, os benefícios econômicos se concentram no fornecedor. Enquanto o fornecedor incorre em lucro se o comprador adota o JELS ao invés do LEC, o comprador passa a ter prejuízos. O autor então apresenta dois limites de desconto que, como apontam Sarmah *et al.* (2006), representam dois limites de indiferença. Quando o desconto é estabelecido em seu limite inferior, todos os benefícios da coordenação vão para o fornecedor e o comprador é indiferente entre o JELS e o LEC; por sua vez, quando o desconto é fixado em seu limite superior, todo o incremento de lucro vai para o comprador e o fornecedor torna-se indiferente.

No contexto de modelos determinísticos estruturados basicamente sobre as premissas do LEC, como os modelos previamente citados, Goyal & Gupta (1989) fazem uma revisão da literatura sobre modelos de estoque integrados para coordenação fornecedor-comprador (ou vendedor-comprador, como os autores denominam). O enfoque está em sistemas de coordenação por descontos em preço. Os autores identificaram o seguinte conjunto de hipóteses comumente assumidas por esta categoria de modelos: demanda determinística, contínua e independente de mudanças no preço; políticas de estoque do comprador e do vendedor descritas por modelos simples de LEC; faltas não permitidas; pedidos em espera (*backlogs*) não permitidos; *lead-times* determinísticos ou entregas instantâneas; e conhecimento pleno, por parte do vendedor, dos custos de pedido e manutenção de estoques que governam a política de estoques do comprador. Além disso, estes modelos se baseiam na premissa de que os custos de *setup* e de processamento de pedido do vendedor são maiores que os custos equivalentes do comprador, de forma que, se o comprador resolve adotar o LEC para minimizar seus custos totais de estoque, o vendedor assumirá os custos adicionais decorrentes de lotes menores e pedidos mais frequentes (Goyal & Gupta, 1989).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos sob estas hipóteses, sendo classificados por Goyal & Gupta (1989) dentre quatro categorias:

1. *Modelos de lote econômico conjunto* (JELS): Nestes modelos, vendedor e comprador estabelecem um lote conjunto de produção/compra que minimize os custos totais de cadeia. Os modelos de JELS são mais aplicáveis em circunstâncias onde vendedor e comprador estão comprometidos por algum acordo contratual. Exemplos de trabalhos neste grupo são Goyal (1977), Banerjee (1986a) e Ben-Daya *et al.* (2008).
2. *Modelos que tratam da coordenação de estoques pela determinação simultânea dos lotes de compra/produção do comprador e do vendedor*: São modelos que assumem

conhecimento pleno do vendedor sobre a estrutura de custos do comprador, e onde o fornecedor calcula, com base em seu próprio lote econômico, quais os incentivos necessários para que o pedido do comprador resulte no mesmo valor. Podem ser citados trabalhos como Monahan (1984), Lee & Rosenblatt (1986), Goyal (1987a), Goyal (1987b), Weng (1995) e revisões como Li & Liu (2006) para maiores detalhes.

3. *Modelos que lidam com o problema integrado, mas que não determinam simultaneamente o lote de compra/produção do comprador e do vendedor:* Neste grupo, que representa uma minoria dos trabalhos publicados, os autores reconhecem o aumento nos lucros do vendedor quando este persuade o comprador a elevar seu lote de compra acima do LEC, aumentando seus custos, mas não exploram como o vendedor vai compartilhar os ganhos incrementais com o comprador (Crowther, 1967; Dolan, 1978; Joglekar, 1988).
4. *Modelos que lidam com a coordenação comprador-vendedor devido a considerações de marketing:* Nas outras três categorias apresentadas por Goyal & Gupta (1989), os modelos de desconto em preço eram motivados por justificativas de redução de custos. Nesse quarto grupo de trabalhos, os modelos relaxam a hipótese de demanda independente e assumem que a demanda final é alterada pela mudança no preço do produto. Os modelos apontam que as perdas decorrentes da redução no preço são compensadas, ao menos em parte, pelo aumento da demanda (Jeuland & Shugan, 1983; Lal & Staelin, 1984).

A taxonomia apresentada por Goyal & Gupta (1989), uma das primeiras na área, enfoca basicamente o *timing* e o grau de integração na determinação dos lotes econômicos de vendedor e comprador em uma CS. Em trabalho bem mais recente, Sarmah *et al.* (2006) apresentam uma nova classificação dos modelos determinísticos de coordenação de cadeia de suprimentos fornecedor/comprador encontrados na literatura, também com enfoque em modelos que empregam descontos por quantidade em preços.

Estes modelos são desenvolvidos sob uma abordagem de operações que se concentra nos custos operacionais da cadeia. Estes custos são tomados como função da quantidade pedida/produzida pelo comprador/fornecedor considerando um preço fixo ao cliente final e uma demanda deterministicamente obtida em decorrência deste preço. Os autores classificaram os diversos modelos sob a perspectiva básica de quem é a iniciativa da coordenação, dividindo-os em quatro grandes grupos (Sarmah *et al.*, 2006):

1. *Modelos de coordenação sob a perspectiva do fornecedor*: Assumindo que o fornecedor tem plena informação sobre a estrutura de custos do comprador, os modelos analisam o problema sob o ponto de vista do fornecedor, com uma função objetivo de maximização do lucro deste último. Com este propósito, esquemas de desconto por quantidade são prescritos como incentivo de forma a induzir o comprador, ou revendedor, a abandonar o Lote Econômico de Compra e aumentar seu tamanho de pedido rumo a um montante que maximize o lucro do fornecedor (vide, por exemplo, Monahan, 1984; Rosenblatt & Lee, 1985; Barnejee, 1986b; Goyal, 1987a; Weng & Wong, 1993; Weng, 2004).
2. *Modelos de coordenação de perspectiva conjunta de fornecedor e comprador*: Como no grupo anterior, assume-se que o fornecedor tem pleno conhecimento sobre a estrutura de custos do comprador. Entretanto, descontos por quantidade são utilizados como mecanismos de coordenação com o objetivo de maximizar o lucro conjunto da cadeia (fornecedor + comprador), ou minimizar os custos totais da cadeia, melhorando as economias do sistema. Nestes modelos, é apresentado (ou simplesmente assumido) um mecanismo de divisão, entre as partes, do lucro excedente gerado pela coordenação da cadeia de suprimentos (Goyal, 1976; Banerjee, 1986a; Hill, 1997; Taylor, 2002; Zhou & Wang, 2009).
3. *Modelos de coordenação entre fornecedor e comprador sob uma abordagem de teoria dos jogos*: São modelos onde o problema de coordenação da cadeia de dois estágios, por meio de descontos por quantidade, é tratado como um jogo entre os dois *players*/estágios. O problema é elaborado como um jogo de soma maior que zero (ganha-ganha), sob uma abordagem de cooperação ou não-cooperação. Numa abordagem não-cooperativa, fornecedor e comprador jogam independentemente com o propósito de maximizar seus ganhos individuais (seja maximização lucro ou minimização do custo). Neste tipo de abordagem, busca-se uma solução para o problema de coordenação da cadeia com base no conceito de equilíbrio advindo da teoria dos jogos. Por outro lado, numa abordagem cooperativa, fornecedor e comprador procuram maximizar o lucro do sistema sujeito à restrição de que o resultado de lucro/custo no cenário de cooperação será ao menos tão preferível, para ambas as partes, quanto o resultado do cenário de não cooperação (Kohli & Park, 1989; Li *et al.*, 1996; Viswanathan & Wang, 2003).

4. *Modelos de coordenação para um fornecedor e múltiplos compradores:* São modelos que admitem múltiplos agentes no último elo da cadeia, e construídos com base em um dos três modelos anteriormente apresentados (Lal & Staelin, 1984; Banerjee & Button, 1994; Gurnani, 2001; Wang, 2002a).

Analisando diversos trabalhos publicados dentro destes quatro grandes grupos, Sarmah *et al.* (2006) declaram que os modelos de coordenação fornecedor/comprador são bastante otimistas quanto aos benefícios da melhoria dos resultados de uma CS. Para eles, a maioria dos modelos se silencia quanto às resoluções de conflitos entre os agentes da cadeia, destacando-se o problema dos critérios para divisão do lucro decorrente da integração na gestão de estoques.

Li & Wang (2007) também realizam uma revisão da literatura sobre mecanismos de coordenação de cadeias de suprimentos. Todavia, diferentemente de Sarmah *et al.* (2006), os autores abordam, para sistemas centralizados e descentralizados, modelos onde a natureza da demanda também é probabilística. Os autores apresentam uma taxonomia cruzada considerando estrutura de decisão (centralizada x descentralizada) e natureza da demanda (determinística ou estocástica). Nesse sentido, os mecanismos de coordenação propostos na literatura são classificados como:

1. *Modelos centralizados determinísticos:* São modelos onde a CS é comandada por uma entidade centralizada que busca maximizar o desempenho do sistema sob condições determinísticas de produção, transporte, demanda etc. Dentro deste grupo estão os trabalhos clássicos de determinação do tamanho do lote para sistemas de estoques multi-estágio, como Wagner & Within (1958) e Schwarz (1973). Nesta classe também se incluem os trabalhos que envolvem o problema de resuprimento conjunto (*Joint Replenishment Problem - JRP*), que tratam da otimização de pedidos em sistemas de estoque com múltiplos itens recebidos de uma mesma fonte (Goyal, 1973; Silver, 1976; Federgruen & Zheng, 1992).
2. *Modelos centralizados probabilísticos:* São modelos onde cadeia de suprimento é centralizada e algumas variáveis, sobretudo a demanda, são regidas por processos estocásticos. Dentro deste grupo se encontram modelos de políticas de estoque por instalação (*installation policies*), onde não se necessita de informação sobre o nível de estoques dos outros membros da CS (vide, por exemplo, Svoronos & Zipkin, 1988; Badinelli, 1992); modelos de política de estoques por estágio, onde a política de

resuprimento é baseada na soma do estoque local e dos estoques nos estágios a jusante da cadeia (Clark and Scarf, 1960; Rosling, 1989; Chen, 1999); e trabalhos envolvendo o compartilhamento de informações de estoques e demanda entre os estágios da cadeia de suprimentos, como Zheng & Zipkin (1990), Lee *et al.* (1997) e Lee *et al.* (2000).

3. *Modelos descentralizados determinísticos*: Esta categoria aborda, sob modelagens determinísticas, cadeias de suprimento cujos membros atuam de forma independente para maximizar seus desempenhos individuais. Como destacam Li & Wang (2007), o grande desafio para este tipo de cadeias é o desenvolvimento de mecanismos de coordenação que permitam tanto a articulação de atividades como o alinhamento dos objetivos dos membros das cadeias de suprimento. Neste contexto se encontram os trabalhos já citados de Monahan (1984), Lee & Rosenblatt (1986) e Banerjee (1986a) bem como Weng & Wong (1993), Wong (1995) e Wang *et al.* (2006), dentre outros.
4. *Modelos descentralizados probabilísticos*: A maioria dos sistemas de estoque de cadeias de suprimentos está encerrada na categoria, que apresenta os maiores desafios de modelagem. Neste grupo podem ser citados os trabalhos de Lee & Whang (1999), Jaber & Goyal (2008), e modelos de jogos como em Cachon & Zipkin (1999) e Axsater (2001).

Segundo Thomas & Griffin (1996), a redução de custos operacionais e, em caminho contrário, o contínuo aumento do nível de serviço são premissas para a sobrevivência de cadeias de suprimento em ambientes competitivos e globalizados, e podem ser viabilizados em face dos avanços nas tecnologias de informação e comunicação e do crescente leque de serviços logísticos. Os autores realizam uma revisão de trabalhos que envolvem questões estratégicas concernentes à gestão da cadeia de suprimentos, bem como de modelos operacionais envolvendo vários tipos de planos de coordenação de cadeia. Thomas & Griffin (1996) classificam os modelos de coordenação operacional de cadeias de suprimento em três tipos: Coordenação Vendedor-Comprador (*Buyer-Vendor Coordination*), Coordenação Produção-Distribuição; e Coordenação Estoques-Distribuição. Para estes modelos, as questões-alvo a serem exploradas são: escolha de tamanho do lote de produção, compra, venda ou transporte; escolha do modal de transporte; e escolha do volume total a ser produzido. Dentre estes três grupos, os modelos de coordenação *Buyer-Vendor* se destacam na literatura, e exploram os ganhos de eficiência decorrentes da coordenação de entidades distintas em uma CS, geralmente um produtor/fornecedor e um revendedor/varejista.

Entre as suas observações acerca dos modelos até então desenvolvidos, Thomas & Griffin (1996) afirmam que longas cadeias de suprimento tendem a inibir a habilidade de uma empresa de responder rapidamente às variadas solicitações dos clientes. Para empresas em que o ciclo de vida do produto é curto, longas cadeias de suprimento também expõem o produto a um maior risco de obsolescência ainda em estoque. Por esta razão, segundo os autores, restrições de ciclo de vida e custos precisam ser considerados nos modelos de cadeia de suprimento. Adicionalmente, deve-se dar importância para a consideração de aspectos ambientais nas operações das cadeias de suprimento, bem como nos processos de tomada de decisão envolvidos. Segundo Thomas & Griffin (1996), à medida que as leis ambientais se tornam cada vez mais restritivas e rígidas, os impactos ambientais das atividades nas cadeias de suprimento precisam ser considerados e cuidadosamente modelados.

Lam & Wong (1996) propõem um modelo de programação matemática *fuzzy* para o problema do lote econômico conjunto de uma CS de dois estágios, onde a coordenação é obtida mediante múltiplas faixas de desconto oferecidas pelo fornecedor. O modelo identifica, dentro de uma modelagem *fuzzy*, o número ótimo de faixas de preço, e o montante ótimo de desconto oferecido e quantidade a ser pedida para cada faixa. Os autores advogam que, embora diversos trabalhos publicados sugiram uma divisão igualitária do lucro entre fornecedor e revendedor, esta divisão pode não ser genuinamente justa uma vez que um mesmo montante de lucro pode não ter o mesmo efeito para cada estágio em face de suas respectivas estruturas de custo. Nesse sentido, Lam & Wong (1996) propõem um modelo *fuzzy* para minimização da função custo total da cadeia, com um procedimento para que ambas as partes alcancem não o mesmo lucro, mas o mesmo nível de satisfação (estabelecido pelo atendimento de uma restrição de limite inferior imposta sobre a função de pertinência para a função custo do fornecedor e para a função custo do comprador).

Analisando a gestão da CS com processos de decisão descentralizados, Lee & Whang (1999) apontam que diversas sedes de organizações (*headquarters*) se deparam com problemas de decisão que necessitam do uso de informação especializada, delegando-se a responsabilidade para pessoas “do local” que possuem conhecimento cotidiano do assunto e dos diversos fatores que permeiam o seu contexto. Entretanto, a descentralização da tomada de decisão ao longo de uma CS pode ocasionar o problema de desalinhamento entre os estágios, uma vez que prioridades e objetivos de desempenho podem ser distintos entre eles.

Lee & Whang (1999) citam o exemplo da gestão de estoques, onde em uma CS em série, cada gerente de um estágio da cadeia é avaliado em termos dos custos de manutenção e

falta de estoque em sua planta. Nesse contexto, os gerentes dos estágios a montante terão poucos incentivos de manterem estoques pulmão em suas unidades e verem seus custos elevados, uma vez que os custos de *stock-out* pelo não atendimento do pedido de clientes serão diretamente sentidos apenas pelo gerente do elo final da cadeia. Ciente disto, o gerente do último estágio passa então a ter que elevar os seus pedidos e o seu nível de estoque de segurança para se proteger contra as incertezas na demanda e no tempo de ressuprimento. Entretanto, esta política se mostra ineficiente no que tange aos custos, uma vez que o produto final apresenta maior valor agregado que os produtos em estágios intermediários da cadeia e, portanto, maiores custos de manutenção.

Para mitigar as ineficiências da descentralização, os autores abordam uma cadeia de dois estágios que pertencem a uma mesma organização, e que operam em um horizonte infinito de tempo com *delays* de ressuprimento positivos, custos de *setup* nulos, e demanda do consumidor final aleatória. Os autores apresentam então um modelo de coordenação, denominado por eles de *esquema de medição de desempenho*, que envolve transferência interna de preços, consignação, penalidades por vendas em espera e reembolsos por falhas no ressuprimento.

Power (2005) realiza uma revisão da literatura acerca da implementação e integração gestão da cadeia de suprimentos, e destaca a interdependência entre os seguintes fatores: integração propriamente dita (recursos logísticos, tecnologias e parcerias); visão estratégica e holística da cadeia (reconhecendo a natureza sistêmica das interações entre os participantes); e uma abordagem efetiva de implementação da gestão integrada.

Como o autor destaca, os modelos tradicionais de cadeias de suprimentos eram caracterizados por múltiplos fornecedores, preferências por contratos de curto prazo (ou pela inexistência deles), e revisões regulares de preços (Dyer *et al.*, 1998, Power, 2005). Uma justificativa comum para isso era contrabalancear o poder de barganha dos fornecedores. Entretanto, com o crescimento da competição, à medida que os consumidores começaram a impor suas condições ao mercado, a conquista da preferência e da lealdade do consumidor final se tornou mais difícil e o mercado mais volátil, de forma que a questão da interdependência entre os membros de uma cadeia de suprimento se tornou mais crítica. Neste ambiente, cadeias de suprimento ineficazes ou ineficientes podem ameaçar a sobrevivência não apenas do elo mais próximo ao consumidor de varejo, mas a da cadeia inteira. Com isso, o deslocamento do poder de barganha dos fornecedores para os consumidores provocou uma mudança de paradigma, levando à necessidade de os elos da cadeia identificarem áreas de

interesse comum e de benefícios mútuos explorados por meios de modelos cooperativos de gestão e operação (Power, 2005)

Sucky (2006) procura atacar os conflitos de interesse em cadeias de suprimentos propondo um modelo de pagamentos laterais entre um fornecedor e um comprador, num contexto onde o comprador apresenta um maior poder de negociação que o fornecedor para impor seu tamanho ótimo de pedido. Considerando como função objetivo a minimização do custo e como variável de decisão o tamanho do lote conjunto de produção/pedido, o autor apresenta um modelo para um cenário de informação simétrica e outro para um cenário de informação assimétrica em relação à estrutura de custos do comprador. Entretanto, como Leng & Zhu (2009) apontam, a hipótese implícita assumida por Sucky (2006) de que o comprador aceita voluntariamente o esquema de pagamento lateral oferecido pelo fornecedor pode entrar em conflito com a hipótese do maior poder de barganha detido pelo comprador.

Segundo Ben-Daya *et al.* (2008), as pressões competitivas por melhores níveis de serviço a custos reduzidos têm levado as empresas não apenas a uma maior integração interna de seus diferentes processos de decisão, mas também a uma cooperação mais estreita com seus clientes e fornecedores. As empresas percebem que os estoques ao longo da cadeia podem ser gerenciados de forma mais eficiente se isto for feito de uma forma mais cooperativa e coordenada entre os elos da cadeia. Nesse sentido, cresce o enfoque em gerenciamento mais amplo de estoques e disponibilidade de produto, e o interesse na integração de decisões na cadeia de suprimentos.

Os autores realizam uma revisão da literatura referente ao problema de estabelecimento do lote econômico conjunto –JELS, a fim de minimizar-se o custo total da cadeia. Os autores salientam, entretanto, que os modelos de JELS podem proporcionar *insights* e decisões ótimas para cadeias de suprimento verticalmente integradas, que são controladas pela mesma companhia. Quando os elos da cadeia são formados por diferentes empresas, a procura por um ótimo global pode levar a resultados que não beneficiam a todos igualmente, proporcionando aumento de custos para algumas das partes. Dessa forma, uma questão que ganha importância passa a ser o compartilhamento dos benefícios ou ganhos da integração.

Jaber & Goyal (2008) propõem um modelo teórico de coordenação de quantidades pedidas entre os elos de uma cadeia de suprimento de três níveis. Para estes autores, a coordenação dos componentes de uma cadeia de suprimento pode ocorrer através de processos de decisão centralizada ou descentralizada. O processo centralizado, segundo eles, pressupõe um único decisor gerenciando toda a cadeia de suprimento com o objetivo de

minimizar o custo total da mesma ou de maximizar seu lucro total. No processo descentralizado, combinam-se múltiplos decisores com interesses distintos e objetivos conflitantes, levando muitas vezes a um sistema ineficiente diante do objetivo exposto.

Jaber & Goyal (2008) apontam que a minimização do custo total da cadeia leva a resultados melhores que a soma dos custos ótimos individuais quando cada elo da cadeia determina suas políticas ótimas separadamente. Ao passo que a coordenação resulta na redução do custo total de uma cadeia de suprimento, os autores reconhecem que ela pode resultar em melhores resultados por parte de alguns *players* em detrimento de perdas monetárias de outros *players*, de forma que a compensação financeira das partes prejudicadas, seja por descontos por quantidade (no caso dos compradores) seja por aumentos nos preços unitários (no caso de fornecedores) se faz necessária. Para viabilizar a coordenação, os benefícios obtidos precisam ser mutuamente atraentes (Corrêa, 2010).

Em uma modelagem semelhante à do problema do jornaleiro, Bichescu & Fry (2009) analisam cadeias de suprimento de dois estágios com políticas de revisão periódica de estoques, onde a quantidade pedida e a frequência de resuprimento são as variáveis de decisão de revendedor e fornecedor, respectivamente. Os autores analisam diferenças de desempenho entre três distribuições de direitos de tomada de decisão na cadeia: Um sistema centralizado, onde o objetivo é maximizar o lucro total esperado da cadeia; um sistema descentralizado onde revendedor e fornecedor, visando a maximização de seus lucros individuais, decidem simultaneamente e em condições de plena informação das estruturas de custo um do outro; e um sistema de jogos no modelo de Stackelberg onde o fornecedor age como líder e decide primeiro, sendo seguido pelo revendedor (Fiani, 2004).

Através de resultados experimentais, os autores apontam as vantagens do sistema centralizado. Se a melhoria do lucro é o principal objetivo, a diferença entre os lucros esperados dos sistemas centralizado e descentralizado é maior quando o coeficiente de variação da demanda é baixo, os custos de *stock-out* são baixos em relação a custos de terceirização, e quando os custos de manutenção de estoque e de transporte são altos. Entretanto, se melhorias no nível de serviço são mais importantes, a coordenação da cadeia será ainda mais vantajosa quando o coeficiente de variação da demanda, os custos de manutenção de estoque no revendedor, e os custos de transporte do produto forem altos, ou ainda quando as penalidades por quebra de estoque (custos de *stock-out*) forem equivalentes aos custos de terceirização. Adicionalmente, Bichescu & Fry (2009) concluem que, em um cenário de decisão descentralizado, a atuação do fornecedor como líder *Stackelberg* - o

primeiro a decidir, neste caso em relação à frequência de resuprimento - pode resultar em lucros para o sistema maiores que o cenário de decisão simultânea, e mais próximos aos obtidos por uma CS centralizada. Entretanto, gera menores níveis de serviço para os consumidores.

A resolução dos problemas e conflitos na coordenação de cadeias de suprimento pode ser desenvolvida, como já apontado por Sarmah *et al.*, (2006) e Li & Wang (2007), através de mecanismos de coordenação, que podem proporcionar melhorias em medidas de desempenho da CS como um todo. Nesse sentido, Arshinder *et al.* (2008) propõem um *framework* para implementação da coordenação em cadeias de suprimentos baseado em uma lista de quatro mecanismos complementares, por eles assim listados:

- *Contratos de suprimento ou contratos de pagamentos laterais*: Contratos podem ser utilizados para um melhor gerenciamento das relações entre fornecedor-comprador em cada estágio, bem como para melhor gestão dos riscos. Nestes contratos, parâmetros como preço, quantidade, tempo e qualidade são especificados para que o elo comprador faça o seu pedido e o elo fornecedor o atenda. Os principais objetivos da elaboração destes contratos são o aumento do lucro da cadeia, a minimização dos custos de super-estocagem ou sub-estocagem e o estabelecimento das regras de compartilhamento de lucros e riscos entre os parceiros de uma CS. Dentre estes contratos, destacam-se os contratos de transferências lateral (*side payment contracts*) nas modalidades *buyback*, compartilhamento de receitas (*revenue sharing*), descontos por quantidade e pedidos flexíveis (*quantity flexibility*), discorridos adiante.
- *Tecnologia da Informação*: O uso de recursos de tecnologia da informação como EDI (*Electronic Data Interchange*), ERP (*Enterprise Resource Planning*), e-mails e internet permite melhor planejamento, rastreamento e estimação de *lead time* baseados em dados em tempo real. Além disso, o uso da TI como mecanismo de integração permite melhorar a qualidade da comunicação através da cadeia, monitorar o desempenho e acompanhar o *workflow* entre os estágios (Liu *et al.*, 2005; Sanders, 2008; Arshinder *et al.*, 2008; Cunha & Zwicker, 2009).
- *Compartilhamento de Informações*: O compartilhamento de informações de demanda, pedidos, estoques, capacidade, custos, planos de produção e dados de pós-venda, dentre outros, é um importante mecanismo de coordenação de cadeias de suprimentos. Informações de demanda em tempo real e compromissos antecipados de compra por

clientes a jusante da cadeia ajudam a reduzir custos, níveis de estoque, e *lead-times*, o que pode ser refletido/fomentado por benefícios como descontos no preço. A importância do compartilhamento de informações, como destaca Arshinder *et al.* (2008), aumenta com o valor imputado ao nível de serviço do fornecedor, com os custos de manutenção de estoques deste último, com o aumento da incerteza da demanda e com a redução do tempo de ciclo do pedido (Chen *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2002; Chen, 2003; Fiala, 2005; Arshinder *et al.*, 2008);

- *Tomada de decisão conjunta*: Através de processos de decisão integrada ou de negociação, envolve a consideração conjunta de aspectos de ressurgimento, manutenção de estoques, tamanho de lote, planejamento colaborativo, desenvolvimento de produto etc. (Pyke & Cohen, 1993; Aviv, 2001; Yao & Chiou, 2004; Chen & Chen, 2005)

Acerca dos contratos de suprimento, apresentados por Arshinder *et al.* (2008) como um dos quatro fundamentos da coordenação de uma CS, Gomez_Padilla & Mishina (2009) ressaltam algumas decisões estratégicas relacionadas a estes contratos: opções futuras de compra, gestão de investimentos transacionais, propriedade intelectual, licenças comerciais, acordos tecnológicos, dinâmica cooperativa, instâncias legais etc. Esses aspectos são tratados, segundo os autores, durante o processo de negociação dos contratos. Decisões importantes para a operacionalização destes contratos são preço e volume. Os preços são fixados a depender da natureza do contrato, que determina o fluxo financeiro entre as companhias (Gomez_Padilla & Mishina, 2009).

Um dos primeiros modelos de pagamentos laterais propostos na literatura foi o esquema de descontos por quantidade (*quantity discounts*) (Monahan, 1984; Goyal & Gupta, 1989). Estes descontos são aplicados sobre o preço de venda do fornecedor caso o cliente aumente significativamente seu tamanho de pedido, e vêm sendo estudados tanto sob um ponto de vista de Marketing como sob o ponto de vista de Operações. No primeiro, analisa-se o papel dos descontos no aumento das vendas de uma companhia; no segundo, estuda-se a utilidade deste recurso para aumento do tamanho do pedido dos clientes a fim de reduzirem-se custos operacionais no fornecedor (Li & Liu, 2006).

Goyal & Gupta (1989) apresentam três tipos básicos de modelos de desconto por quantidade: *tarifas em duas partes*, onde o comprador paga um valor fixo e um preço constante p por cada unidade comprada, obtendo-se um preço médio unitário decrescente com o tamanho do pedido; *tarifas em duas faixas*, onde um preço de venda p_1 é mantido até uma

quantidade x e as unidades adicionais são vendidas a um preço $p_2 < p_1$; e *desconto sobre todas as unidades*, onde o preço de todas as unidades compradas cai quando o comprador adquire uma quantidade maior do que x . Estes esquemas de desconto sobre o preço são classificados por Qin *et al.* (2011) respectivamente como: *desconto linear por quantidade* (LD), que considera o preço unitário como uma função do tipo $p^{LD} = p_f - tQ$, onde t é uma taxa de desconto unitária e p_f é o valor fixo do pedido; *descontos sobre as quantidades incrementais* (IU), que considera o preço p_1 para as primeiras $q_2 - q_1$ unidades, p_2 para as próximas $q_3 - q_2$ unidades e assim por diante; e *descontos sobre todas as unidades* (AU), que considera o preço p_1 para todas as unidades se $q_1 < Q < q_2$, p_2 se $q_2 < Q < q_3$, e o preço p_n para todas as unidades compradas se $q_n < Q < q_{n+1}$. Estes três esquemas de desconto estão graficamente ilustrados na Figura 3.2.

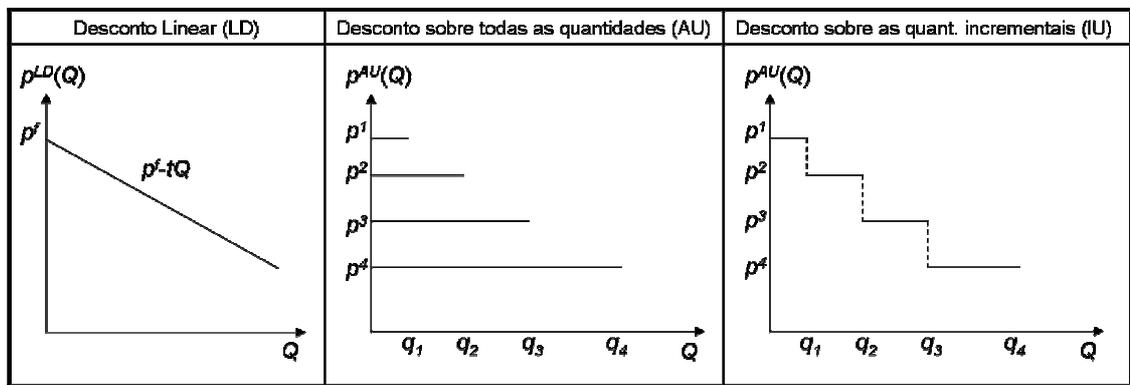


Figura 3.2 – Modelos de descontos por quantidade

Fonte: Adaptado de Qin *et al.* (2010)

Os trabalhos mais antigos, tais como os revisados por Goyal & Gupta (1989), partiam das premissas básicas do modelo de LEC, sobretudo a hipótese de que a demanda é constante e independente do preço de venda. Entretanto, a partir da década de 1990, essas premissas começaram a ser relaxadas nos modelos de desconto por quantidade. Por exemplo, Weng (1995) explora uma cadeia de suprimentos de dois estágios (fornecedor-revendedor) onde a demanda é determinística e dependente do preço. O autor aborda como podem ser divididos os lucros advindos da coordenação destes dois estágios. Considerando que o revendedor ficará com um percentual fixo dos lucros incrementais, Weng (1995) demonstra que um esquema de desconto por quantidade oferecido ao revendedor associado a uma taxa de franquia paga ao fornecedor são suficientes para induzir o revendedor a fazer um pedido que leve à maximização conjunta dos lucros. Moses & Seshadri (1999) analisam uma cadeia composta por um fornecedor e um revendedor diante de uma demanda probabilística, e apresentam um

modelo de desconto por quantidade para estabelecer, dentro de uma política de revisão periódica de estoques, um período de revisão e um nível de referência de estoques que sejam mutuamente vantajosos tanto para o fornecedor quanto para o revendedor. Por fim, pode-se citar o trabalho de Li & Liu (2006), que consideram um sistema fornecedor-revendedor operando com uma demanda probabilística em múltiplos períodos. Os autores mostram que, em um mecanismo de coordenação de descontos por quantidade, há limites de desconto dentro dos quais ambas as partes aceitam a coordenação e o compartilhamento dos lucros adicionais.

Outro mecanismo de coordenação bastante explorado na literatura é o contrato de retorno de produtos, comumente conhecido como *buyback contracts* (Pasternack, 1985; Padmanabhan & Png, 1997; Mantrala & Raman, 1999; Hsieh & Lu, 2010). Ele foi inicialmente proposto por Pasternack (1985), que demonstrou que, sob determinadas condições de demanda, a coordenação pode ser obtida quando o fornecedor oferece um crédito parcial por produtos não vendidos. Compartilha-se então o risco de excesso de estoque com o revendedor. Neste modelo, permite-se ao revendedor retornar uma porcentagem dos estoques não vendidos ao fornecedor a fim de obter uma espécie de bônus ou desconto sobre o preço de aquisição do produto, sendo o restante do estoque descartado pelo revendedor por um valor residual. Este tipo de contrato é comum em sistema do tipo *SPP*, cadeias de distribuição de bens perecíveis ou com curto ciclo de vida, tal como livros, revistas, hardware e software de computadores, bem como produtos farmacêuticos (Wang, 2002b). Padmanabhan & Png (1997) afirmam que as políticas de retorno de produto podem assumir variadas formas. Por exemplo, a Procter & Gamble, ao fim de cada verão, oferecia uma política de retorno total para seu protetor solar, fornecendo aos seus revendedores 100% de reembolso sobre seus estoques não vendidos. Por outro lado, no mercado de distribuição de livros, editoras como a Prentice Hall forneciam aos seus revendedores um crédito sobre produtos não vendidos que poderia ser aplicado às compras subseqüentes; já empresas do setor de beleza americano como a Mc-Kesson ofereciam aos seus revendedores um leque de opções de retorno que iam desde políticas mais generosas a políticas de preços mais baixos (Padmanabhan & Png, 1997). Segundo estes autores, este tipo de contrato recebe maior aceitação por parte dos fornecedores em contextos onde os custos de produção são suficientemente baixos, onde o ciclo de vida do produto é curto e onde a incerteza da demanda não é muito grande (Arshinder *et al.*, 2008).

Com base no trabalho de Pasternack (1985), Kandel (1996) desenvolve um modelo onde a demanda estocástica é sensível ao preço, que é uma variável endógena estabelecida pelo revendedor. O autor observa que a CS não pode ser coordenada por uma política de retorno de produtos sem a manutenção de preços no revendedor, ou seja, quando o preço ao cliente final passa a ser uma variável a ser estabelecida juntamente com o tamanho do pedido. Esta restrição também foi observada por autores como Cachon & Lariviere (2005) e Wang (2002b).

Outro mecanismo foi proposto por Eppen & Iyer (1997) para cadeias do ramo de moda formadas por fabricantes e empresas que operam por catálogo. Este sistema, conhecido como acordos de *backup* (*backup agreements*) fornece flexibilidade aos estágios a montante da cadeia diante da incerteza de mercados como o de produtos de moda. Caso uma empresa de catálogo se comprometa a comprar um determinado número x de unidades para a temporada de vendas, o fornecedor retém uma fração φ da quantidade pedida e entrega as $(1 - \varphi) \cdot x$ unidades antes do início da temporada. Observando os primeiros sinais de demanda, a companhia de catálogo pode solicitar a entrega de uma quantidade adicional até o montante em *backup*, recebendo-a rapidamente e pagando seu preço original, mas assumindo o ônus de uma penalidade p por todas as unidades em *backup* não solicitadas.

Este sistema de acordos de *backup* é considerado por Zhao *et al.* (2010) como uma modelagem particular de um mecanismo de coordenação mais amplo, estudado por autores como Wang & Tsao (2006), Wang & Liu (2007) e Zhao *et al.* (2010) e denominado de contratos de opções (*option contracts*). Neste sistema, há flexibilidade para o revendedor ajustar seu pedido para cima ou para baixo de seu pedido inicial após observar a demanda.

O sistema de opções é caracterizado por dois parâmetros, a saber, o preço da opção o e o preço de exercício, e . O preço da opção é uma compensação paga pelo revendedor ao fornecedor pela reserva de uma unidade não utilizada de capacidade de produção. O preço de exercício é o preço pago pelo revendedor ao fornecedor por uma unidade de produto adquirida através do exercício da opção. Dentro de uma modelagem de cadeia do tipo *SPP*, o revendedor faz inicialmente a solicitação de um pedido firme Q no início da temporada de vendas, pagando um preço unitário p_0 por este pedido firme. Paralelamente, ele contrata pelo preço unitário de opção o direito de solicitar até n unidades adicionais pelo preço de exercício e . Ao fim do período, caso a demanda realizada tenha superado o pedido inicial e haja pedidos em *backlogging* (ou um segundo período de vendas), o revendedor pode solicitar a produção

das unidades adicionais reservadas junto ao fornecedor, pagando por elas um preço unitário e referente ao preço de exercício contratado (Gomez_Padilla & Mishina, 2009).

Segundo Zhao *et al.* (2010), este mecanismo, inicialmente desenvolvido no contexto dos mercados financeiros, passou também a ser aplicado na gestão da cadeia de suprimentos como um mecanismo de coordenação em indústrias de equipamentos de moda, brinquedos e eletrônicos. Através de uma abordagem de jogos cooperativos, os autores estudam a coordenação de uma cadeia fornecedor-revendedor através de contratos de opções. Em seu modelo, Zhao *et al.* (2010) incorporam através de funções utilidade as preferências dos membros da cadeia de suprimentos e suas atitudes em relação ao risco. Os autores concluem que, sob o mecanismo de opções, o comportamento dos decisores em relação ao risco tem um papel fundamental nos resultados da coordenação. Quanto maior aversão ao risco por um membro da cadeia, menor será sua participação no lucro extra obtido. Além disso, Zhao *et al.* (2010) apontam que o poder de negociação dos membros da cadeia também influencia os resultados da coordenação, de forma que quanto maior for o poder relativo de negociação de um estágio, maior será a taxa de compensação que ele exigirá receber da outra parte.

Tsay & Lovejoy (1999) apresentam um mecanismo de coordenação de *Quantidades Flexíveis* para uma CS de três estágios do tipo fornecedor-produtor-varejista, com um horizonte móvel para o planejamento de produção/pedido. Neste modelo, negocia-se um preço de transferência do produto para que cada estágio a jusante se comprometa a não reduzir suas compras abaixo de uma porcentagem α_i , ($i = 1, 2, \dots, H$) da previsão para H períodos à frente, ao passo que cada estágio a montante garante a entrega de uma porcentagem até ω_i ($i = 1, 2, \dots, H$) acima das previsões de pedido do cliente (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2004). Considerando que a demanda do consumidor final é estocástica, a cada período t , cada estágio comprador estabelece um planejamento de ressuprimento $\{r(t), r(t+1), \dots, r(t+i), \dots, r(t+H)\}$ que minimize seu custo total esperado para H períodos à frente, atendendo às restrições impostas por α_i e a algumas condições de contorno definidas pelos planejamentos dos períodos anteriores.

Com isso, cada estágio fornecedor na CS oferece ao seu estágio cliente uma margem de segurança acima dos seus pedidos previstos, com a contrapartida de que o estágio cliente limita suas possíveis reduções de pedido numa forma de lote mínimo de compra. Parte do risco relacionado à demanda em cada estágio passa a ser assumida pelo estágio anterior, e um melhor planejamento da produção passa a ser possível com o uso dos vetores α e ω como fronteiras para limitar as oscilações nas previsões. Reduz-se, assim, o “efeito chicote”,

conhecido gerador de estoques nas CS (Lee *et al.*, 1997; Corrêa, 2010). Caracterizando os vetores α e ω como parâmetros de flexibilidade, Tsay & Lovejoy (1999) exploram a idéia de que estoques são uma consequência das disparidades na flexibilidade entre os elos de uma CS. Segundo os autores, estoques são um custo decorrente da necessidade de superar a inflexibilidade de um fornecedor em atender ao desejo de um cliente por resposta flexível às suas oscilações de demanda. Tsay & Lovejoy (1999) também desenvolvem em seu trabalho o conceito de “propensão a pagar” (*willingness to pay*) do comprador, que é igual à redução no custo total esperado decorrente de incrementos em flexibilidade.

Taylor (2002) propõem um mecanismo de coordenação conhecido como *sales rebate contracts*, caracterizado por um contrato de bônus sobre as vendas, um pagamento do fornecedor para o revendedor baseado nas vendas ao cliente final. Este tipo de contrato se difere de um desconto no preço do fornecedor ou de uma política de *buyback*, pois o bônus que o revendedor recebe, que pode ser considerado como uma redução no custo de compra do produto, é apenas obtido caso o produto seja vendido ao cliente final.

Duas formas de bônus sobre as vendas são comumente encontradas: *bônus lineares*, que são prêmios pagos para cada unidade vendida; e bônus sobre metas (*target rebates*), que são pagos para cada unidade vendida acima de uma meta de vendas especificada. Como exemplos destes tipos de incentivo, Taylor (2002) cita o uso de bônus lineares pela Intel no lançamento do processador Pentium 4, e o uso de bônus sobre metas pela Nissan, que em 1999 pagou \$1.000,00 a cada vendedor por cada *pickup* Frontier modelo 2000 vendida. O autor demonstra que, em situações onde o preço ao cliente final é uma variável exógena e a demanda não é influenciada por esforços de vendas, é possível encontrar um esquema de *target rebate* que proporcione a coordenação da CS em um cenário ganha-ganha. Quando a demanda é influenciada por esforços de vendas, a combinação de bônus sobre metas com um esquema de *buyback* viabiliza a coordenação da CS em condições melhores para ambos.

Entretanto, Wong *et al.* (2009) reconhecem a dificuldade de implementação de um contrato de *Sales rebate* em cadeias de suprimento tradicionais, sobretudo por causa da ausência de um mecanismo que viabilize uma troca contínua de informação entre os membros da CS. Para uma implementação bem sucedida, o fornecedor precisa conhecer a quantidade exata de produtos vendidos pelo revendedor a fim de lhe creditar o bônus, mas isso se torna difícil quando o fornecedor não consegue reunir dados reais de venda diretamente no ponto de vendas do revendedor. Por outro lado, mesmo quando há dados disponíveis, pode haver a possibilidade de que os dados disponibilizados pelo revendedor não sejam totalmente

autênticos, de forma que este pode reivindicar um crédito de bônus maior do que o que as suas vendas realmente permitiriam.

Estas dificuldades na aplicação de mecanismos do tipo *sales rebate* começaram a ser superadas com o surgimento e a popularização do sistema de gerenciamento de estoques VMI – *Vendor Managed Inventory* – onde a gestão do nível de estoques no cliente fica sob a responsabilidade do fornecedor. Com o VMI, o fornecedor faz o monitoramento físico ou eletrônico do nível dos estoques do cliente, e assim toma decisões periódicas sobre o lote e frequência de ressuprimento. Com isso, o volume de vendas do revendedor passa a ser de conhecimento do fornecedor, proporcionando as informações necessárias para viabilizar o pagamento de bônus sobre as vendas.

Para este novo contexto, Wong *et al.* (2009) apresentam um modelo de CS do tipo *SPP* com dois estágios - um fornecedor e múltiplos revendedores operando em um sistema de VMI. Os revendedores se deparam com uma demanda probabilística sensível ao preço em dois cenários: no primeiro, a distribuição da demanda é sensível ao preço de cada revendedor isoladamente; no segundo, a distribuição é dependente do vetor de preços de todos os revendedores. Paralelamente ao sistema VMI, o fornecedor adota com cada revendedor um contrato tipo *sales rebate* para estimular os revendedores a aumentarem suas vendas. Os resultados obtidos pelos autores demonstram que a combinação de um contrato de bônus por vendas com o sistema VMI permite que a cadeia de suprimentos atinja a coordenação. Nessa situação, mesmo atuando estrategicamente em função de seus interesses individuais, os revendedores podem tomar decisões sobre preços que maximizem o lucro da cadeia de suprimentos. Devido ao incentivo do contrato de bônus por vendas, os revendedores tendem a reduzir os preços dos produtos rumo aos preços ótimos do sistema, de forma a aumentar a demanda e o lucro agregado da cadeia. Wong *et al.* (2009) também observaram que, no cenário de competição entre revendedores, a alocação do lucro entre o fornecedor e os revendedores é influenciada pelo grau de competição entre estes últimos, de forma que maior lucro fica com o fornecedor quando a competição no varejo fica mais intensa.

Entretanto, problemas na aplicabilidade de modelos de CS em *SPP* que fazem uso de VMI, tal como o modelo Wong *et al.* (2009), podem ser verificados em trabalhos como Saab Júnior & Corrêa (2008). Os autores apontam registros de vários casos de fracasso na implantação do VMI em diversas cadeias de suprimentos, estudando o exemplo de uma CS de quatro estágios no setor de bens de consumo não duráveis. Para esta CS, Saab Júnior & Corrêa (2009) propõem um modelo de Estoque Gerido pelo Distribuidor (DMI) que, sob

determinadas condições de contorno, mostra-se mais eficiente e vantajoso que os modelos de VMI para cadeias de suprimento de quatro estágios.

Cachon & Lariviere (2005) abordam um mecanismo de coordenação de CS via contratos de “compartilhamento de receitas” (*revenue sharing contracts*). Neste modelo, a demanda pode ser probabilística ou determinística, e os custos de falta de estoque não são considerados. Antes de o revendedor escolher seu tamanho de pedido Q , fornecedor e revendedor entram em acordo acerca de um contrato de compartilhamento de receitas regido por dois parâmetros, w e φ . O primeiro corresponde ao preço de atacado cobrado pelo fornecedor ao revendedor por cada produto vendido sob o contrato de compartilhamento de receitas. O segundo, φ , corresponde à fração da receita do revendedor que ficará com este a cada unidade vendida, sendo transferida a fração $1 - \varphi$ ao fornecedor. Para se atingir a coordenação, os autores demonstram a necessidade do preço de atacado estar abaixo do custo de produção do fornecedor, uma vez que o compartilhamento de receitas faz cair sistematicamente a receita marginal do revendedor se comparada à de uma CS integrada. O fornecedor tem prejuízo ao vender o produto ao revendedor, mas isto deve ser mais do que compensado através da participação nas receitas do revendedor por meio de um adequado ajuste do parâmetro φ . Cachon & Lariviere (2005) trabalham o estabelecimento das participações φ e $1 - \varphi$ de forma arbitrária, e destacam que valores particularmente escolhidos para este parâmetro dependerão do poder de barganha relativo entre as empresas.

Os autores demonstram que em condições específicas de competição e de demanda, os contratos do tipo *revenue sharing* são equivalentes aos contratos de *buyback*, bônus sobre vendas, descontos por quantidade, e flexibilidade no pedido, dentre outros. Entretanto, os autores salientam algumas limitações deste modelo, destacadamente os encargos administrativos impostos tanto ao revendedor como ao fornecedor. Sob contratos de compartilhamento de receitas, tal como nos contratos de bônus sobre vendas, o fornecedor precisa monitorar as receitas do comprador de forma a ter certeza de que elas estão sendo repartidas conforme o contrato. Os ganhos advindos da coordenação nem sempre compensam estes custos, e talvez esta seja a principal razão pela qual este esquema de coordenação não seja amplamente difundido.

Com se pode observar, os modelos de coordenação através de contratos de pagamentos laterais são diversos e apresentam cada um suas limitações e adequações a um conjunto de circunstâncias limitadoras. Estes tipos de contrato foram sumarizados, dentre outros, na Tabela 3.1 (Leng & Zhu, 2009):

Tabela 3.1 –Resumo dos principais tipos de contratos de coordenação em cadeias de suprimentos

Fonte: Adaptado de Leng & Zhu (2010)

Modelo de Contrato	Breve descrição	Publicações de referência
Contrato de preço constante de fornecimento.	Neste problema, o preço do fornecedor é uma variável exógena, e o pagamento lateral do revendedor para o fornecedor é o preço de atacado do fornecedor vezes a quantidade comprada pelo revendedor.	Lariviere & Porteus (2001)
Descontos por Quantidade (<i>Quantity Discounts</i>)	O pagamento lateral do fornecedor para o revendedor é a redução de preço do fornecedor vezes a quantidade comprada pelo revendedor.	Goyal & Gupta(1989); Weng (1995); Moses & Seshadri (1999); Li & Liu (2006)
Políticas de Retorno (<i>Buyback policies</i>)	O pagamento lateral do fornecedor para o revendedor é a despesa do fornecedor em comprar de volta os itens não vendidos pelo revendedor..	Pasternack (1985); Kandel (1996); Padmanabhan & Png (1997); Mantrala & Raman (1999); Hsieh & Lu (2010).
Acordos de Backup (<i>Backup agreements</i>)	O revendedor já paga no preço do produto o direito de solicitar, sob o preço original, as unidades retidas pelo fornecedor. A transferência lateral do revendedor para o fornecedor é uma penalidade p por todas as unidades em backup não solicitadas vezes o número destas unidades.	Eppen & Iyer (1997)
Contratos de Opções (<i>Option contracts</i>)	O pagamento lateral do revendedor ao fornecedor corresponde ao produto do preço da opção vezes as unidades de capacidade reservadas, mais o preço de exercício vezes as quantidades de produto adquiridas através do exercício da opção.	Wang & Tsao (2006), Wang & Liu (2007); Gomez _Padilla & Mishina (2009); Zhao <i>et al.</i> (2010)
Quantidades Flexíveis (<i>Quantity Flexibility</i>)	O pagamento lateral do fornecedor ao revendedor é a compensação às perdas do revendedor pelas unidades não vendidas.	Tsay & Lovejoy (1999)
Compartilhamento de receitas (<i>Revenue Sharing</i>)	O pagamento lateral do revendedor para o fornecedor é uma porcentagem das receitas de venda do revendedor.	Cachon & Lariviere (2005)
Bônus sobre as Vendas (<i>Sales rebate contract</i>)	O fornecedor paga ao revendedor o bônus unitário oferecido pelo fornecedor vezes o número de unidades vendidas pelo revendedor.	Taylor (2002); Wong <i>et al.</i> (2009)
Compartilhamento de desconto em preço	O pagamento lateral do fornecedor ao revendedor é uma compensação do fornecedor, na forma de uma redução em seu preço de atacado, para que o revendedor reduza o seu preço ao cliente final.	Bernstein & Federgruen (2005); Cachon & Lariviere (2005)

Para Wang (2002b) poucos trabalhos exploraram os relacionamentos e as diferenças entre as variadas formas de contrato para coordenação de cadeias de suprimentos. O autor apresenta um modelo geral de contrato de coordenação de cadeia de dois estágios e dois períodos de venda, que corresponde, com o adequado ajuste de parâmetros, aos modelos de *buyback*, pedido flexível, acordos de *backup* (*backup agreements*, opções e proteção de preço). Neste modelo há dois estágios (fornecedor-revendedor) e dois períodos, e as demandas são probabilísticas nos dois períodos, porém correlacionadas. O revendedor realiza o pedido antes do início do primeiro período de vendas. Caso a demanda seja maior que a quantidade pedida, as vendas excedentes são perdidas e o revendedor incorre em um custo de desgaste com o cliente (*goodwill cost*); caso a demanda esteja abaixo da quantidade pedida, o revendedor pode obter uma compensação financeira para uma parte do estoque remanescente, retornando-o para o fornecedor, ao passo que a outra parte fica disponível para ser vendida no segundo período de vendas.

Wang (2002b) trabalha o modelo em três circunstâncias: um cenário centralizado, um cenário onde o revendedor é independente e não possui a opção de retorno de produto para o fornecedor; e um cenário onde esta opção de retorno existe. Segundo o autor, embora simples, a flexibilidade de sua proposta supera as limitações dos modelos tradicionais de retorno em um único período - que não permitem a revisão do pedido inicial após observação dos primeiros sinais do mercado - e as restrições de não-correlação das demandas nos dois períodos do modelo de *price protection*. Entretanto, o modelo de Wang (2002b) não explora a possibilidade de haver pedidos em *backlogging*, nem a hipótese de ressuprimento emergencial após a primeira temporada de vendas, nem explícita vantagens em relação aos modelos de opções, pedido flexível e acordo de *backup*.

Cachon & Zipkin (1999) estudam as diferenças na minimização de custos entre os cenários de centralização, coordenação e competição de uma cadeia de suprimentos de dois estágios formada por um fornecedor e um revendedor, que escolhem suas políticas de estoque (níveis de ressuprimento) de forma a minimizar seus custos. Primeiramente, os autores apresentam a solução ótima para o sistema centralizado; em seguida, consideram dois jogos de movimento simultâneo, onde com base nas informações dos estoques locais e dos estoques de estágio (*echelon inventory*), respectivamente, cada jogador escolhe sua estratégia s_i de nível de estoques. Assume-se conhecimento compartilhado de todos os parâmetros do modelo.

Os autores demonstram que, dependendo das hipóteses envolvendo as estruturas de custos, as estratégias de fornecedor e revendedor geralmente possuem um equilíbrio de Nash, mas este difere da solução ótima obtida em um cenário centralizado. Além disso, quando os dois estágios consideram custos provocados por vendas em espera (*backorders*), a solução que minimiza o custo total do sistema nunca será um equilíbrio de Nash, e mesmo que os jogadores decidam seguir o ótimo sistêmico, ao menos um deles se achará incentivado a se desviar desta solução. Dessa forma Cachon & Zipkin (1999) desenvolvem um sistema linear de pagamentos laterais que permitem que a solução ótima do sistema centralizado seja atingida como um equilíbrio de Nash, a fim de que a cadeia de suprimentos permaneça coordenada.

Como se pode verificar, uma revisão da literatura sobre os trabalhos envolvendo coordenação da cadeia de suprimentos permite constatar, dentre outros aspectos, que o leque de publicações neste tema é amplo, uma vez que a coordenação de uma CS é um problema complexo que deve ser atacado sob diversas vertentes estratégicas, gerenciais e operacionais. Em função disso, percebem-se também diversas iniciativas de autores em revisar as principais contribuições nesta área, fornecendo taxonomias para classificação e análise dos diversos modelos.

A maior parte dos trabalhos reconhece e explora a necessidade de se desenvolver mecanismos de coordenação dos estágios da CS, enfocando preponderantemente a gestão de pedidos/estoques. Tem-se como objetivo relevante (geralmente o único nos modelos) maximizar o lucro esperado conjunto da cadeia, ou maximizar o lucro de uma das partes - sobretudo sobre o ponto de vista do fornecedor. O problema é geralmente explorado dentro de um *framework* de jogos, com informações simétricas ou assimétricas, onde um agente da cadeia procura induzir o outro agente a selecionar uma política que beneficie a ambos.

Para análise dos mecanismos citados e exploração dos *insights* deles decorrentes sobre a coordenação de uma CS, o Problema de Único Período ou “Problema do Jornaleiro” tem sido amplamente utilizada na literatura para modelagens de empresas individuais e cadeias multi-estágios. Uma revisão de aplicações neste primeiro caso é realizada na seção a seguir.

3.2 Single Period Problem, Newsvendor Problem ou Problema do Jornaleiro

O problema do jornaleiro ou problema de único período, como aponta Ryu & Yücesan (2010), é tipicamente utilizado para modelar e quantificar o desalinhamento entre os membros

de uma cadeia de suprimentos, e também avaliar os impactos de diferentes iniciativas de coordenação.

No clássico problema do jornaleiro, o decisor se defronta com a decisão sobre qual volume de produto pedir e armazenar em um único período, após o qual o produto não pode ser mais vendido ou pode no máximo ser negociado a um valor residual (Kumar, 1988). Considerando a demanda como uma variável aleatória, observada no fim deste período, o decisor precisa escolher uma quantidade Q que proporcione o melhor *trade-off* entre o custo potencial de pedir em excesso e o custo potencial da falta do produto (Hillier & Lieberman, 2005).

Embora este problema se aplique bem ao caso clássico de produtos como jornais e revistas, tendo sido cunhado o seu nome como *newsvendor problem* (traduzido literalmente para o português como “problema do jornaleiro”), percebe-se a adequação de sua aplicação a diversos outros produtos perecíveis ou com curto ciclo de vida. Um exemplo está na indústria de semicondutores, onde produtores se deparam com janelas de tempo crescentemente menores para dispor o seu produto ao mercado (Weng & McClurg, 2003). Dentre outros exemplos, pode-se citar: componentes de hardware, software, flores, produtos alimentícios, artigos sazonais e de estação, trajes de moda, reservas de linhas aéreas, aparelhos eletrônicos, carros novos a serem encomendados no último ano de um modelo etc. (Hillier & Lieberman, 2005).

Segundo Gallego & Moon (1993) e Alfares & Elmorra (2005), a modelagem de situações como problema do jornaleiro ou *SPP* tem grande significância em termos de considerações teóricas e práticas, sendo frequentemente utilizada para apoiar a decisão em indústrias como a de acessórios, artigos esportivos, e de moda, tanto no nível de manufatura como no nível de revenda e varejo. Por causa de sua estrutura simples, mas elegante e rica em *insights* teóricos, o problema do jornaleiro encontra aplicação em vários contextos como planejamento da capacidade, seguros, e contratos em cadeias de suprimentos (Khouja, 2000; Wang & Webster, 2009; Wang *et al.*, 2009)

Para resolução do problema clássico de *SPP*, as abordagens de minimização dos custos esperados ou de maximização do lucro esperado (considerando que o preço p é estabelecido pelo mercado) levam aos mesmos resultados (Khouja, 1999). Seja a seguinte notação:

x – quantidade da demanda, realização da variável aleatória X ;

$f(x)$ – função densidade de probabilidade da variável X ;

$F(x)$ - função probabilidade acumulada de X ;

p – preço de venda do produto;

w – custo unitário do produto;

v – valor residual do produto não vendido, onde $v < w$;

h – custo de permanência em estoque de uma unidade não vendida;

s – custo unitário de falta, uma penalidade por unidade de demanda que excede a quantidade disponível em estoque;

Q – quantidade produzida/pedida, a variável de decisão.

O lucro obtido ao fim do período é:

$$\pi = \begin{cases} (p-w)Q - s(x-Q), & \text{se } x \geq Q \\ px - wQ - h(Q-x), & \text{se } Q \geq x \end{cases} \quad (3.6)$$

Dessa forma, no problema clássico, o decisor procura maximizar a seguinte função lucro:

$$\pi(Q) = p \text{Min}(Q, x) - wQ - h[\text{Max}(Q-x, 0)] - s[\text{Max}(x-Q, 0)] \quad (3.7)$$

Trabalhando a demanda como uma variável aleatória contínua, e não considerando possíveis custos decorrentes de falta de estoque ou de pedidos em espera, a equação 3.7 pode ser reescrita como (Khouja, 1999):

$$E[\pi(Q)] = (p+s-w) \int_Q^\infty Q f(x) dx - s \int_Q^\infty x f(x) dx + (p+h) \int_0^Q x f(x) dx - (w+h) \int_0^Q Q f(x) dx \quad (3.8)$$

Pode-se desejar incorporar a atitude do decisor em relação ao risco, buscando-se uma solução Q que maximize a utilidade esperada do lucro para o problema de único período:

$$\text{Max}_Q E\{u[\pi(Q)]\} = \text{Max}_Q \left\{ \int_0^Q u[(h+p)x - (w+h)Q] f(x) d(x) + \int_Q^\infty u[(p-w+s)Q - sx] f(x) d(x) \right\} \quad (3.9)$$

Aplicando a regra de Leibniz para obtenção da primeira e da segunda derivada, e considerando um decisor que deseja maximizar o lucro (neutro ao risco), pode-se demonstrar que esta função é côncava e que a quantidade ótima a ser produzida/pedida - Q^* - é tal que (Khouja, 1999; Keren & Pliskin, 2006).

$$Q^* = F^{-1} \left(\frac{p+s-w}{p+s+h} \right) \quad (3.10)$$

A equação 3.10 é conhecida como *critical fractile*, e denota o ponto de lucro máximo ou de custo mínimo sob as hipóteses assumidas. $F(x)$ é a distribuição de probabilidade acumulada de X . Como esclarece Kumar (1988), o lote ótimo de pedido Q^* pode ser obtido realizando-se a inclusão de unidades adicionais à quantidade pedida enquanto o custo esperado de se adicionar a última unidade for menor que o lucro esperado em se incluí-la. Em

outras palavras, o decisor, no modelo clássico, só adiciona a unidade i ao seu lote Q se o ganho esperado da venda desta unidade for maior que a perda esperada se esta unidade permanecer não vendida.

Em relação ao modelo clássico apresentado, numerosas extensões para o problema do jornaleiro foram desenvolvidas. Apenas entre 1988 e 1998, por exemplo, mais de 40 *papers* foram publicados neste assunto (Khouja, 1999). Este autor apresenta uma extensa revisão da literatura, construindo uma taxonomia para as diferentes extensões do *SPP*. Dentre elas, pode-se citar: extensões que consideram diferentes funções objetivo; modelos com diferentes políticas de preço e descontos; extensões para produtos defeituosos; modelos para produtos substituíveis; extensões para sistemas com múltiplos estágios e múltiplas locações etc.

Abandonando o objetivo tradicional de maximização do lucro esperado, anteriormente exemplificado, Kabak & Schiff (1978) modelaram o *SPP* com o objetivo de maximizar a probabilidade de atingir um lucro alvo, denotada por PB . Lau (1980) afirmou que é freqüentemente inapropriado tratar apenas da maximização do lucro esperado quando os *payoffs* de um problema são estocásticos. O autor também apontou que gestores podem estar mais preocupados em maximizar a probabilidade de atingir um lucro alvo imposto por seus superiores. Dessa forma, Lau (1980) realizou desenvolvimentos adicionais ao modelo de *SPP* propondo dois objetivos alternativos: maximizar a utilidade esperada (von Neumann & Morgenstern) sobre o lucro; e maximizar a probabilidade de se atingir um lucro-alvo. Para descrever alguns tipos de distribuição da demanda, o autor fez uso de uma função de distribuição de probabilidade versátil, proposta por Schmeiser & Deutsch (1977) *apud* Lau (1980) para contornar limitações de distribuições como a normal e gamma, que não possuem expressões algébricas “fechadas” para a função de distribuição acumulada $F(x)$ e sua inversa $F^{-1}(x)$. Lau (1980) demonstrou as condições de primeira ordem (concavidade e monotonicidade da função objetivo), e obteve em algumas situações expressões fechadas para Q^* .

Thakkar *et al.* (1983) defenderam a maximização do retorno sobre investimento (ROI) como objetivo para o problema, argumentando que a modelagem clássica não considerava o investimento necessário para atingir um dado lucro. Para Anvari (1987), um modelo de maximização de probabilidade de atingir um lucro-alvo, tal como proposto por Lau (1980), não deixa claro como uma firma maximizadora de valor deve especificar o valor da meta. O autor estuda o problema do jornaleiro usando o Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM). Neste modelo, a companhia toma emprestado um volume de capital antes do início

da temporada de vendas para investir em dois projetos distintos: estoques, comprando/produzindo produtos para atendimento da demanda; e em um portfólio de investimentos no mercado financeiro. O problema passa então a ser definido como a determinação do tamanho do pedido de forma a maximizar a riqueza dos acionistas, e não a utilidade dos gestores, captando os efeitos da correlação destes dois projetos sobre a *trade-off* entre risco e retorno, e da redução do risco não-sistemático gerada pela diversificação dos investimentos.

Fathi & Nuttle (1987) realizam uma comparação dos objetivos de maximização do valor esperado e do critério maximin considerando o problema clássico de *newsvendor* ou *SPP*. Na abordagem maximin, busca-se maximizar o menor lucro que pode ser garantido sob determinadas condições de demanda. Em seu modelo, o decisor assume uma postura “fiel” de atendimento a qualquer demanda superior ao seu pedido inicial, mesmo que o custo de pedido das unidades adicionais seja superior ao preço de revenda do produto. Os autores identificam que há uma vantagem da modelagem de maximização do lucro esperado sobre o critério maximin quando se considera os lucros médios e os lucros máximos obtido em diversas simulações. Entretanto, a abordagem de maximização do lucro esperado tem um desempenho mais pobre que a maximin quando se considera o lucro mínimo obtido, e esta desvantagem se acentua quando a variabilidade da demanda aumenta.

Khouja (1995) estende o modelo clássico de *SPP* de forma a considerar o uso de múltiplos descontos. Neste caso, o revendedor faz uso de uma série de descontos que é usada progressivamente enquanto o produto permanece nas prateleiras para venda. O modelo considera que o preço inicial e os demais preços sob desconto são dados do problema, e a demanda inicial é aleatória e independente do preço. Além disso, diante da demanda realizada, a fração adicional da demanda que pode ser obtida pela aplicação de um dado preço P_i é conhecida. Diante destas suposições, o tamanho ótimo do pedido é determinado em duas situações: em uma, o objetivo é a maximização do lucro esperado; na outra, busca-se maximizar a probabilidade de se obter um lucro-alvo. O autor demonstra que, enquanto o preço permanece acima do valor residual do produto, os descontos progressivos aumentam o lote de compra do *newsvendor* em comparação ao problema clássico, uma vez que menores preços fomentam um aumento de demanda em relação àquela que seria obtida considerando apenas o preço inicial.

Diversas extensões de *SPP* enfocaram influências do preço na demanda dos consumidores, considerada como independente no modelo clássico. Apontado por autores

como Keren & Pliskin (2006) como o primeiro trabalho na área de *SPP*, Whitin (1955) compara o modelo de Lote Econômico de Compra - que assume um horizonte infinito de operação - com um modelo proposto para itens com curto ciclo de vida, inserido em um ambiente onde há uma temporada de vendas relativamente curta com princípio e fim bem definidos. Embora Whitin (1955) apresente uma solução para o problema de *SPP* considerando uma distribuição uniforme, o autor apontou que soluções estruturadas eram possíveis para casos onde a demanda fosse dependente do preço, sendo esta dependência expressa como uma função do preço (Qin *et al.*, 2010).

Mills (1959) apresenta um modelo onde a demanda estocástica é resultado da adição entre uma função linear do preço e um ruído aleatório ε , ou seja, $x = \mu(p) + \varepsilon$, onde: $\mu(p) = a - bp$ é uma função que considera a média da demanda como uma função linear do preço cobrado ao mercado; a e b são constantes positivas; e ε é uma variável aleatória com função densidade de probabilidade $f_1(x)$, distribuição acumulada $F_1(x)$, e média zero. Karlin & Carr (1962) propõem um modelo multiplicativo para explicar a relação entre preço e demanda, através da expressão $x = \mu(p) \cdot \varepsilon$, onde: $\mu(p) = a \cdot p^{-b}$ é uma função que considera a média da demanda como uma função do preço cobrado ao mercado; a e b são constantes positivas, $b > 1$; e ε é uma variável aleatória com função densidade de probabilidade $f_2(x)$, distribuição acumulada $F_2(x)$, e média igual a 1. Nestes dois modelos, a expressão de lucro esperado é uma função bivariada, tendo o preço e a quantidade pedida como variáveis de decisão conforme a equação 3.11 (Qin *et al.*, 2010):

$$E[\pi(p, Q)] = (p - w)\mu(p) - c_o \cdot E[Q - x]^+ - c_u \cdot E[x - Q]^+ \quad (3.11)$$

Onde $E[Q - x]^+$ é o número esperado de unidades super-estocadas, $E[x - Q]^+$ é o número esperado de unidades sub-estocadas. c_o corresponde aos custos decorrentes do excesso de estoques, e c_u corresponde aos custos provocados pela insuficiência de estoques.

Qin *et al.* (2010) derivam as condições de primeira e segunda ordem para os problemas apresentados por Mills (1959) e Karlin & Carr (1962) e demonstram que as soluções ótimas para maximização do lucro, análogas ao *critical fractile* do modelo clássico, são obtidas respectivamente por meio das expressões 3.12 e 3.13:

$$F_1[Q^*(p) - a + bp] = \frac{c_u}{c_o + c_u} \quad (3.12)$$

$$F_2[Q^*(p) a^{-1} p^b] = \frac{c_u}{c_o + c_u} \quad (3.13)$$

Lau & Lau (1988) estendem o modelo de Lau (1980) para o estabelecimento de um nível de preço e de um pedido por um *newsvendor* que se depara diante de uma demanda dependente do preço. Como em Lau (1980), dois problemas são resolvidos em função dos seguintes objetivos: no primeiro, maximização do lucro esperado; no segundo, maximização da probabilidade de se atingir um lucro-alvo. Nos dois problemas, os autores consideram duas relações diferentes entre preço e demanda: na primeira, é considerada uma forma aditiva semelhante à apresentada por Mills (1959), onde o termo aleatório segue uma distribuição normal; na segunda, os autores constroem uma relação baseada em uma distribuição beta, com parâmetros estimados por meio de estimações subjetivas.

Khouja (2000) amplia seu trabalho anterior (Khouja, 1995) para uma situação em que: a demanda é dependente do preço; o decisor faz uso de múltiplos descontos a fim de vender o excesso de estoque; e há um custo de *setup* decorrente da divulgação do desconto e da remarcação de preços. O autor divide o problema em dois subproblemas: no primeiro, diante de uma demanda realizada, de uma relação demanda-preço observada e de um dado lote de compra, Khouja (2000) apresenta um algoritmo para determinar o esquema ótimo de descontos. No segundo subproblema, obtém-se o lote de compra que maximiza o lucro esperado antes de se conhecer a realização da demanda. O autor conclui que, para o problema de descontos em um *SPP*, o uso de descontos progressivos aumenta as receitas para qualquer lote de compra Q e qualquer realização da demanda. O efeito deste desconto progressivo se mostrou mais significativo para contextos onde a elasticidade-preço da demanda é maior, e onde os custos fixos da implementação dos descontos são menores.

Chen *et al.* (2004) propõem um modelo de *SPP* para empresas do tipo *newsvendor* que operam em um ambiente concorrencial, onde a demanda é dependente do preço e as empresas utilizam o preço para competir pela demanda no mercado. Os autores apontam as condições para a existência e unicidade de um equilíbrio de Nash para o problema. Nestas condições, uma vez que cada uma otimizou seus lucros próprios condicionados aos esquemas de preço das outras firmas, nenhuma empresa tem interesse em subir seus preços. Além disso, em uma situação de equilíbrio cooperativo, cada empresa se sente incentivada para baixar seus preços a fim de obter um maior percentual da demanda. Dessa forma, Chen *et al.* (2004) concluem que a competição proporciona um menor preço de equilíbrio e maiores níveis de estoques em todas as firmas.

Além de modelos que estudam as influências do preço, há extensões do *SPP* que exploram influências na demanda geradas por esforços de marketing, tais como propaganda,

divulgação de amostras grátis, exibição em lojas etc. Qin *et al.* (2010) apresentam um modelo que incorpora essa característica ao *SPP*, modelando a média da demanda como uma função não decrescente, $\mu(e)$, do esforço e de marketing empreendido pelo vendedor. Os autores consideram que a variância da demanda é independente de e , e que o custo $y(e)$ associado aos esforços de marketing é convexo em e . Seguindo-se estas hipóteses, o nível ótimo de esforço de marketing pode ser obtido pela resolução da seguinte condição de primeira ordem:

$$(p - c) \frac{d\mu(e)}{de} - \frac{dy(e)}{de} = 0 \quad (3.14)$$

As quantidades ótimas para o problema são obtidas pela equação 3.15 (Qin *et al.*, 2010):

$$F_3(Q^*) = \frac{p - w + s}{p - v + s} \quad (3.15)$$

Onde F_3 é a distribuição acumulada da demanda em um cenário de sensibilidade aos esforços de marketing, cuja média é $\mu(e^*)$

Ao propor um modelo de coordenação de cadeia de suprimentos através de bônus sobre as vendas, Taylor (2002) considera também um cenário onde a demanda é influenciada pelos esforços de venda através de uma função multiplicativa $e\varepsilon$ que associa o nível de esforços e a uma variável aleatória ε . O decisor se depara também com um custo $c(e)$ associado a cada nível de esforço ε . Em seu modelo, o autor aponta que a efetividade marginal dos esforços é constante, embora o custo marginal associado aos esforços de venda seja crescente. Taylor (2002) deriva os valores ótimo para ε e Q , e conclui que embora os esforços de venda sejam custosos, as receitas integradas da cadeia são crescentes em e . Entretanto, o lucro esperado é uma função côncava em Q e ε , de forma que as condições de primeira e segunda ordem devem ser observadas de forma a obter o maior lucro esperado para a cadeia coordenada de suprimentos. He *et al.* (2009) também investigam, como Taylor (2002), a questão da coordenação da cadeia de suprimentos em um contexto de *SPP*, mas consideram que a demanda aleatória é sensível simultaneamente a esforços de venda e a mudanças no preço do varejo.

Há também um grupo de trabalhos que abordam o *SPP* em um contexto onde a demanda é influenciada pelo nível de estoques observado pelos clientes. Estes trabalhos são classificados por Qin *et al.* (2010) em duas categorias: a primeira é composta de modelos onde a demanda é função do nível inicial de estoques; a segunda, por sua vez, encerra os modelos que consideram a demanda dependente, a cada momento, do nível instantâneo de estoques. Dessa forma, a rigor, a demanda nesta segunda categoria de trabalhos tem uma distribuição de probabilidade que se altera com o nível de estoques e com o tempo. Entretanto, como Qin *et al.* (2010) apontam, devido às complexidades técnicas, dificilmente

trabalhos dentro desta segunda categoria incorporam incerteza à demanda. Dentro da primeira categoria apresentada, seja o caso em que a demanda é uma função linearmente crescente do nível inicial de estoques através da expressão $x(Q) = a + mQ + \varepsilon$, onde $a > 0$, $0 < m < 1$, e ε é uma variável aleatória com p.d.f. f_4 e c.d.f. F_4 . Assumindo que um decisor é neutro ao risco e deseja maximizar o lucro esperado, conforme condição derivada por Qin *et al.* (2010), o tamanho ótimo de pedido Q é obtido através da equação 3.16:

$$F_4[(1-m)Q^* - a] = \frac{\frac{p-w}{1-m} + s}{p-v+s} \quad (3.16)$$

Onde F_4 é a distribuição acumulada da demanda em um cenário de sensibilidade aos níveis observados de estoques disponíveis. Como referência de outros modelos que exploram a hipótese de influência do nível de estoques sobre a demanda, pode-se citar também os trabalhos de Baker & Urban (1988), Urban & Baker (1997), Urban (2002) e Liao *et al.* (2010).

Para Alfares & Elmorra (2005), a inclusão de custos de falta (*shortage penalty costs*) à modelagem de *SPP* é uma extensão realista e importante, pois em situações reais há sempre um custo associado em falhar no atendimento ao cliente. Este custo é assumido pelos autores como conhecido no problema, e não se fazem considerações adicionais sobre a forma de obtê-lo. Os autores apresentam um modelo de *SPP* para distribuições de probabilidade desconhecidas, assumindo que se conhecem apenas a média e variância da demanda, e incorporando o custo de falta de produto. Para diferentes situações, os autores estabelecem o lote ótimo de compra e um limite inferior para o lucro considerando a pior distribuição possível de demanda.

O trabalho de Alfares & Elmorra (2005) pode ser classificado dentro de uma linha de modelos denominados de *distribution-free* - onde se relaxa a hipótese de estabelecimento da distribuição de probabilidade da demanda - utilizados para situações onde esta distribuição não pode ser obtida ou estimada com facilidade. Também dentro deste grupo de trabalhos, Mostard *et al.* (2005) desenvolveram um modelo de *SPP* considerando a ocorrência aleatória de retorno de produtos comercializáveis dos clientes finais, e um cenário onde se conhecem apenas a média e a variância da demanda. Yue *et al.* (2007) apresentam procedimentos de escolha cujas informações necessárias são a média e a amplitude da variável aleatória utilizada, buscando minimizar diversas funções apresentadas para o balanceamento dos custos de sobre-estocagem e dos custos de sub-estocagem em um *SPP*. Trabalhando o objetivo de minimização dos custos totais com uma função generalizada de custos, os autores obtêm as

distribuições de probabilidade mais favoráveis e menos favoráveis, e conseqüentemente, os limites inferior e superior da função custo do problema. Outro exemplo de modelo dentro deste grupo é o apresentado por Liao *et al.* (2010), que assumindo conhecimento apenas da média e da variância da demanda, desenvolvem um modelo de *SPP* para um cenário de relutância do cliente (*customer balking*), onde o cliente hesita em adquirir o produto quando a disponibilidade de estoques está abaixo de um nível limite. Os autores incorporam ao modelo um custo linear de vendas perdidas (através de uma penalidade unitária l), e estabelecem a função objetivo de forma a maximizar o lucro esperado do *news vendor*.

Há trabalhos que exploram o problema do jornaleiro com uma abordagem baseada na teoria dos *Conjuntos Fuzzy*. Petrovic *et al.* (1996) apresentam dois modelos *fuzzy* para tratar a incerteza em um *SPP*. No primeiro modelo, a incerteza é na demanda, que é descrita por conjuntos *fuzzy* para descrever estimativas subjetivas sobre a mesma. No segundo modelo, conjuntos *fuzzy* são utilizados para descrever a incerteza sobre custos de estoque, a saber, os custos de excesso e de falta de produto. Em ambos os modelos, os autores derivam o lote ótimo de compra para um período fixo de forma minimizar os custos "possíveis" totais. Kao & Hsu (2002) também desenvolvem uma abordagem *fuzzy* para o *SPP* e utilizam um método de ranking de números *fuzzy* para encontrar o tamanho ótimo do pedido. Concluem que quando o lucro gerado pela venda de um produto é menor que a perda decorrente de o produto não ser vendido, o tamanho do pedido se localiza no lado esquerdo da função de demanda *fuzzy*. Por outro lado, quando o lucro em vender é maior do que a perda pelo excesso de estoque, o tamanho do pedido se localiza no lado direito da função de demanda *fuzzy*. Dutta *et al.* (2005) trabalham este problema considerando apenas incerteza na demanda, com o objetivo de maximizar o lucro numa abordagem *fuzzy*. Chen & Ho (2011) propõem um modelo *fuzzy* de *SPP* com descontos incrementais por quantidade, com o objetivo de minimizar os custos totais no problema de único período. Os autores utilizam o método de ranking de Yager para transformar as funções de custo *fuzzy*, cada uma para uma faixa de desconto, em funções não lineares convexas, e de acordo com a posição relativa entre os limiares dos descontos e os pontos de mínimo nestas funções, os autores determinam a quantidade que proporciona a melhor política de estoques. Entretanto, acerca da consideração de uma modelagem *fuzzy* para gestão de estoques, Vijayan & Kumaran (2008) salientam que as variáveis de decisão e os custos totais obtidos são consideravelmente sensíveis ao nível de "fuzzyficação" dos componentes de custo.

Considerando o cenário de excesso de demanda ($x > Q$), em diversas aplicações reais, duas situações principais são consideradas em caso de *stock-out* no revendedor (San José *et al.*, 2006): na primeira, todos os clientes com demanda não atendida deixam o sistema e essas vendas são completamente perdidas; na segunda, todos os clientes aguardam até a chegada do próximo lote pedido pelo revendedor ao seu fornecedor. Este último caso é conhecido como *complete backorder case*.

Entretanto, uma das extensões do *SPP*, considerada por Khouja (1996), admite que o revendedor possua a opção de lançar mão de um ressurgimento emergencial diante de um cenário de falta de produto. Em uma situação como esta, uma proporção dos consumidores com pedidos não imediatamente atendidos está disposta a esperar que o produto seja disponibilizado após um ressurgimento emergencial. Este pode se caracterizar como um segundo pedido ao fornecedor ao final da temporada de vendas, após se conhecer a realização da demanda X . Em geral, ressurgimentos emergenciais para pedidos em espera apresentam *lead-times* mais curtos do que os originais, mas isso implica em custos extras decorrentes de serviços administrativos adicionais, trabalho em horas extras para produção, compras *spot* de matérias-primas e serviços de entrega mais rápidos (Lodree Jr, 2007). Em Khouja (1996), o problema foi modelado de forma que o custo unitário de um ressurgimento emergencial, b , respeite a restrição seguinte: $w < b < p + s$.

Esta situação de demanda em espera, crescentemente estudada na literatura envolvendo *SPP*, é denominada de retenção parcial (*partial backordering* ou *partial backlogging*) (Zhou *et al.*, 2004; San José *et al.*, 2006; Lodree Jr, 2007; Lee & Lodree Jr, 2010). Quando um dado volume de pedidos não pode ser prontamente atendido, uma parte destes pedidos não pode ser recuperada e ocasiona conseqüências de vendas perdidas, o que a maioria dos autores modela através de um custo-penalidade unitário, aqui denotado como l . A outra parte dos pedidos fica em espera até ser atendida.

Mesmo para estes pedidos em espera, se o *lead-time* de ressurgimento for suficientemente longo, clientes poderão procurar ter seus pedidos atendidos a partir de estoques disponíveis em um concorrente do revendedor. Por outro lado, se o tempo de ressurgimento for razoavelmente curto, o revendedor poderá reter os negócios com os seus clientes e fazer uso da paciência destes em aguardar (Lee & Lodree Jr., 2010).

Quando a fração β de pedidos retidos é função do tempo de espera, tem-se a chamada “retenção parcial dependente do tempo” (*time-dependent partial backlogging*). San José *et al.* (2006) modelam esta dependência do tempo como uma função exponencial negativa. Autores

como Lodree Jr. (2007), Zhou & Wang (2009), e Lee & Lodree Jr. (2010) admitem outras relações entre o percentual dos clientes que permanecerão em carteira (ou a probabilidade destes clientes permanecerem retidos) e o tempo de ressuprimento emergencial. Assumem também que o tempo de ressuprimento é proporcional ao número de pedidos não atendidos, ou seja:

$$\beta(t_{se}) = \beta(x - Q) \quad (3.17)$$

De uma forma geral, um modelo para o problema de único período com *partial backlogging*, cuja função objetivo é a minimização dos custos esperados, pode ser assim definido (Lodree Jr., 2007; Lee & Lodree Jr., 2010):

$$\begin{aligned} \underset{Q}{\text{Min}} CT(Q) = & w \cdot Q + h \cdot \int_0^Q (Q - x)(x) f(x) d(x) + b \cdot \int_Q^\infty (x - Q) \cdot \beta(x - Q) f(x) d(x) \\ & + s \cdot \int_Q^\infty (x - Q) \cdot [1 - \beta(x - Q)] f(x) d(x) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Onde:

$CT(Q)$ – custos de pedido/*setup* + custos esperados de manutenção de estoques residuais + custos esperados de pedidos em espera + custo esperado de vendas perdidas;

b – custo unitário de produção ou pedido, após realização da demanda, para pedidos em espera;

$\beta(x - Q)$ – fração dos pedidos não prontamente atendidos (faltas) que ficarão em espera (*backorders*);

s – custo unitário de vendas perdidas.

Dentre os modelos que exploram a condição de retenção parcial, Khouja (1996) propõe um modelo de *SPP* com uma opção de ressuprimento emergencial, relaxando assim a hipótese de que, havendo quebra de estoque, toda a demanda não atendida será perdida. O autor trabalha com t , a proporção da demanda que pode ser satisfeita através de um ressuprimento emergencial em caso de falta de produto. Khouja (1996) assume que esta proporção é constante e conhecida, e deriva os valores ótimos de Q^* para resolver os problemas de maximização do lucro esperado e de maximização da probabilidade de atingir um lucro-alvo. O autor conclui que, para esta extensão proposta ao problema clássico, o novo lote ótimo de compra é menor que o lote ótimo de compra em uma situação sem oportunidade de ressuprimento emergencial.

Lodree Jr. *et al.* (2008) propuseram uma variação de *SPP*, para minimizar o custo total esperado do *newsvendor*, considerando uma situação de retenção completa de demanda não-atendida na qual os custos de *backorder* são proporcionais ao lead-time de ressuprimento

emergencial. Os autores introduzem um custo de espera não linear, caracterizado por múltiplos carregamentos durante o processo de atendimento emergencial de pedidos em espera, e apresentam um procedimento heurístico para aproximação da solução que pode ser aplicado a qualquer distribuição de demanda.

Lee & Lodree Jr. (2010) trabalham o *SPP* em um contexto de retenção parcial de demanda, explorando diversas funções de *backorders* para representar diferentes respostas dos consumidores à ocorrência de falta. Os autores lançam mão da formulação matemática que descreve o comportamento em relação ao risco, proveniente da Teoria da Utilidade, e estabelecem as condições de $\beta''(t)$ que caracterizam os consumidores como *pacientes*, *neutros*, ou *impacientes* em relação à sua disposição de aguardar por um ressurgimento emergencial em situações de *stock-out*. Os autores formulam o problema com o objetivo de minimizar o custo total esperado, e funções de *backorder* representativas dos três tipos de comportamentos apresentados são apresentadas. Lee & Lodree Jr. (2010) também demonstram para cada caso a existência de um tamanho de pedido que minimiza o custo total esperado do *newsvendor*.

Além de problemas do tipo *SPP*, diversos trabalhos também foram desenvolvidos, explorando a condição de retenção parcial dependente do tempo, no contexto de modelos de revisão contínua de estoques. Dentre estas publicações, pode-se citar Abad (2001), que abordou o problema de gestão de estoques de bens perecíveis, onde o decisor pode precisar colocar sob *backlogging* parte da demanda de forma a evitar altos custos de deterioração decorrente de sobre-estocagem. O autor modela o fenômeno de retenção de demanda como uma função estritamente decrescente do tempo de espera, e ignorando os custos de retenção de demanda e de vendas perdidas em virtude da dificuldade de estimarem-se estes parâmetros na prática. O problema é modelado com o objetivo de maximizar o lucro esperado por período, para o qual o preço ótimo e o tamanho ótimo de pedido são calculados. Um outro exemplo é o trabalho de Zhou *et al.* (2004), que apresentam um modelo de estoques onde a demanda é uma função determinística do tempo. O modelo assume múltiplos e sucessivos períodos, e o custo de ressurgimento por pedido é considerado como dependente do tamanho do lote. A demanda sofre retenção parcial em cenário de *stock-out*, mas esta retenção é modelada como uma função determinística do tempo de espera até o próximo ressurgimento. San José *et al.* (2006) apresentam um modelo de gestão de estoques onde o excesso de demanda é parcialmente retido de acordo com uma função exponencial negativa do tempo em que os consumidores esperarão até que seus pedidos sejam atendidos. Enquanto Zhou *et al.*

(2004) abordam o problema buscando a minimização dos custos totais, o problema em San José *et al.* (2006) é estabelecido de forma a maximizar o lucro total por período. Neste trabalho, os custos totais são compostos de custos de pedido, de manutenção, custos de ressurgimento emergencial (*backorder costs*) e de vendas perdidas, todos assumidos como parâmetros conhecidos.

Uma hipótese constituinte do modelo clássico de *SPP* é a de que o agente de decisão, aqui também denominado de *newsvendor*, apresenta uma atitude de neutralidade ao risco (Keeney & Raiffa, 1976), escolhendo assim uma solução que maximize o lucro ou minimize o custo esperado. Esta hipótese também foi relaxada por diversos trabalhos em *SPP*, seguindo a linha iniciada por Lau (1980) de incorporar as preferências do decisor e seu comportamento em relação ao risco através de funções utilidade.

Bouakiz & Sobel (1992) abordam o problema de um *newsvendor* que opera em sucessivos períodos, e cuja atitude em relação ao risco pode ser descrita por uma função utilidade exponencial. Os autores desenvolvem a estratégia de ressurgimento que minimiza a utilidade esperada do valor presente líquido dos custos sobre um horizonte de planejamento finito, ou sobre um horizonte infinito. Assume-se a função utilidade exponencial $u(C(N)) = -e^{-\tau C(N)}$, onde $C(N)$ é o valor presente líquido do custo total decorrente de operações em N períodos e τ é uma constante positiva que traduz grau de aversão ao risco do decisor. Considerando custos de pedido lineares, Bouakiz & Sobel (1992) demonstram que uma política de estoque-base é ótima para este problema.

Eeckhoudt *et al.* (1995) examinam a influência da aversão ao risco sobre o tamanho do lote de compra em um problema de único período (*SPP*). Considerando um revendedor averso ao risco, os autores analisam detalhadamente os efeitos de incrementos na incerteza, de diferentes atitudes de aversão ao risco, e de variações nos parâmetros de preço e custo sobre o tamanho do pedido. Eeckhoudt *et al.* (1995) assumem a hipótese de retenção completa de demanda, que precisa ser satisfeita. Neste caso, o revendedor providencia emergencialmente produtos adicionais a um custo b maior que o custo regular c . Dois efeitos de incremento de risco são analisados: um cenário de adição de risco à riqueza inicial do decisor; e um cenário de aumento nas incertezas associadas à demanda. Nos dois cenários, os autores trabalharam com $u(w)$, a utilidade da riqueza final esperada do *newsvendor*, e assumindo que o mesmo era fracamente averso ao risco, Eeckhoudt *et al.* (1995) concluíram que o tamanho “ótimo” do pedido decresce à medida que a aversão ao risco aumenta: um decisor com aversão ao risco realiza um pedido Q_A menor que o pedido Q_N de um decisor neutro ao risco. Além disso, os

autores observaram que: se as preferências do decisor apresentam uma aversão absoluta ao risco ($-u''[z]/u'[z]$) decrescente, um decisor com maior riqueza inicial terá um maior volume de pedido; o pedido Q^* aumenta com o valor residual do produto e com o custo unitário de ressurgimento emergencial.

Enquanto Eeckhoudt *et al.* (1995) consideram o preço de venda como uma variável não controlada (exógena), Agrawal & Sesadri (2000) estudam a situação onde esta é uma variável de decisão, e analisam o impacto da incerteza e da aversão ao risco sobre um decisor na escolha combinada de preço e tamanho do pedido. Na estrutura de seu trabalho, os autores consideram a combinação de um sistema de ressurgimento emergencial com retorno de produtos ao fornecedor. Consideram também dois modelos de influência do preço sobre a demanda: no primeiro, o preço influencia apenas a escala (dispersão) da distribuição da demanda; no segundo, o preço influencia apenas a localização da distribuição.

Os autores concluem que a influência da aversão ao risco do decisor sobre sua escolha de preço/pedido depende do impacto do preço sobre a distribuição da demanda. Comparado a um decisor neutro ao risco, um *newsvendor* averso ao risco no primeiro modelo cobrará um preço mais alto aos clientes finais e terá um tamanho de pedido menor à medida que sua aversão ao risco aumenta. Devido à influência do preço sobre a dispersão da demanda, maior preço resulta em uma menor variabilidade relativa da demanda, e menor lote de pedido proporciona maior economia nos custos de estocagem. No segundo modelo, onde o preço influencia apenas a localização da demanda, à medida que a aversão ao risco aumenta, o preço diminui, e o efeito sobre a quantidade pedida pelo *newsvendor* dependerá do desequilíbrio relativo entre aversão ao risco e a sensibilidade da demanda ao preço. Se o segundo fator é predominante, o tamanho do pedido crescerá. Os autores concluem que, em ambos os modelos, a aversão ao risco reduz o lucro esperado do decisor.

Keren & Pliskin (2006) derivaram as condições de primeira ordem para o *SPP* quando o decisor é averso ao risco e deseja maximizar a utilidade esperada do lucro obtido. Assumindo que a função utilidade monoatributo é qualquer função monotonicamente crescente e derivável, o objetivo pode ser formulado conforme já apresentado na equação 3.9:

$$Max_Q E\{u[\pi(Q)]\} = Max_Q \left\{ \int_0^Q u[(h+p)x - (w+h)Q] f(x) d(x) + \int_Q^\infty u[(p-w+s)Q - sx] f(x) d(x) \right\} \quad (3.9)$$

Nestas circunstâncias, a condição de primeira ordem para uma solução ótima para o problema é apresentada pelos autores conforme equação 3.19:

$$\frac{(p-w+s)}{(w+h)} = \frac{\int_0^Q u'[(h+p)x - (w+h)Q]f(x)dx}{\int_0^{\infty} u'[(p-w+s)Q - sx]f(x)dx} \quad (3.19)$$

Para decisores neutros ao risco, a solução da equação 3.19 passa a ser o *critical fractile*, conforme apresentado na equação 3.10. Keren & Pliskin (2006) analisam também o caso particular em que o decisor se depara com uma demanda uniformemente distribuída [$X \sim U(A,B)$], e observam que um *newsvendor* averso ao risco com uma função utilidade uniformemente mais côncava (mais averso) que outro decisor estabelece seu pedido Q^* em um valor abaixo do estabelecido por este último.

Wang & Webster (2009) fazem uso do conceito de aversão à perda para modelar a decisão em um *SPP* diante de incerteza na demanda. Denotando a riqueza do *newsvendor* como W , onde W_0 é sua riqueza inicial antes da temporada de vendas, os autores descrevem as preferências do decisor através da seguinte função utilidade de aversão à perda (equação 3.20):

$$U(W) = \begin{cases} W - W_0 & \text{para } W \geq W_0 \\ \lambda(W - W_0) & \text{para } W < W_0 \end{cases} \quad (3.20)$$

Onde $\lambda \geq 1$ é definido como o coeficiente de aversão à perda. Maiores valores de λ correspondem a maiores níveis de aversão à perda.

Analisando o comportamento do tamanho ótimo do pedido diante da variação de diferentes parâmetros do modelo, Wang & Webster (2009) identificam que, quando os custos de falta são baixos, um decisor averso a perda terá um pedido menor que um decisor neutro ao risco, e quanto maior sua aversão à perda, menor o seu tamanho ótimo de pedido. Por outro lado, quando os custos de falta são altos, um decisor averso a perda comprará mais que um decisor neutro ao risco, e quanto maior sua aversão à perda, maior o seu tamanho ótimo de pedido. Os autores concluem esclarecendo que o viés observado em relação a um *newsvendor* neutro ao risco é porque um *newsvendor* averso à perda é mais sensível a perdas que a ganhos, portanto sua utilidade marginal para perdas decorrentes de super-estocagem não é igual à sua utilidade marginal para perdas proporcionadas por sub-estocagem, de forma que o termo dominante em uma dada situação determina a direção do viés.

Em outra vertente para o problema do jornaleiro, Mostard & Teunter (2006) exploram o *SPP* sob uma perspectiva de retorno de produtos, não do revendedor para o fornecedor (como no caso de contratos de *buyback*), mas do cliente para o revendedor. Neste modelo, cada

produto vendido retorna ao revendedor com certa probabilidade, e estando sem defeitos ou problemas, o cliente final tem direito de receber reembolso total caso o retorno se processe ainda durante a temporada de vendas. O produto que chega em perfeito estado pode ser revendido por qualquer número de vezes, qualquer demanda adicional à quantidade Q (cenário de sub-estocagem) é perdida, e produtos que permaneçam em estoque após a temporada de vendas são descartados por um valor residual. Com base em dados de uma companhia de venda de produtos pela internet, e trabalhando com distribuições de demanda bruta e demanda líquida (abatidos os retornos), Mostard & Teunter (2006) derivam a quantidade ótima Q^* que maximiza o lucro esperado do *newsvendor*. Este tipo de modelo tem sido utilizado para explorar contextos de negócios onde sejam significativos os efeitos do direito que os clientes possuem de devolver dentro de certo período de tempo um produto que fora adquirido. Como citado anteriormente, em Mostard *et al.* (2005), os autores desenvolveram este estudo para um cenário do tipo *distribution-free*, onde apenas a média e a variância da demanda são conhecidas.

Para modelar os impactos da aversão ao risco em um decisor do tipo *newsvendor*, Choi & Chiu (2010) propõem o uso de dois modelos de média-risco (*mean-risk models*) para tratamento de um *SPP* em uma empresa revendedora de produtos de estação: modelo de média-variância (MV) proposto por Markowitz na década de 1950 (Markowitz, 1959), e um modelo de média-riscos desfavoráveis (MDR - *mean-downside risks*). Basicamente, os modelos de MV capturam o nível de risco pela utilização da variância do lucro, enquanto os modelos de MDR utilizam apenas as dispersões desfavoráveis em relação à média dos retornos. Dois modelos de *SPP* para cada tipo de tratamento do risco foram desenvolvidos considerando os casos em que o preço de varejo é uma variável controlada ou uma variável exógena. Os autores comparam os modelos MV e MDR entre si e com o modelo de maximização do lucro esperado (decisor neutro ao risco) considerando um conjunto de medidas de "sustentabilidade" para o negócio (sob o ponto de vista econômico, não ambiental). Estas medidas foram o número esperado de unidades não vendidas, a razão entre o número esperado de vendas e o número esperado de unidades não vendidas, a taxa de retorno sobre o investimento (ROI) e a probabilidade de atingir um lucro-alvo pre-determinado. Com base em simulações apresentadas, os autores concluem que, tanto para os casos em que o preço é determinado pelo decisor como para o caso em que o preço é uma variável externa, os modelos de média-risco da teoria econômica apresentam melhor

desempenho que o modelo com decisor neutro ao risco em todas as medidas de sustentabilidade apresentadas.

Yang *et al.* (2011) propõem um modelo de *newsvendor* onde a decisão envolve o lote de compra e o preço de venda do produto de forma a maximizar a probabilidade de se atingir simultaneamente tanto uma meta de lucro como uma meta de receita. Os autores derivam expressões fechadas para o tamanho ótimo do pedido, o preço ótimo de venda e para a probabilidade máxima de se obter as metas de lucro e de receita. Eles concluem que a capacidade do *newsvendor* atingir os alvos de lucro e receitas simultaneamente depende essencialmente da margem de lucro estabelecida, bem como da razão entre as metas de lucro e de receita. Além disso, Yang *et al.* (2011) demonstram que, para um agente vendendo um produto cuja demanda tem grande elasticidade ao preço, a melhor estratégia é cobrar preços menores e aumentar o lote de compra a fim de maximizar a probabilidade de atingir simultaneamente metas de lucro e receita.

3.3 SPP e Coordenação da Cadeia de Suprimentos

Vários trabalhos entenderam o problema do jornaleiro para o contexto das cadeias de suprimentos, uma vez que a modelagem destas últimas através de um *SPP* tem sido útil para fornecer *insights* teóricos acerca dos fatores que contribuem para, ou dificultam, as iniciativas de coordenação entre os estágios destas cadeias.

Pode-se analisar, por exemplo, o caso de um fornecedor que fabrica um produto e um revendedor ou varejista que vende este produto em um contexto de *SPP*. O fornecedor busca maximizar o seu lucro recebendo grandes pedidos do revendedor a fim de minimizar os seus custos de produção; por sua vez, o revendedor está preocupado em solicitar ao fornecedor uma quantidade Q tal que equilibre fornecimento e demanda de forma a maximizar seus próprios lucros (Ryu & Yücesan, 2010).

Modelando o problema citado como um *SPP*, o revendedor ou varejista compra o produto de seu fornecedor e o comercializa em uma única temporada de vendas. Assume-se inicialmente, que não há restrições quanto ao tamanho do lote a ser produzido/transferido, que a capacidade de armazenagem do revendedor é ilimitada e que este último dispõe de uma única oportunidade de solicitar uma quantidade Q de modo a formar seu estoque antes da temporada de vendas iniciar. O revendedor precisa então tomar uma decisão de compromisso

envolvendo os possíveis impactos de excesso e os possíveis impactos de falta em face da incerteza da demanda.

Para este problema, podem-se considerar dois tipos de cenários: um cenário centralizado, onde a cadeia de suprimentos formada pelo fornecedor e pelo revendedor é verticalmente integrada, de forma que ambos pertençam à mesma corporação ou *holding*; e um cenário descentralizado, onde fornecedor e revendedor são *players* independentes (Ryu & Yücesan, 2010).

Num cenário centralizado, a cadeia de suprimentos como um todo se depara com dois tipos de risco: o risco de falta de produto, quando o volume produzido e fornecido ao revendedor não é suficiente para atender à demanda do mercado, ocasionando vendas perdidas; e o risco de excesso de produto na cadeia, resultando em estoques perdidos ou com valor depreciado ao fim da temporada de vendas. Neste contexto, assumindo que não há acúmulo intencional de estoques pelo fornecedor, um agente de decisão centralizada é responsável por toda a cadeia, e precisa decidir o lote a ser produzido de forma a maximizar, por exemplo, o lucro esperado da cadeia de suprimentos. Para maximização do lucro esperado, a solução é a conhecida fórmula $Q^* = F^{-1}[(p + s - c)/(p + s + h)]$, onde c não denota o custo de compra do revendedor, mas os custos de aquisição de matérias-primas e de produção do fornecedor somados aos custos de transporte do produto e de recebimento pelo revendedor.

Num cenário descentralizado, o revendedor decide seu lote de compra considerando seus parâmetros locais de preço e custo (Arshinder *et al.*, 2009; Ryu & Yücesan, 2010). Apresenta então seu pedido de ressuprimento a um fornecedor independente, que não necessariamente expõe sua estrutura de custos ao revendedor, mas informa um preço de atacado w por unidade fornecida. Nos modelos sem restrição de capacidade, o fornecedor geralmente produz e vende exatamente a quantidade solicitada pelo revendedor, que os revende posteriormente aos seus clientes. Nesse sentido, o fornecedor aumenta seus lucros com o aumento de produção, e cabe ao revendedor ou varejista o equacionamento entre suprimento e demanda, determinando a quantidade pedida de forma a maximizar seus próprios resultados.

Entretanto, considerando $w \gg c$ e que o revendedor deseja maximizar seu lucro esperado, a quantidade produzida/pedida em um cenário descentralizado será bem menor que a de um cenário centralizado, uma vez que o revendedor não solicitará um nível de estoque que maximize o lucro da cadeia de suprimento como um todo, mas apenas o seu próprio

resultado. Diante disto, faz-se necessário que o revendedor receba incentivos de coordenação por parte do fornecedor de forma que o primeiro aumente seu lote de compra, aproximando os resultados do segundo daqueles que seriam obtidos com um lote ótimo de produção.

Segundo Ryu & Yücesan (2010), em cadeias de suprimento descentralizadas, incentivos de coordenação devem ser compatíveis com os riscos que os agentes correm ao se submeterem a uma política de coordenação de pedidos. Estes incentivos, conforme abordado na seção 3.1, podem incluir descontos, contratos de retorno de produtos (*buy-back contracts*), contratos de compartilhamento de receitas, cláusulas de pedidos firmes (volumes garantidos), multas etc. Iniciativas como estas têm por objetivo o alinhamento de prioridades divergentes dos membros de uma cadeia de suprimentos, buscando distribuir riscos e recompensas de uma forma mais equitativa (Ryu & Yücesan, 2010).

Em uma destas linhas de incentivo, Jucker & Rosenblatt (1985) analisam três tipos de descontos por quantidade: descontos sobre todas as unidades, descontos incrementais, e descontos sobre a contribuição de cada unidade pedida para o fechamento de um carregamento para o revendedor. Lin & Kroll (1997) propõem um modelo de integração com descontos sobre todas as unidades e um modelo com descontos incrementais, definindo como função objetivo a maximização do lucro esperado sujeita a uma restrição de que a probabilidade de atingir um dado lucro-alvo não seja menor do que uma constante estabelecida como um nível de risco. Uma revisão da literatura referente à determinação de tamanhos de lote sob descontos por quantidade pode ser encontrada em Goyal & Gupta (1989) e em Benton & Park (1996).

Pasternack (1985) apresenta uma política de retorno de produtos (*buyback contracts*) como um instrumento de coordenação para cadeias de suprimentos de dois estágios formada por um fornecedor e um (ou múltiplos) revendedor. A cadeia opera em um cenário de *SPP*, assumindo-se que o revendedor solicitará seu pedido apenas uma vez, vendendo os seus estoques até que eles sejam totalmente consumidos ou que seu ciclo de vida seja totalmente exaurido. A demanda é aleatória e independente do preço de varejo, que é considerado como fixo entre os revendedores devido às pressões de mercado, característica comum em mercados altamente competitivos. Como na maioria dos modelos de *SPP*, o fornecedor não produz para estoques, mas apenas o volume de produto que será transferido inicialmente para comercialização pelo revendedor.

Comparando o lucro esperado obtido em uma cadeia centralizada, controlada pelo fornecedor, com uma cadeia não centralizada onde o revendedor determina seu lote de

compra de forma a maximizar seu próprio lucro esperado, Pasternack (1985) deriva as condições ótimas de uma política de coordenação via retorno de produtos que estimule o revendedor a solicitar o mesmo tamanho de lote que solicitaria em uma cadeia centralizada. Estas condições especificam o preço unitário de atacado cobrado ao revendedor, o crédito por cada unidade retornada ao fornecedor, e a porcentagem dos bens adquiridos pelo revendedor cujo retorno será admitido em troca de crédito. Com base na modelagem proposta, o autor conclui que uma política de coordenação que permita retornos ilimitados com crédito total não é ótima para o sistema, bem como uma política caracterizada pela ausência de retornos. Também observa que no caso em que o fornecedor permite apenas retornos parciais, os valores ótimos do preço e do crédito oferecidos ao fornecedor serão funções da distribuição de probabilidade da demanda observada por cada revendedor. Dessa forma, uma política única de preço e crédito que permita retornos parciais não pode ser ótima para a cadeia considerando-se um ambiente de múltiplos revendedores distintos. Por outro lado, uma política de coordenação que permita retornos ilimitados por um crédito parcial será ótima para o sistema ao se escolher valores adequados para o preço de atacado e para o crédito ao revendedor, relacionados entre si pela equação 3.21:

$$w = (p + s) - \frac{(p + s_2 - c)(p + s - \gamma)}{(p + s_2 - v)} \quad (3.21)$$

Onde: p é o preço de venda do revendedor; w representa o preço unitário cobrado pelo fornecedor; c corresponde o custo de produção do fornecedor; γ é o crédito unitário concedido ao revendedor; s representa o custo de vendas perdidas do revendedor; e s_2 corresponde ao custo de vendas perdidas para a cadeia como um todo. Pasternack (1985) observa que a determinação de uma política nestas condições não depende da distribuição da demanda em cada revendedor, de forma que ela permanece sendo adequada em um ambiente de múltiplos revendedores. Pode-se escolher uma série de pares para w e γ que sejam soluções ótimas para o problema, e cada par incorrerá em diferentes divisões do lucro entre o fornecedor e os revendedores.

Weng (1997) aborda a coordenação de uma cadeia de suprimentos formada por um fornecedor e um revendedor que operam em um ambiente de *SPP* onde a demanda aleatória é dependente do preço exercido pelo revendedor. Semelhantemente à hipótese assumida por Eeckhoudt *et al.* (1995), o autor considera que toda a demanda precisa ser atendida e que o fornecedor oferece ao revendedor a faculdade de fazer um segundo pedido, em caráter emergencial, quando a demanda ultrapassa o lote inicialmente adquirido. Neste modelo, as

variáveis de decisão são: o preço de revenda, o tamanho do pedido inicial feito pelo revendedor e a margem de lucro do fornecedor. O preço de atacado do fornecedor é calculado pela adição de sua margem de lucro ao custo unitário de produção.

Em um cenário de ausência de coordenação entre os estágios desta cadeia, considerando que o fornecedor pode não conhecer previamente o impacto de seu preço de atacado sobre o pedido do revendedor, ele (o fornecedor) determina sua margem unitária de lucro apenas com base em sua estimativa da quantidade a ser pedida. Sob um contexto de coordenação, Weng (1997) assume que o fornecedor possui informação completa da estrutura de custos e de preços do revendedor. Dessa forma, para as cadeias coordenada e não coordenada, o autor determina e contrasta as políticas ótimas de preço e pedido com base nas hipóteses citadas. Weng (1997) demonstra que o lote ótimo de compra e o lucro conjunto em uma cadeia coordenada é sempre maior que o respectivo lote em uma cadeia não coordenada, e que essa diferença aumenta com a sensibilidade da demanda ao preço. Duas causas apontadas para isso são a redução dos custos de sobre-estocagem e sub-estocagem por parte do revendedor, e a redução do preço de atacado do fornecedor. O autor propõe uma política de coordenação baseada em uma tarifa de duas partes (Goyal & Gupta, 1989) composta por um pagamento fixo do revendedor ao fornecedor, adicionada de um preço unitário de atacado reduzido ao custo unitário de produção do fornecedor. Nas circunstâncias apresentadas Weng (1997) demonstra que esse esquema de pagamentos laterais é suficiente para proporcionar a coordenação desta cadeia de suprimentos.

Weng & McClurg (2003) apresentam um modelo de cadeia fornecedor-revendedor em um ambiente de *SPP* onde, adicionada à aleatoriedade da demanda, há uma incerteza relacionada ao tempo de entrega do lote produzido pelo fornecedor. O revendedor solicita ao fornecedor um dado lote de compra que maximiza seu lucro esperado, e que precisa ser entregue em uma data específica que corresponde ao início da temporada de vendas. O fornecedor tenta atender à data alvo de entrega, mas devido a incertezas inerentes ao processo de produção, a data exata de entrega do pedido é incerta. Se a entrega for realizada antes da data marcada, os custos de manutenção de estoques ficam sob responsabilidade do fornecedor até a data contratada; se for entregue depois, não há retenção de demanda, e a consequência são vendas perdidas pelo revendedor. No caso de entregas em atraso, o revendedor é compensado pelo fornecedor através de um desconto sobre o preço de compra. Os preços originais de compra e venda do produto são variáveis estabelecidas pelas forças do mercado, e o tempo de entrega não depende do tamanho do pedido. Adicionalmente, os autores também

assumem uma distribuição de probabilidade da demanda condicional ao atraso no tempo de entrega. Neste framework, Weng & McClurg (2003) analisam os benefícios de coordenação dos agentes, que é modelada por meio do compartilhamento das informações de custo e demanda entre as partes e por meio da seleção conjunta do tamanho de produção/pedido. Os autores calculam os lucros esperados de fornecedor e comprador em um ambiente descentralizado baseado no lote ótimo do comprador, Q_R , e o lucro esperado da cadeia baseado no lote ótimo conjunto, Q_J . Concluem que o lucro do sistema aumenta com a coordenação entre os estágios da cadeia de suprimentos, mas não exploram como este aumento é compartilhado entre as partes. Weng & McClurg (2003) apontam que os benefícios decorrentes da coordenação são maiores quando o custo de compra do revendedor é relativamente alto, e quando a incerteza do lead time de entrega do fornecedor é relativamente baixa. A explicação encontrada para este último caso, aparentemente contra-intuitivo, é que maior incerteza no tempo de entrega aumenta as chances de atrasos, que geram custos de desconto para o fornecedor e redução de vendas para o revendedor, fomentando assim uma redução no tamanho do pedido que leva a lucros sistêmicos menores se comparado a cenários onde a incerteza é menor.

Em um modelo de referência, Weng (2004) analisa os impactos da coordenação em uma cadeia de suprimentos semelhante à considerada pelo autor em trabalho anterior (Weng, 1997), mas onde a demanda é uma variável aleatória independente e disposta a esperar em caso de um cenário de *stock-out*. O autor considera que os dois estágios da cadeia (fornecedor e revendedor) como agentes de decisão neutros ao risco, interessados na maximização de seus lucros individuais. O fornecedor não acumula estoques, e ativa sua produção a um custo de *setup* fixo quando o revendedor realiza seu pedido, entregando o lote produzido ao revendedor antes do início do período de vendas. Nestas circunstâncias, a única variável de decisão do problema é o lote de compra inicial do revendedor. Caso a demanda observada exceda o pedido inicial, o fornecedor faculta ao revendedor a realização de um segundo pedido, em caráter emergencial, com a condição de que este assuma os novos custos de *setup* de produção adicionalmente ao preço de compra. Entretanto, o revendedor pode escolher não atender qualquer demanda adicional caso o lucro resultante desta operação seja negativo. Para esta possibilidade, é estabelecido um limiar q para a demanda adicional acima do qual um segundo pedido de ressuprimento é realizado.

Para esta estruturação do problema, Weng (2004) analisa sob o ponto de vista do fornecedor como desenvolver um mecanismo de coordenação de cadeia a fim de influenciar o

revendedor a aumentar o tamanho de seu pedido inicial de forma a aumentar o lucro esperado do fornecedor. O autor assume que o fornecedor procura induzir o revendedor a utilizar um lote de compra que maximize o lucro esperado da cadeia, na esperança de que os lucros esperados individuais aumentem. Para isso, assumindo pleno conhecimento do fornecedor sobre a estrutura de custos do revendedor, o fornecedor deriva o lote ótimo de compra do revendedor em um cenário não-coordenado, Q_R , e o lote ótimo de produção/compra que maximiza o lucro sistêmico em um cenário coordenado, Q_J .

Como aponta Weng (2004), a relação $Q_J > Q_R$ é válida exceto quando, simultaneamente, o custo unitário de super-estocagem for muito superior ao custo unitário de sub-estocagem e a distribuição acumulada da demanda for uma função convexa. Assumindo como válida a condição $Q_J > Q_R$, o fornecedor observa que um lote de produção do tamanho Q_J lhe proporciona um lucro maior que Q_R , propondo assim ao revendedor um esquema de desconto sobre todas as unidades que o induza a pedir Q_J . Com base em incrementos mínimos exigidos por fornecedor e revendedor sobre os seus lucros esperados originais, calculam-se o desconto máximo admitido pelo fornecedor e o desconto mínimo admitido pelo revendedor para se optar por Q_J . Weng (2004) observa que uma condição necessária para a coordenação é que o primeiro seja maior que o segundo. Sendo esta condição válida, o fornecedor provoca a coordenação da cadeia estabelecendo um desconto unitário sobre o seu preço de atacado igual ao mínimo desconto admitido pelo revendedor. Com isso, Weng (2004) conclui que a coordenação entre os dois estágios da cadeia proporciona um aumento do lucro esperado do sistema, embora este aumento nem sempre seja substancial. Os benefícios da coordenação aumentam com os custos de pedido e transporte do revendedor e com os custos de *setup* de produção do fornecedor. Quanto maior a diferença entre Q_J e Q_R , maiores serão os benefícios da coordenação.

Lee & Chu (2005) desenvolvem um modelo de cadeia de suprimentos de dois estágios que operam em um ambiente de *SPP* para avaliar a lucratividade de um novo mecanismo de coordenação de cadeia onde a decisão sobre o nível de estoques e o encargo de manutenção dos estoques é transferida para o estágio a montante, ou seja, do revendedor para o fornecedor. Os autores assumem parâmetros fixos de preço e custo, perda total de demanda excedente em caso de *stock-out*, e demanda aleatória independente das influências dos decisores. Não há estoques iniciais, de forma que a decisão sobre o lote de produção/compra corresponde à escolha do nível de estoques na cadeia, fisicamente armazenados no revendedor. A cadeia de suprimentos pode ser operada de duas formas: em uma, denominada

de *cadeia tradicional*, a decisão do nível de estoques e a o encargo dos custos de manutenção de estoques ficam sob responsabilidade do revendedor. Na outra forma, denominada de *novo mecanismo*, estes aspectos ficam sob responsabilidade do fornecedor. Lee & Chu (2005) estabelecem analiticamente, para cada elo da cadeia, a diferença no lucro esperado máximo dos dois cenários, e concluem que nem sempre o novo mecanismo é vantajoso para o fornecedor ou para o revendedor. Ao contrário da cadeia tradicional, no novo modelo o payoff esperado do fornecedor envolve tanto os custos de super-estocagem como os custos de sub-estocagem, arcando com os riscos da demanda, enquanto o payoff esperado do revendedor envolve apenas os custos de oportunidade de vendas perdidas. Nesse sentido, o novo modelo proposto é interessante para o fornecedor apenas se o nível ótimo de estoques que este deseja for muito maior que o nível ótimo de estoques de interesse do revendedor, de forma que lhe gere um incremento de lucro suficiente para compensar os custos resultantes da transferência dos riscos da demanda. O novo mecanismo geralmente também é vantajoso para o revendedor, com exceção da situação em que o nível ótimo de estoques do fornecedor for muito menor do que o nível ótimo de estoques do interesse do revendedor, o que reduziria a disponibilidade de produto no mercado. Outra conclusão derivada deste modelo é que, sempre que o nível de estoques de interesse do fornecedor for maior que o nível de estoques de interesse do revendedor, eles podem encontrar uma regra de compartilhamento de risco que torne maior o lucro esperado de ambas as partes em relação ao modelo tradicional. Um exemplo citado pelos autores é a contratação de um lote mínimo de produto/serviço entre as partes.

Lodree Jr. (2007) propõe um modelo de CS de dois estágios que incorpora uma combinação de retenção parcial de demanda, vendas perdidas e perdas de contrato entre um fornecedor e um comprador que operam em um ambiente do tipo *SPP*. A demanda é assumida como uma variável aleatória e independente, e o problema de determinação do nível ótimo de produção/pedido é trabalhado sob o ponto de vista do fornecedor. Para um cenário de quebra de estoque, o autor considera que parte do excesso de demanda está disposta a aguardar por um reabastecimento emergencial que atenda a seus pedidos, e esta fração é uma função decrescente do tempo de ressuprimento, assumido como proporcional à magnitude da falta ($x-Q$). Por sua vez, o revendedor está disposto a esperar pelo ressuprimento emergencial do fornecedor se a magnitude da falta não ultrapassar certo limite de tolerância. Caso ultrapasse, o revendedor abandona o fornecedor e procura atender sua demanda retida por meio de concorrentes do fornecedor. Adicionalmente, os autores assumem que fornecedor e

revendedor estão comprometidos através de um acordo contratual onde o revendedor tem direito de penalizar o fornecedor - seja através de multas seja através do cancelamento de compras futuras - a depender da magnitude da falta. Lodree Jr. (2007) considera essa última característica do modelo como uma contribuição satisfatória para quantificação dos impactos intangíveis de perda de “boa vontade” do cliente. O autor apresenta então dois modelos para minimização do custo total esperado da CS: no primeiro, considera-se uma combinação de *backorders* e vendas perdidas; no segundo, incorpora-se ao primeiro modelo a possibilidade de ruptura de contrato por parte do revendedor caso a magnitude da falta seja suficientemente grande. Para ambos os casos, o lote ótimo de produção/compra é determinado algebricamente para o caso particular de uma demanda exponencialmente distribuída.

Zhou & Wang (2009) procuram estruturar o modelo de coordenação anteriormente proposto por Weng (2004) sob uma perspectiva conjunta de fornecedor e revendedor. Os autores estendem o pano de fundo da cadeia de suprimentos incorporando uma situação de *partial backlogging*. A fração da demanda não atendida disposta a esperar por um ressurgimento emergencial é considerada como constante e conhecida. Os autores criticam a condição imposta no modelo de Weng (2004) de que o revendedor assume sozinho o custo de *setup* de uma segunda rodada de produção do fornecedor, pois para o fornecedor aceitá-la, basta que o lucro líquido decorrente desta produção emergencial seja positivo. Além disso, assumindo simetria de conhecimento das estruturas de custos, o revendedor não aceitaria assumir totalmente os custos de *setup* de uma segunda batelada sabendo que esta é lucrativa para o fornecedor. Dessa forma, Zhou & Wang (2009) modelam estes custos de *setup* como compartilhados entre os dois estágios da cadeia, mas assumem isso arbitrariamente sem abordar como o percentual de cada parte é estabelecido. Adicionalmente os autores assumem, diferentemente de Weng (2004), que a decisão do revendedor em atender ou não uma demanda adicional é tomada considerando se a mesma é lucrativa para a cadeia como um todo, e não apenas para o revendedor individualmente.

Buscando a maximização do lucro esperado da cadeia de suprimentos, Zhou & Wang (2009) apresentam dois modelos de coordenação de cadeia, cada um para um cenário de compartilhamento dos custos de *setup* do fornecedor: Para o caso especial em que o revendedor assume sozinho todo o custo de *setup* da batelada extra de produção do fornecedor, é proposta uma política de tarifa dupla, onde o revendedor paga um preço por unidade do produto mais uma franquia fixa K ao fornecedor; para o caso em que este custo de *setup* é compartilhado com o fornecedor, os autores apresentam um contrato adaptado de

compartilhamento de receitas com a adição de um parâmetro T para repartir o lucro esperado da cadeia coordenada entre as duas partes. Zhou & Wang (2009) concluem que o lucro esperado ótimo da cadeia em Weng (2004) é sempre menor ou igual ao lucro da cadeia integrada proposta por eles, de forma que a adoção do compartilhamento dos custos de *setup* de um pedido emergencial melhora ainda mais o desempenho da CS.

Em uma modelagem semelhante à do problema do jornaleiro, Bichescu & Fry (2009) analisam cadeias de suprimento de dois estágios com políticas de revisão periódica de estoques, onde a quantidade pedida e a frequência de resuprimento são as variáveis de decisão de revendedor e fornecedor, respectivamente. Os autores analisam diferenças de desempenho entre três distribuições de direitos de tomada de decisão na cadeia: Um sistema centralizado, onde o objetivo é maximizar o lucro total esperado da cadeia; um sistema descentralizado onde revendedor e fornecedor, visando a maximização de seus lucros individuais, decidem simultaneamente e em condições de plena informação das estruturas de custo um do outro; e um sistema descentralizado de jogos onde o fornecedor age como líder Stackelberg decidindo primeiro, sendo seguido pelo revendedor.

Através de resultados experimentais, os autores apontam as vantagens do sistema centralizado. Se a melhoria do lucro é o principal objetivo, a diferença entre os lucros esperados dos sistemas centralizado e descentralizado é maior quando o coeficiente de variação da demanda é baixo, os custos de *stock-out* são baixos em relação a custos de terceirização, e quando os custos de manutenção de estoque e de transporte são altos. Entretanto, se melhorias no nível de serviço são mais importantes, a coordenação da cadeia será ainda mais vantajosa quando o coeficiente de variação da demanda, os custos de manutenção de estoque no revendedor, e os custos de transporte do produto forem altos, ou ainda quando as penalidades por quebra de estoque (custos de *stock-out*) forem equivalentes aos custos de terceirização. Adicionalmente, Bichescu & Fry (2009) concluem que, relativamente ao cenário descentralizado, a atuação do fornecedor como líder Stackelberg - o primeiro a decidir, neste caso em relação à frequência de resuprimento - podem resultar em lucros para o sistema maiores que o cenário de igualdade de poderes (decisão simultânea), e mais próximos aos obtidos por uma cadeia de suprimentos centralizada.

Ryu & Yücesan (2010) apontam para a dificuldade de aplicação de modelos de *SPP* diante da insuficiência, em muitas circunstâncias, de dados estatísticos que subsidiem a especificação de uma distribuição de probabilidade da demanda, bem como diante a assimetria de informações entre fornecedor e revendedor sobre as estruturas de custos um do

outro. Os autores propõem um tratamento *fuzzy* para o problema de coordenação de cadeias de suprimentos através dos mecanismos de descontos por quantidade, retorno de produtos ao fornecedor (*buybacks*) e compartilhamento de lucros, todos sob um objetivo de maximização do lucro esperado. Números *fuzzy* são utilizados para representar incertezas na demanda, no preço de atacado cobrado pelo fornecedor, e no preço de venda do mercado. Ryu & Yücesan (2010) procuram trabalhar o problema com um compartilhamento mínimo de informações entre os estágios da cadeia, alterando a seqüência de interações entre fornecedor e revendedor. Inicialmente, o fornecedor propõe um preço de atacado vago (*fuzzy*) para o revendedor, de forma que este possa calcular seu lote de compra pretendido considerando a incerteza de uma demanda *fuzzy* e dos preços de atacado oferecidos. O revendedor reporta ao fornecedor um lote de compra pretendido na forma de um número *fuzzy*. Baseado nesta informação, o fornecedor calcula sua estimativa de lucro e elabora uma oferta de contrato ao revendedor com base em um dos três mecanismos de coordenação citados. Uma vez recebida a proposta de contrato do fornecedor, o revendedor calcula seu lote ótimo de compra que maximiza seu lucro possível (*fuzzy*), e estabelece por fim um pedido de compra firme ao revendedor.

Baseando-se em cada uma das três políticas de coordenação (descontos por quantidade, *buybacks* e compartilhamento de lucros), os autores determinam o lucro “possível” de cada membro da cadeia de suprimentos, e comparam estes resultados com os obtidos em um contexto base de não-coordenação. Ryu & Yücesan (2010) concluem que, semelhantemente aos modelos tradicionais, um modelo *fuzzy* de coordenação de CS também demonstra os impactos positivos que os mecanismos de coordenação proporcionam sobre o alinhamento de uma cadeia de suprimentos

3.4 Modelos Multiobjetivo, Multiatributo ou Multidimensionais em CS

Além dos modelos de coordenação de cadeias de suprimentos, a maior parte dos trabalhos em gestão da CS enfoca os aspectos econômicos de maximização do lucro ou de minimização do custo decorrente do projeto ou da gestão integrada da cadeia de suprimentos. Entretanto, diversos autores começaram a incorporar à literatura modelos multi-objetivo ou multiatributo para tratamento de problemas como avaliação de desempenho e projeto de rede de cadeias de suprimentos. Nesta última, abordam-se questões como número de instalações, localização, capacidade, fluxos de produto e modais de transporte entre os elementos da CS.

Dentre as motivações para consideração de múltiplos objetivos, destaca-se a crescente preocupação ambiental e o crescente enrijecimento das legislações nesta área. Segundo Cruz

(2008), as crescentes preocupações ambientais que permeiam a sociedade e que se refletem em mudanças políticas e legais têm influenciado significativamente as cadeias de suprimentos. Novas exigências legais e mudanças nas percepções e preferências dos consumidores têm levado fornecedores, produtores e revendedores a serem responsáveis por seus produtos mesmo além dos seus pontos de venda e entrega. No Brasil, por exemplo, foi aprovada em julho de 2010 a PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos. A nova legislação altera a Lei 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais), trazendo diversas inovações que exigirão mudanças na conduta empresarial. Uma das inovações é o compartilhamento de responsabilidades pelo ciclo de vida dos produtos, que não se restringe aos fabricantes. Serão considerados responsáveis também os importadores, distribuidores, comerciantes e até os consumidores e titulares dos serviços de limpeza urbana ou manejo. A responsabilidade deverá ser implementada de forma individualizada e encadeada (BRASIL, 2011).

Adicionalmente, as pressões ambientais têm levado as cadeias de suprimento, (especialmente os seus elos produtores) a reduzir suas emissões, fabricar produtos mais ambientalmente amigáveis e/ou a estabelecer redes de coleta e reciclagem de produtos. Como destacam Fabian (2000) e Cruz (2008), um desempenho ambiental fraco, em qualquer estágio da cadeia de suprimentos, pode comprometer o ativo mais importante de uma companhia, sua reputação.

Estes fatores têm fomentado o desenvolvimento de modelos, algoritmos e softwares que considerem as questões ambientais nos processos de projeto, gestão e operação das cadeias de suprimentos, bem como os impactos ambientais de um número crescente de produtos ao longo de seus ciclos de vida (Ilgin & Gupta, 2010).

Kainuma & Tawara (2006) propõem uma métrica para avaliação de desempenho de cadeias de suprimentos com uso de Teoria da Utilidade Multiatributo, visando medir a performance da cadeia tanto sob um ponto de vista econômico, como sob um ponto de vista ambiental. Os autores propõem uma métrica que considere três atributos, a saber: o ROA (Retorno Sobre Ativos), medido pelo nível médio de estoques na cadeia; nível de serviço, medido pela proporção de *stock-outs*; e um atributo associado ao LCA (*Life Cycle Assessment*), descrito vagamente pelos autores como “uma medida de impactos ambientais e de contribuição ao aspecto social”. Assumindo independência em utilidade entre os atributos, Kainuma & Tawara (2006) propõem a agregação destes desempenhos numa medida global através de uma função utilidade aditiva ou multiplicativa. Derivando funções utilidade monoatributo e multiatributo para os aspectos em questão, os autores advogam que é possível

quantificar a utilidade de uma cadeia de suprimentos. Entretanto, não abordam como esta medida de desempenho em forma de utilidade multiatributo pode ser utilizada na tomada de decisão envolvendo problemas gerenciais ou operacionais da cadeia.

Cruz (2008) apresenta uma modelagem para cadeias de suprimentos incorporando o aspecto de responsabilidade social corporativa ao processo de decisão. A cadeia logística é formada por três níveis de decisores consistindo de múltiplos produtores, revendedores e consumidores finais, onde todos podem realizar suas transações através de meios físicos ou eletrônicos (*e-commerce*). Os agentes em cada estágio operam em um ambiente competitivo. O autor não considera incertezas no modelo, e junto com o fluxo de produtos a ser transacionado entre cada estágio, outra variável de decisão é o nível de responsabilidade social corporativa de produtores e revendedores. Esta variável, cuja mensuração não é explicitada no modelo, tem um significado amplo e relaciona-se ao nível de investimentos em novas tecnologias, treinamento de empregados e compartilhamento de informações, dentre outras coisas, a fim de promover a garantia da qualidade, preservação ambiental e o cumprimento das normas legais relativas ao negócio. Os objetivos a serem atingidos em cada estágio da cadeia incluem a maximização do lucro, a minimização da emissão de resíduos, e a minimização do risco, estabelecidos deterministicamente como funções não especificadas do volume de produtos transacionados e dos níveis de responsabilidade social corporativa adotados pelos produtores e revendedores. Para cada estágio da cadeia, os objetivos são agregados através de uma função aditiva caracterizada por uma soma ponderada por “pesos” que devem transformar os valores de cada critério em uma escala monetária. Feita esta agregação, Cruz (2008) deriva através de um modelo de programação não-linear restrita as condições de equilíbrio nas quais as transações de produto e o nível de responsabilidade social corporativa são iguais entre agentes concorrentes de cada estágio da CS.

Analisando o projeto de cadeias de suprimento ambientalmente sustentáveis, Chaabane *et al.* (2010) destacam que variados tipos de medidas de desempenho são utilizados para avaliar esta sustentabilidade. Geralmente, o objetivo é combinar desempenhos econômicos e desempenhos ambientais de forma a encontrar um *trade-off* satisfatório entre essas duas medidas de performance (Nagurney & Toyasaki, 2003; Pistikopoulos & Hugo, 2005; Cruz, 2008; Wang *et al.*, 2011). Acerca dos desempenhos ambientais, várias métricas de desempenho foram utilizadas para representar quantitativamente os impactos ambientais de produtos, processos e atividades, tais como nível de emissão de gases de efeito estufa (CO₂, NO_x, CFC etc.), geração de resíduos (sólidos ou líquidos), uso de energia, reciclagem de

materiais, descarte de produtos etc. Quanto aos desempenhos econômicos, estes são geralmente representados pelo valor presente líquido do lucro ou do custo para modelos multi-períodos (Chaabane *et al.*, 2010).

No contexto da indústria do alumínio, os autores apresentam um modelo de programação linear mista para cadeias de suprimento sustentáveis. Consideram os princípios da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), adicionalmente às restrições tradicionais, para identificação e quantificação dos materiais e da energia utilizados bem como dos resíduos lançados sobre o ambiente, avaliando oportunidades de melhorias ambientais. Chaabane *et al.* (2010) consideram dois objetivos simultâneos: minimização dos custos totais e minimização da emissão de gases de efeito estufa. Os autores incorporam ao modelo o uso de créditos de carbono, e modelam o problema bi-objetivo sujeitando-o a um conjunto de restrições como limites de capacidade, fluxos de materiais e emissões de carbono. Chaabane *et al.* (2010) não prescrevem como explorar o *trade-off* entre os dois objetivos propostos de forma a encontrar uma solução de compromisso, dando enfoque ao seu modelo como um instrumento de análise e apoio a agentes de decisão no projeto de cadeias de suprimento sustentáveis.

Em estudo do projeto de rede de cadeia de suprimentos, que aborda as questões como localização, capacidade, fluxos de produto e modais de transporte entre os elementos de uma CS, Wang *et al.* (2011) apontam que este tipo problema tem sido geralmente tratado por meio de modelos mono-objetivo. Entretanto, os autores destacam que a natureza do problema esteja intrinsecamente ligada a *trade-offs* entre objetivos conflitantes, destacadamente aspectos ambientais. Wang *et al.* (2011) propõem um modelo de programação linear multi-objetivo mista para projeto da rede de uma cadeia de suprimentos com o objetivo de minimizar os custos totais e os impactos ambientais, estes últimos modelados como o nível de emissões de CO₂. O modelo busca determinar o nível de investimento inicial em proteção ambiental, a ser avaliado na fase de projeto da cadeia, a fim de especificar o número de instalações abertas, a capacidade produtiva de cada uma das instalações, e o nível de proteção ambiental de cada instalação j . Para isto, os autores associaram a cada nível de proteção ambiental z_j um nível de investimento ambiental $g_j(z_j)$ caracterizado como uma função monotonicamente crescente de z_j . Duas funções objetivo são consideradas: minimização do custo total e minimização do total de emissões de CO₂ na cadeia de suprimentos. Essas funções são minimizadas sujeito a um conjunto de restrições que atuam como condições de contorno do sistema, dentre elas, a restrição de que toda a demanda deve ser satisfeita e que não há armazenagem de estoques em

cada instalação. Como resultado da resolução deste problema multi-objetivo, um conjunto de soluções não dominadas é gerado no espaço bi-dimensional. Os autores propõem então um algoritmo para seleção de um *trade-off* a fim de se selecionar na fronteira de Pareto uma solução específica para o problema. Wang *et al.* (2011) observam que o aumento da capacidade da rede pode diminuir o nível de emissões de CO₂ e o custo total da cadeia de suprimentos. Entretanto, o modelo de Wang *et al.* (2011) é limitado por não considerar, no contexto de projetos de CS, incertezas em fatores como produção, emissões e sobretudo demanda. O modelo também não incorpora a atitude do decisor em relação ao risco.

3.5 Síntese do estado da arte

Em face da revisão bibliográfica apresentada, percebe-se que maior parte dos trabalhos em coordenação de cadeias de suprimentos salienta os benefícios estratégicos da integração de decisões entre os elos de uma cadeia, e propõem variadas formulações de mecanismos para convergência de interesses entre estágios da CS enfocando preponderantemente a gestão de pedidos/estoques. Modelos determinísticos coexistem com modelos probabilísticos, e diferentes taxonomias foram propostas para classificar os trabalhos nesta área.

Os trabalhos em coordenação de cadeias de suprimentos têm abordado predominantemente modelos de barganha/negociação ou modelos de programação matemática para o estabelecimento de parâmetros (como preços, descontos, percentual de compartilhamento de lucros etc) a fim de que um estágio da cadeia induza o outro a produzir ou pedir uma quantidade Q que maximize o desempenho do primeiro. O processo de tomada de decisão é geralmente modelado sob um único objetivo, maximizar o lucro esperado conjunto da cadeia, ou maximizar o lucro de uma das partes - sobretudo sobre o ponto de vista do fornecedor – captando parte dos benefícios decorrentes da sinergia da coordenação das cadeias de suprimentos. Para isso exploram-se mecanismos de integração caracterizados preponderantemente por contratos de pagamentos laterais como *Buybacks*, Compartilhamento de Receitas, Descontos por Quantidade, Quantidades Flexíveis etc.

Como bloco básico destas modelagens teóricas, os modelos de *SPP* e de coordenação de cadeias operando em *SPP* seguem basicamente os mesmos padrões anteriormente descritos. A maioria das publicações trabalha com uma função objetivo caracterizada por um resultado financeiro esperado (custo ou lucro) ou pela utilidade esperada deste resultado (Eeckhoudt *et al.*, 1995; Keren & Pliskin, 2006). Embora outros modelos explorem a probabilidade de execução de um lucro-alvo (Lau, 1980; Lau & Lau, 1988; Khouja 1995; Khouja, 1996),

métricas de CAPM (Anvari, 1987), VPL (Bouakiz & Sobel, 1992) e medidas de retorno-risco (Choi & Chiu, 2010), todos estes giram direta ou indiretamente em torno de um único atributo: os resultados financeiros do empreendimento.

Entretanto, tratar o problema de decisão em estoques considerando apenas métricas financeiras apresenta relevantes limitações. Como salienta Agrell (1995), uma transformação monetária consistente para tratamento mono-objetivo do problema necessita de sólido conhecimento, por exemplo, dos impactos de vendas perdidas decorrentes de um *stock-out*. Pasternack (1985) afirma que os custos de boa vontade da demanda não satisfeita podem estar associados à conclusão pelos consumidores de que uma dada organização não é mais uma fornecedora confiável, ou de que um produto concorrente é adequado da mesma forma para suas necessidades. Em mercados de grande competição, ou em contextos onde o produto está altamente associado à imagem da empresa, os impactos de *stock-out* não se restringem a parâmetros de custo que podem ser quantificados monetariamente.

Segundo Lenard & Roy (1995), há um grande descolamento entre teoria e prática no campo da gestão de estoques. Nas abordagens tradicionais, o ponto de custo mínimo encontrado é a solução ótima para o problema de gestão de pedidos/estoques, o melhor compromisso entre os custos de pedido/*setup*, custos de manutenção de estoques, e custos de vendas perdidas. Entretanto, semelhante a Agrell (1995), Moon & Choi (1994) e Lenard & Roy (1995) apontam que na prática, tem sido difícil ou impraticável para gestores de estoque definir com segurança alguns custos, sobretudo custos de falta de produto. Além disso, há diversas informações detidas pelos decisores que não são integradas nestes modelos, tais como possíveis mudanças nos padrões de demanda, informações acerca de hábitos dos clientes ou fornecedores, importância estratégica de determinado produto no portfolio da empresa etc. Nesse sentido, as soluções ótimas encontradas pelos modelos de custos tradicionais são apenas ótimos teóricos, chegando a ser, como apontam os autores, caixas pretas em que se confia cegamente ou se rejeita (Lenard & Roy, 1995).

Nesse contexto, surgiram propostas que procuram abordar o nível de serviço sem tratamentos monetários, contornando o problema de quantificação do custo de vendas perdidas através de modelos que incorporavam à função objetivo restrições de nível de serviço. Um exemplo é o trabalho de Moon & Choi (1994), que exploraram uma abordagem sem distribuição de demanda definida (*distribution-free approach*) para um sistema de revisão contínua de estoques incorporando uma restrição de nível de serviço. Jha & Shanker (2009), por sua vez, propõem um modelo integrado de CS de dois estágios buscando a minimização

dos custos totais esperados (sem custos de vendas perdidas) sujeita também a uma restrição no nível de serviço. Na mesma linha de restrições de nível de serviço estão os trabalhos de Chen & Krass (2001) e Tempelmeier (2006), dentre outros.

Outros tratamentos alternativos do problema de lote de produção/lote de compra sem a consideração explícita dos custos de *stock-out* foram apresentados por Agrell (1995) e Lenard & Roy (1995). Agrell (1995) propôs uma abordagem multiobjetivo para o clássico problema estocástico de controle de estoques quanto à determinação do tamanho do lote (Q) e do nível de estoque de segurança (k). O autor apresenta um modelo formulado com três objetivos: minimização do custo anual total, minimização do número esperado de *stock-outs*, e minimização do número esperado de peças faltantes. A partir de uma solução inicial, o decisor avalia *trade-offs* através de um algoritmo iterativo, analisando soluções não dominadas até encontrar uma solução de compromisso $x = [Q, k]$.

Lenard & Roy (1995) apresentam uma abordagem multicritério para o estabelecimento de políticas de resuprimento baseadas na noção de superfícies de políticas eficientes, onde os decisores exploram construtivamente *trade-offs* entre: opções de período de ressuprimento e nível de ressuprimento (no caso de políticas de revisão periódica); ou de ponto de pedido e quantidade solicitada (no caso de políticas de ponto de pedido ou de LEC). Fazem isso através de uma análise gráfica dos desempenhos das alternativas, plotados em um espaço formado pelos critérios nível médio de estoques, número de faltas por ano e período de ressuprimento.

Entretanto, propondo abordagens interativas e construtivas para o problema, os trabalhos de Agrell (1995) e Lenard & Roy (1995) não prescrevem uma solução que norteie os agentes de decisão a fazerem juízos de valor consistentes com uma estrutura racional de preferências. Também não abordam o problema num contexto de cadeia de suprimentos, deixando de explorar possíveis conflitos que podem ocorrer entre decisores de diferentes elos da CS. Os autores não consideram também os possíveis impactos ambientais decorrentes da operação do negócio, que crescentemente precisam ser incorporados aos julgamentos de valor na tomada de decisão em estoques, sobretudo para produtos com curto ciclo de vida que geralmente precisam ser descartados ou reprocessados caso não sejam vendidos.

A consideração destes impactos ambientais tem ganhado relevância, dentre outros motivos, diante do pujante desenvolvimento da indústria eletrônica. Li *et al.* (2009) afirmam que o uso crescente e o constante *upgrade* de produtos eletrônicos têm resultado em um tipo de acumulação de resíduos sólidos com um dos mais rápidos crescimentos já vistos: o *e-lixo*. Este tipo de lixo inclui uma ampla gama de produtos obsoletos tais como televisores,

computadores pessoais (PC's), aparelhos de celular e monitores. Segundo dados informados por Li *et al.* (2009), apenas 10% do lixo eletrônico nos Estados Unidos é reciclado, enquanto a ampla maioria deste lixo é disposta em aterros ou exportada para outros países. Considerando o total de resíduos aterrados, estima-se que o lixo eletrônico contribua com cerca de 70% do total de metais pesados e 40% do total de chumbo presente nos resíduos enviados para aterros sanitários (Grossman, 2006 *apud* Li *et al.*, 2009), o que em caso de incidentes pode trazer sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente.

Desta forma, além do nível de serviço, as empresas também estão se preocupando de forma crescente com a minimização de impactos ambientais decorrentes da emissão de gases, substâncias efluentes, e disposição de resíduos sólidos ou líquidos, dentre outros (Clift & Wright, 2000; Rao & Holt, 2005). Estas preocupações podem assumir a forma de objetivos não-monetários a serem considerados nas decisões sobre produção/aquisição de produtos. Como aponta Cruz (2009), uma atitude de comprometimento ambiental por parte de uma organização pode beneficiar a imagem corporativa e minimizar as chances de estresse com autoridades reguladoras, comunidades locais e grupos ambientais. Muito além disso, a minimização da geração de resíduos e emissões mitiga as chances de uma empresa ser considerada como negligente pela opinião pública em situações em que ocorram acidentes reais com contaminação do solo, poluição da lençóis de água ou outras formas de danos ambientais.

Estas preocupações ambientais já têm sido retratadas em modelos destinados à avaliação de desempenho e ao projeto de rede de cadeias logísticas, que abordam sob um ponto de vista estratégico questões como localização de instalações, capacidade, fluxos de produto e seleção de modais de transporte, dentre outros aspectos. Entretanto, estes modelos são predominantemente determinísticos, não retratando incertezas, não explorando os julgamentos de preferências dos decisores sobre os múltiplos objetivos, nem a atitude destes agentes em relação ao risco. Nota-se que estes modelos não abordam os processos de decisão de quanto pedir/produzir realizados em nível tático, mas são estabelecidos sob um ponto de vista estratégico considerando que toda a cadeia é projetada de forma centralizada. Dessa maneira, estes modelos também não conseguem captar possíveis divergências de interesses entre os diferentes estágios de uma cadeia de suprimentos quando da decisão sobre o nível de estoques na cadeia.

Embora os modelos de *newsvendor* formem uma base teórica para muitos modelos de coordenação de CS, estes ainda não têm realizado uma consideração simultânea dos fatores

contemporaneamente relevantes que foram citados, e não têm explorado os *trade-offs* que podem ser exercidos pelos decisores quando da escolha de uma solução de compromisso para a questão de quanto pedir/produzir em um problema de único período. Em suma, os modelos até então desenvolvidos para cadeias de suprimento fornecedor-revendedor em *SPP* não exploram diretamente as preferências dos agentes de decisão em relação à satisfação do mercado (nível de serviço), impactos na imagem da organização decorrentes de vendas perdidas, e perdas de *market-share*. Também não incorporam, concomitantemente, as preocupações com os possíveis impactos ambientais envolvidos na produção, armazenagem e descarte dos produtos. Com isso, não são avaliados os *trade-offs* entre estes fatores e os custos, uma vez que os impactos de pedidos, produtos armazenados e vendas perdidas são sempre monetarizados, mesmo que depois sejam convertidos em utilidade monoatributo. Além disso, até então se pressupõe que a decisão sobre Q , quanto pedir/produzir, é tomada por um único agente de decisão, seja um decisor de uma cadeia centralizado, seja um decisor de um elo independente que considera apenas os benefícios econômicos proporcionados pela política de incentivo do outro estágio.

Diante das limitações observadas nos trabalhos levantados, os seguintes questionamentos podem ser feitos: Como modelar os esforços de coordenação de estoques quando os elos da cadeia são formados por agentes que tomam decisões com múltiplos critérios, não considerando apenas a maximização do lucro? Como incorporar preocupações de nível de serviço e de impactos ambientais ao processo decisório, de forma a explorar explicitamente e trabalhar individualmente as compensações subjetivas dos decisores entre lucro e fatores não monetários na decisão sobre o tamanho do lote de produção/pedido? Como coordenar as escolhas de tamanho de pedido realizadas por diferentes decisores, quer num cenário centralizado, formado por diferentes empresas dentro de uma mesma corporação, quer entre empresas independentes mas dispostas a cooperar? Esta tese propõe um tratamento para estas questões através de uma modelagem fundamentada na Teoria da Utilidade Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976, Almeida, 2011). Nos capítulos seguintes serão apresentadas descrições detalhadas de modelos para tratamento destes problemas, bem como experimentos computacionais para demonstrar a aplicação dos mesmos.

4 MODELO MULTIATRIBUTO DE SPP PARA UMA EMPRESA ATUANDO INDIVIDUALMENTE

Inicialmente, será apresentado um modelo multiatributo de *SPP* considerando uma estrutura mais básica onde uma empresa independente que opera como um *newsvendor* atua individualmente. A empresa está inserida em um mercado competitivo de demanda aleatória com *partial backlogging*, e define seu lote de compra através de uma solução de compromisso entre conseqüências de lucro, nível de serviço, e impactos ambientais decorrentes de seu tamanho de pedido *versus* realização da demanda.

Assume-se, nesta tese, que o decisor *newsvendor* sente-se confiante em fornecer julgamentos de preferência e em utilizar a estrutura conceitual da MAUT (Keeney & Raiffa, 1976) e de Análise da Decisão (Raiffa, 1970; Berger, 1985). É fato que pode haver decisores cuja racionalidade, embora compensatória, não atenda aos pressupostos de MAUT, apresentando imprecisão nos julgamentos de valor para estabelecimento dos coeficientes de um modelo de decisão compensatório. Para estes, uma abordagem como a de Agragação Aditiva por Parâmetros Interdependentes Variáveis pode ser utilizada (Dias & Clímaco, 2000; Brito et al, 2010). Há também situações em que os decisores não se sentem confortáveis em fornecer informações de preferência para critérios individuais, embora se sintam capazes de expressar julgamentos globais sobre as alternativas pela consideração mental simultânea de múltiplos atributos. Para este caso, um grupo de métodos de AMD denominados de “métodos de desagregação” pode ser utilizado (Jacquet-Lagrèze & Siskos, 2001; Doumpos & Zopounidis, 2011). Estes métodos utilizam técnicas de regressão para a construção de funções que representem as preferências do decisor, com base em alternativas de referências avaliadas globalmente. Exemplos são os métodos compensatórios UTA (Jacquet-Lagrèze & Siskos, 1982), UTADIS (Zopounidis & Doumpos, 2001), e também aplicações do método de sobreclassificação ELECTRE TRI para a problemática de classificação (Mousseau & Slowinski, 1998; Mousseau *et al.*, 2001).

Entretanto, para o caso onde o decisor não sente segurança em expressar julgamentos multidimensionais, mas se sente apto a fornecer informações de preferência em cada critério do processo decisório, uma abordagem “progressiva” pode ser adequada. Tal como Doumpos & Zopounidis (2011) destacam, esta abordagem é baseada na participação ativa do decisor, e também na habilidade do analista de decisão em conduzir um processo interativo de forma a elicitare informações de preferência do decisor como pesos, *trade-offs* etc. Neste contexto, o

uso de Teoria da Utilidade Multiatributo torna-se muito útil para representar as preferências unidimensionais e agregá-las coerentemente em uma função utilidade multiatributo.

Algumas outras hipóteses, assumidas neste trabalho, serão apresentadas oportunamente ao longo da apresentação deste modelo. Embora a adoção de hipóteses simplifique a grande complexidade dos fenômenos do mundo real, limitando diversas vezes a aplicação dos modelos a circunstâncias específicas, elas fornecem condições de tratabilidade adequadas para realização de análises e obtenção de *insights* que podem ser extrapolados para o ambiente real de negócios, permitindo assim que medidas satisfatórias sejam tomadas.

4.1 Descrição do Modelo

Como na formulação clássica do problema do jornaleiro (Hillier & Lieberman, 2005), seja uma empresa do tipo *newsvendor* (representada por seu gerente ou outro responsável pela tomada de decisão) que negocia um produto com um curto ciclo de vida durante uma temporada de vendas. Antes de se iniciar este período de vendas, o decisor se depara com a escolha de comprar um lote de Q unidades de produto a partir de seu fornecedor a um custo unitário de aquisição w . Todo o lote encomendado é recebido ao mesmo tempo, imediatamente antes do início da temporada de vendas (Weng & McClurg, 2003; San José *et al.*, 2006; Keren & Pliskin, 2006).

A demanda é estocástica, e a escolha de Q precisa ser feita antes da realização x da demanda, que só é totalmente conhecida ao final do período. A incerteza desta variável é modelada através de uma variável aleatória X com função densidade de probabilidade $f(x)$, assumida como conhecida (Pasternack, 1985; Khouja, 1995; Eeckhoudt *et al.*, 1995; Khouja, 1996; Hill, 1997; Khouja, 1999; Gurnani *et al.*, 2000; Lariviere & Porteus, 2001; Weng & McClurg, 2003; Hillier & Lieberman, 2005; Keren & Pliskin, 2006; Arcelus *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2007; Lodree Jr, 2007; Lee & Lodree Jr, 2010; Quin *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2010).

Para atender à demanda, os produtos são vendidos ao consumidor final a um preço de varejo $p > w$, admitido como constante. No cenário gerencial em consideração, a empresa opera em um ambiente competitivo onde o preço de venda p e o custo unitário de aquisição w do produto são estabelecidos pelas pressões competitivas de mercado e independentes da quantidade adquirida pelo *newsvendor* (Weng & McClurg, 2003). Caso itens permaneçam “na prateleira” ao final da temporada de vendas, estes incorrem em um custo unitário de recolhimento e disposição h , que aqui representa os custos de excesso de estoques (Keren & Pliskin, 2006).

O decisor precisa encontrar uma solução de compromisso entre os riscos de uma sub-estocagem e os riscos de uma super-estocagem (Ryu & Yücesan, 2010). Os riscos de uma sub-estocagem se caracterizam pelas possíveis conseqüências decorrentes de pedir ou produzir um número de unidades menor do que o necessário para atender a demanda, provocando quebra de estoque e vendas perdidas. Os riscos de uma super-estocagem estão associados a pedir ou produzir um número excessivo de itens, levando ao descarte de todo o estoque residual ao final do período (Hillier & Lieberman, 2005).

Como informado no começo da seção 3.1, tal solução de compromisso é encontrada levando-se em consideração conseqüências de lucro, nível de serviço e impactos ambientais. Com o propósito de detalhar o conceito e a formulação destes atributos, algumas considerações prévias sobre ressurgimento emergencial e sobre o comportamento da demanda são feitas a seguir.

4.1.1 As opções de ressurgimento emergencial

Se um cenário de quebra de estoques ocorre, considera-se o caso onde o *newsvendor* pode iniciar imediatamente um processo de ressurgimento emergencial a fim de evitar conseqüências piores sobre o lucro, sobre o relacionamento com os clientes, e sobre o *market-share* da companhia. Nesse sentido, antes da temporada de vendas, o *newsvendor* deseja contratar um tamanho de lote Q e um plano de contingência $s_i \in S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, sendo S um conjunto finito de n esquemas de ressurgimento emergencial.

Os esquemas de ressurgimento emergencial são planos de contingência caracterizados por um conjunto de medidas que permitem obter *lead times* menores que o do pedido regular do *newsvendor*. Conforme Lodree Jr. (2007) esclarece, um *lead time* menor é obtido a custos maiores de pedido decorrentes de compras *spot*, trabalho em horas extras, rodadas adicionais de produção, serviços de entrega mais rápidos etc. Embora esses custos para atendimento da demanda retida sejam às vezes altos, o dispêndio financeiro pode ser menos crítico que as possíveis conseqüências de vendas perdidas sobre a lealdade dos clientes, sobre o *market-share* da companhia no mercado, e sobre sua competitividade futura.

A cada esquema s_i está associado um coeficiente de tempo $k_i \in K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, com um custo unitário $b_i \in B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ associado. Este custo pode ser interpretado como um preço unitário de compra que a companhia está disposta a pagar quando acionado o plano de contingência s_i , implementado para reduzir o tempo de suprimento por meio do coeficiente k_i , onde $0 < k_i < 1$. Nesse sentido, quanto mais curto o tempo de ressurgimento emergencial

desejado, maior o custo unitário de *backorder* b_i que o *newsvendor* deve estar disposto a pagar pelo lote adicional.

Embora o custo de *backorder* b_i seja incorrido apenas em caso de quebra de estoque, sugerindo à primeira vista uma análise *a posteriori* das opções de ressurgimento emergencial, este custo influenciará a avaliação econômica de Q (como demonstrado adiante), afetando assim a decisão sobre o tamanho do pedido inicial. Dessa forma, as alternativas para o *newsvendor* correspondem a vetores bidimensionais $[s_i; Q]$, onde s_i é uma variável discreta e Q é contínua ou discreta. Mesmo para produtos discretos, os modelos de *newsvendor* geralmente assumem lotes de compra contínuos, que são considerados como boas aproximações para a resolução de problemas estocásticos de único período (Khouja, 1999; Keren & Pliskin, 2006).

4.1.2 O fenômeno de retenção da demanda

Conforme esclarecem San José *et al.* (2006), a modelagem de vendas perdidas reflete situações reais onde os clientes não estão dispostos a esperar pela chegada de um lote de ressurgimento. Considerando-se um *continuum* que represente a paciência dos consumidores ou seu grau de necessidade do produto, tem-se, em um extremo, o caso em que todos os pedidos não prontamente atendidos geram vendas perdidas. No outro extremo, todos os clientes esperam pelo ressurgimento, caso que pode ser denominado de “retenção completa de vendas pendentes” (*complete backlogging* ou *complete backorder case*).

O modelo desta tese se posiciona no meio deste espectro, considerando um *newsvendor* que se depara com uma condição de *partial backlogging*, onde apenas parte da demanda irá esperar por um ressurgimento emergencial durante o período de *stock-out*. Esta premissa também é assumida por diversos trabalhos como Abad (2001), San José *et al.* (2006), Lodree (2007), e Lee & Lodree (2010). Seguindo a notação estabelecida em modelos de demanda determinística (Montgomery *et al.*, 1973; San José *et al.*, 2006; Pentico *et al.*, 2009), a proporção da demanda retida é representada por β . Esta fração pode também ser interpretada como a probabilidade de que um dado consumidor ficará em espera, ou mesmo como a fração dos pedidos de um consumidor que ficarão em carteira durante o período de *stock-out* (Lodree, 2007; Lee & Lodree, 2010).

Em diversos trabalhos (vide, por exemplo, Montgomery *et al.*, 1973; Khouja, 1996; Vijayan & Kumaran, 2008; Hu *et al.*, 2009; Leung, 2009; Chang & Lo, 2009), assume-se que a fração β é um parâmetro fixo e conhecido. Entretanto, uma abordagem alternativa trata β

como uma função do tempo de ressurgimento τ durante o intervalo de *stock-out* (Abad, 2001; San José *et al.*, 2006). Neste trabalho, β é assumida como uma função estritamente decrescente do tempo de espera τ . Adicionalmente, por razões de simplificação, este modelo considera a hipótese assumida em trabalhos anteriores de que não há incerteza sobre o tempo de ressurgimento emergencial τ (Abad, 2001; San José *et al.*, 2006; Lodree, 2007; Vijayan & Kumaran, 2008; Hu *et al.*, 2009; Lee & Lodree 2010).

Com o propósito de modelar um comportamento de impaciência dos clientes em relação ao tempo de espera, assume-se que a função de retenção da demanda pode ser representada de acordo com a seguinte função exponencial negativa:

$$\beta(\tau) = e^{-\alpha\tau} \quad (4.1)$$

Esta é uma forma previamente adotada na literatura, considerada em modelos como Abad (2001) e San José *et al.* (2006). Acerca do parâmetro α em 4.1, para produtos do tipo *newsvendor* com temporadas anteriores de venda, dados históricos de vendas podem ser estatisticamente analisados de forma a proporcionar uma estimativa para α . Para produtos inéditos no mercado, tais como itens de hardware e equipamentos de TI, por exemplo, uma base de dados própria frequentemente não está disponível. Entretanto, nestes casos, a venda de produtos da mesma família ou de itens relacionados pode prover dados que sirvam de base para uma estimativa de α , ou para apoiar uma análise baseada no conhecimento de especialistas do negócio (Keeney & Raiffa, 1976; Berger, 1985; Campello de Souza, 2002).

Em diversas situações, o tempo de ressurgimento emergencial τ pode ser considerado como uma função do volume de pedidos em backlogging (e portanto, uma função de β). Todavia, uma vez que β já é influenciado por τ , isto incorreria em uma dependência recíproca entre β e τ , levando a cálculos recursivos e não amigáveis. Nesse sentido, por razões de simplificação, este trabalho considera a hipótese assumida em estudos prévios tais como Lodree *et al.* (2008) e Lee & Lodree (2010): de forma a obter uma interpretação generalizada de β como uma função da magnitude do *stock-out*, o tempo de *backlogging* τ para ressurgimento emergencial é considerado como proporcional a $(x-Q)$, o número de unidades faltantes (Lodree, 2007). Dessa forma, ocorrida a quebra de estoques ($x > Q$), o tempo de espera pelo ressurgimento emergencial, sob um esquema de contingência s_i , pode ser descrito pela equação 4.2:

$$\tau_i = k_i \kappa (x - Q) \quad (4.2)$$

Onde κ corresponde a um *lead-time* unitário de ressurgimento sob condições normais de operação e k_i é a constante relacionada às ações aceleradoras do esquema de ressurgimento emergencial s_i .

Como se pode observar na equação 4.2, o *lead-time* de ressurgimento emergencial é assumido como linear em relação a $(x-Q)$. Em outras palavras, o tempo de *backorder* por unidade é constante (Lodree Jr., 2007). Entretanto, diferentes formas para o *lead-time* podem ser úteis para outros contextos, uma vez que o *lead-time* pode às vezes ser independente do tamanho do pedido. Para estes outros casos, por exemplo, uma função côncava pode ser considerada, e outro modelo pode ser construído para uma situação diferente da abordada neste trabalho.

Com base nas expressões 4.1 e 4.2, a proporção da demanda não atendida que ficará em *backlogging* pode ser calculada, portanto, da seguinte maneira (Lodree Jr., 2007):

$$\beta = e^{-\alpha \cdot k_i \kappa (x-Q)} \quad (4.3)$$

4.1.3 Atributos de avaliação e decisão

Como afirmado anteriormente, neste modelo multiatributo de SPP o decisor precisa selecionar uma alternativa $[s_i; Q]$ que lhe proporcione o melhor compromisso entre as potenciais conseqüências de uma super-estocagem e as potenciais conseqüências de uma sub-estocagem. Com base na revisão da literatura acerca dos atributos já utilizados e daqueles que precisam ser abordados no processo decisório, estas conseqüências são aqui modeladas de acordo com três atributos ou dimensões a serem consideradas: *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*, detalhados a seguir.

4.1.3.1 Lucro

Para um dado esquema de contingência s_i contratado, o lucro após o período de vendas pode ser sumarizado através da equação 4.4:

$$\pi(s_i; Q) = \begin{cases} (p-w)Q + (p-b_i)\beta(x-Q) - l(1-\beta)(x-Q) & \text{se } x > Q \\ px - wQ - h(Q-x) & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (4.4)$$

onde l corresponde a um custo de oportunidade do lucro perdido, representando o rendimento que o lucro unitário perdido poderia gerar caso fosse investido na melhor aplicação alternativa daquele recurso.

É válido salientar que o custo l , neste modelo, não corresponde ao custo de vendas perdidas dos modelos tradicionais. O custo de vendas perdidas representa a tradução, em termos econômicos, dos impactos decorrentes do não atendimento da demanda, incluindo desgaste de imagem, perda da boa vontade dos clientes e impactos da perda de *market-share* sobre a competitividade da empresa. Em face das dificuldades, observadas na literatura (vide Capítulo 3), em se tratar estas conseqüências complexas em termos de um parâmetro de custo, as mesmas serão avaliadas no atributo *Nível de Serviço*, apresentado adiante. O custo de oportunidade l dependerá apenas do rendimento da melhor aplicação financeira disponível ao newsvendor, assim como da margem de lucro unitária do produto.

A maximização do lucro esperado ou a minimização do custo total esperado é geralmente o único objetivo considerado na maioria dos modelos clássicos de SPP, bem como em diversas pesquisas mais recentes neste tema. Como exposto no Capítulo 3, há também diversos artigos cujo objetivo modelado é a maximização da utilidade esperada (vide Eeckhoudt *et al.*, 1995; Khouja, 1999; Keren and Pliskin, 2006; Wang *et al.*, 2009 por exemplo). Entretanto, estes modelos apenas consideraram um dado atributo econômico, tal como lucro, custo, ou a riqueza final do decisor.

Como ilustração, se o *newsvendor* estivesse interessado apenas na maximização da utilidade esperada do lucro, um problema de decisão monoatributo poderia ser representado pelo seguinte objetivo (4.5):

$$\text{Max}_{s_i, Q} EU_{\pi}(s_i; Q) = \begin{cases} \int_0^Q u_{\pi}[(h+p)x - (w+h)Q]f(x) dx \\ + \int_Q^{\infty} u_{\pi}[(p-w)Q + (p-b_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i(x-Q)} - l(x-Q)(1 - e^{-\alpha k_i(x-Q)})]f(x) dx \end{cases} \quad (4.5)$$

Onde u_{π} representa a função utilidade monoatributo sobre o lucro, e EU_{π} representa o valor esperado desta função levando em consideração as incertezas relacionadas a x . A função utilidade u_{π} pode ser obtida por meio de protocolos estruturados de elicitacão, tal como descrito em 2.4 e detalhado em Keeney (1977).

Ainda considerando um exemplo monoatributo, para o caso especial de uma função utilidade linear $u(x) = ax + b$ (neutralidade ao risco) e nenhuma retenção de demanda ($\beta = 0$), a solução para o problema recai na expressão conhecida como *critical fractile* (Hillier & Lieberman, 2005):

$$Q^* = F^{-1}\left(\frac{p+l-w}{p+l+h}\right) \quad (4.6)$$

onde $F(x)$ é a distribuição acumulada da demanda.

Entretanto, neste trabalho o lucro é apenas um dentre três atributos utilizados para maximizar a utilidade do decisor. Embora análises econômicas de lucro ou custo sejam fatores com grande peso nas decisões de produção/compra associadas ao controle de estoques, elas com frequência não são capazes de traduzir satisfatoriamente toda a complexidade de um ambiente de negócios. Podem ser insuficientes também para empresas do tipo *newsvendor*, especialmente para aquelas que atuam em mercados altamente competitivos, para aquelas que vendam produtos com um importante papel social, ou cujos produtos possuam material com elevado potencial de dano ao meio ambiente.

Nesse sentido, para tratar o problema adequadamente, é necessária uma abordagem mais abrangente que vá além do critério *Lucro* e considere outras dimensões de conseqüências relacionadas à escolha de um lote Q . Estas dimensões podem ser tratadas como múltiplos atributos ou objetivos a serem atingidos. Neste sentido, no processo decisório, o decisor multiatributo que representa o *newsvendor* avalia conseqüências e *trade-offs* entre lucro e estes outros atributos, de forma que equação 4.5 é insuficiente para representar, sozinha, os objetivos do decisor.

4.1.3.2 Nível de Serviço

Como afirmado na descrição do atributo *Lucro*, há diversas companhias que atuam em mercados de elevada competição, ou cujos produtos são altamente associados à imagem da empresa. Em contextos de *SPP* como estes, a satisfação das necessidades ou desejos da demanda tem um alto grau de impacto sobre o sucesso do negócio. Assim, avaliações gerenciais do *Nível de Serviço* precisam ser levadas em consideração na tomada de decisão.

Neste trabalho, as conseqüências do nível de serviço associadas a um vetor $[s_i; Q]$ são modeladas por meio da proporção de vendas perdidas sobre a demanda total x , tal como representado pela expressão 4.7:

$$VP(s_i; Q) = \begin{cases} \frac{(1-\beta)(x-Q)}{x} & \text{se } x > Q \\ 0 & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (4.7)$$

Na equação 4.7, $VP(s_i; Q)$ denota a fração de vendas perdidas associado a uma dada opção do decisor para solução do *SPP*. O nível de serviço é indiretamente obtido por meio da relação $NS = 1 - VP$. Para fins de generalização, este modelo assume que a expressão em 4.7 representa a fração do mercado do *newsvendor* que não foi atendida. Para o caso em que cada

cliente adquire apenas uma unidade do produto, a proporção de vendas perdidas representa a fração dos consumidores que abandonaram o sistema desistindo da compra.

Substituindo-se a expressão 4.3 em 4.7 tem-se:

$$VP(s_i; Q) = \begin{cases} \frac{(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} & \text{se } x > Q \\ 0 & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (4.8)$$

Observa-se em 4.8 que o nível de serviço é diretamente influenciado pelo grau de impaciência do consumidor quando de um *stock-out*, impaciência esta modelada por α . É também afetado pela opção escolhida para Q e pela opção selecionada para s_i (através do coeficiente k_i).

O nível de serviço proporcionado por um lote Q pode afetar variáveis não retratadas por lucro, custos de manutenção de estoques, custos de oportunidade, e indicadores financeiros do negócio. Em um cenário em que o lote comprado/produzido Q é menor do que a demanda realizada x , um baixo nível de serviço pode afetar sensivelmente o relacionamento com os clientes, a depender da criticidade do produto e do grau de paciência da demanda. A indisponibilidade do produto pode erodir a fidelidade dos consumidores, que podem procurar unidades disponíveis ou produtos substitutos em concorrentes do *newsvendor*, ameaçando o *market-share* da empresa e sua competitividade a longo prazo. Pode associar à empresa uma imagem de fornecedora não confiável em termos de sua capacidade de gerir estoques, satisfazer uma demanda e gerenciar pedidos de clientes em espera.

Quanto mais relevantes estes fatores são, mais difícil será traduzi-los em valores monetários de custo de falta e assim manter uma abordagem exclusivamente econômica para o problema. Nestas circunstâncias, a estimação dos impactos de indisponibilidade de produto meramente como custos de falta e de vendas perdidas pode ser irrealista, enfraquecendo assim a confiança do decisor nas recomendações do modelo (Agrell, 1995).

Nesse sentido, o custo de oportunidade l , descrito no atributo *Lucro*, não está associado às conseqüências não-monetárias modeladas no atributo *Nível de Serviço*. Por exemplo, o *stock-out* de produtos com baixa margem de lucro, mas altamente associados à imagem de uma empresa ou com papel estratégico em seu mercado, pode apresentar baixo impacto financeiro de vendas perdidas, mas alto impacto sobre o posicionamento competitivo da companhia.

A despeito das dificuldades de se estimar, em fatores econômicos, conseqüências do nível de serviço em diversos contextos de gestão de estoques, é, todavia, possível explorar as compensações de um decisor entre o resultado financeiro obtidos por um pedido Q e as

conseqüências do nível de serviço, modeladas como um atributo à parte. Dentro de uma racionalidade compensatória (Keeney & Raiffa, 1976, Almeida, 2011), estes julgamentos de *trade-offs* são importantes para o estabelecimento de soluções de compromisso que maximizem a satisfação do decisor, tendo em mente o resultado global (multidimensional) de suas alternativas de ação $[s_i ; Q]$.

Por exemplo, ao comparar as diferentes dimensões de conseqüências do problema, um *newsvendor* pode estar disposto a aceitar uma redução de 2% no lucro da temporada a fim de obter uma elevação de 5% no nível de serviço, o que pode ser obtido reduzindo-se as vendas perdidas por meio de um maior tamanho de lote Q ou esquemas de ressuprimento emergencial mais rápidos. Entretanto, este tipo de julgamento, pautado sobre a estrutura de preferências do decisor, não é explorado em diversos modelos como Chen & Krass (2001), Gillén *et al.* (2005), Tempelmeier (2006) e Jha & Shanker (2009), que abordam este atributo dentro de problemas de otimização restrita. Nestes, o nível de serviço é incorporado apenas como restrição a uma função-objetivo de maximização do resultado financeiro, a fim de impedir que o primeiro seja menor que um nível mínimo admissível ε . Dessa forma, o tratamento do nível de serviço como restrição pode levar a soluções de menor utilidade, pois não permite explorar as compensações, que o decisor estabelece, na procura de uma solução globalmente mais satisfatória.

De posse desta métrica em 4.7 e 4.8, e com o apoio adequado do *staff* da companhia para avaliar as conseqüências de diferentes proporções do mercado não atendidas, o decisor pode analisar os impactos de diferentes opções de $[s_i ; Q]$ sobre a boa-vontade e o relacionamento com os clientes, e sobre a posição competitiva da companhia em seu mercado. Dada a generalidade desta modelagem de SPP, esta avaliação deve ser conduzida tendo em vista as particularidades de cada organização e cada mercado. Após obterem-se estes *insights*, a posição do decisor relativa ao nível de serviço é então traduzida para uma escala de preferências em utilidade, como explanado adiante.

4.1.3.3 Impactos Ambientais

Além de utilizar o atributo nível de serviço para retratar as preocupações do decisor acerca do relacionamento com os clientes, este modelo também propõe para o SPP outro atributo de decisão com importância crescente para a gestão de operações, especialmente para grandes empresas: o desempenho ambiental (Clift & Wright, 2000; Rao & Holt, 2005; Chaabane *et al.*, 2010).

Como nunca antes, a divulgação de mudanças climáticas e ambientais tem pressionado as organizações para que a questão de sustentabilidade ambiental entre no cerne dos modelos de avaliação de desempenho empresarial (Walker *et al.*, 2008). No campo da gestão, há um ônus crescente sobre o papel das empresas na sociedade e sobre a responsabilidade destas em minimizar os impactos de seus negócios sobre o meio ambiente. Métricas ou indicadores para quantificar o desempenho ambiental de uma organização são utilizados para avaliar o grau de contribuição da empresa à preservação ou degradação do meio ambiente. Estes impactos podem ser avaliados enfocando fatores como disposição de resíduos, qualidade do ar, da água, presença de poluentes no solo, o uso de recursos naturais, o nível de ruído e a emissão de gases intensificadores de efeito estufa, por exemplo (Jiménez & Lorente, 2001).

Para empresas com políticas corporativas de responsabilidade social (Bhattacharya & Sen, 2004; Cruz, 2009), a adoção de posturas ambientalmente sustentáveis é uma questão estratégica para fazer frente às preocupações ambientais dos consumidores, a legislações cada vez mais rígidas e ao grau de risco percebido por investidores, que vêem em companhias com passivos ambientais uma ameaça à rentabilidades de longo prazo (Rao and Holt, 2005; Cruz, 2009). Em pesquisa realizada na década de 90, Feldman *et al.* (1997) já identificavam que a adoção de posturas ambientalmente proativas apresenta um impacto significativo sobre o “risco percebido” de uma empresa pelos investidores, adicionalmente aos benefícios diretos sobre a redução de custos e de impactos ambientais incorridos pela empresa.

Nesse contexto, o modelo multiatributo de SPP ora proposto procura incorporar, dentro do processo de decisão de compra/produção, as preocupações ambientais da empresa com respeito aos impactos de resíduos sólidos oriundos da disposição final de produtos não vendidos ao fim do período de vendas. Isto é mais comum para produtos altamente perecíveis ou com curto ciclo de vida. Estes impactos, conhecidos como “pegada ambiental” (*environmental footprint*) (Corrêa, 2010), são aqui incorporados à tomada de decisão do *news vendor*, pois, mesmo que o mesmo não venha a ser o fabricante do produto, leis como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011) estabelecem o compartilhamento das responsabilidades ambientais do descarte entre os agentes de suprimento de um dado produto. Considerando o elevado grau de obsolescência/perecibilidade característico de muitos produtos com pouca durabilidade ou curto ciclo de vida, assume-se que, em um cenário de super-estocagem, reduções de preço não geram interesse de clientes por estoques residuais. Como nos demais modelos de SPP, estes produtos não podem ser estocados para propósitos

futuros (Khouja, 1999). Assim, o estoque remanescente precisa ser descartado em aterros sanitários.

Em um contexto sem a consideração de processos de logística reversa, as conseqüências neste atributo são representadas de acordo com a equação 4.9:

$$IA(Q) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \geq Q \\ \tilde{Y} \in [0, \delta_d(Q-x)] & \text{se } x < Q \end{cases} \quad (4.9)$$

Onde δ_d é uma constante associada à propriedade física ou química ambientalmente indesejada, por unidade descartada. Ela depende das particularidades do produto, como por exemplo, gramas de chumbo por unidade aterrada, volume de uma substância tóxica por unidade etc. Y é uma variável aleatória com f.d.p. $j(y|Q,x)$, correspondendo ao volume de material nocivo que vence as barreiras de proteção do aterro sanitário e alcança o meio ambiente. Ela ocorre em cenários de super-estocagem e assume valores aleatoriamente no intervalo entre 0 e $\delta_d(Q-x)$, que é o volume total de material nocivo descartado.

As principais conseqüências da disposição de resíduos são a demanda por espaço em aterros sanitários, bem como a formação de chorume e emissões em conseqüência da deposição destes resíduos no solo ou da incineração destes últimos (Seuring, 2004). No caso de produtos eletrônicos, por exemplo, itens de hardware, baterias, equipamentos com cristal líquido etc. possuem partes que contém metais perigosos como chumbo, níquel, lítio, cádmio e mercúrio, cujo descarte requer um tratamento adequado a fim de minimizar ameaças à saúde humana e o meio ambiente (Lim & Schoenung, 2010). O descarte de produtos orgânicos de elevada perecibilidade, por sua vez, também pode concorrer para a contaminação do solo e de recursos hídricos com a formação de ácidos e de compostos orgânicos que, combinados a metais pesados como cádmio, níquel e zinco, formam complexos químicos nocivos ao meio ambiente quando da ocorrência de processos de lixiviação (Christensen *et al.*, 1998). Os efeitos dinâmicos da disposição destes tipos de resíduo em aterros ainda estão sendo estudados (Christensen *et al.*, 2001; Lim & Schoenung, 2010). Nesse sentido, tendo em mente que os sistemas de aterro sanitário não podem garantir perfeito isolamento de resíduos, minimizar o excesso de estoques contribui para reduzir o risco de impactos ambientais relacionados à disposição final de produtos não vendidos.

Devido à complexidade dos impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos, há casos em que estas conseqüências não podem ser estimadas com base no volume de resíduos produzidos (Clift & Wright, 2000). Entretanto, de forma a estabelecer e ilustrar o atributo ambiental no processo de decisão do *newsvendor*, este trabalho considera a situação em que

isto pode ser feito. Como no contexto de SPP o problema não é analisado sob a perspectiva multiperíodo, os impactos ambientais neste primeiro modelo são modelados para ser uma variável aleatória dependente do volume de produtos não vendidos, considerando que estes são descartados em aterros sanitários. Efeitos da evolução do tempo sobre a contenção dos resíduos aterrados e conseqüentemente sobre a distribuição de probabilidade dos impactos ambientais são desprezados. Os impactos decorrentes das destinações finais dadas aos produtos adquiridos pelos consumidores também estão de fora do escopo, uma vez que este descarte pode ser realizado em horizontes de tempo amplamente distintos e não se pode precisar, previamente, qual a destinação final dada a estes produtos.

A modelagem dos impactos ambientais como atributo, e não como uma restrição a um modelo de maximização do lucro, decorre de razões semelhantes às apresentadas para o atributo *Nível de Serviço*. Ela permite a consideração explícita das preferências quanto a este critério, bem como a exploração de *trade-offs* entre os critérios de forma a se obter uma solução de compromisso para o decisor. Ao avaliar suas preferências, um decisor pode, por exemplo, aceitar o incremento de um percentual de 4% na proporção de vendas perdidas (redução do nível de serviço) a fim de obter uma redução de 25% no volume de metais pesados descartados ao meio ambiente. Por outro lado, pode abrir mão deste ganho ambiental se o mesmo for acompanhado, por exemplo, de uma redução de 5% no lucro ao fim do período. Essas compensações, captadas no processo de elicitación da função utilidade multiatributo, são importantes para a identificação de uma solução $[s_i; Q]$ mais preferível também no que tange aos impactos ambientais da atividade do *newsvendor*.

Assim como no atributo *Nível de Serviço*, é necessário o apoio de especialistas de áreas como Desenvolvimento de Produto, Saúde e Segurança, Gestão Ambiental e outras áreas relacionadas, a fim de ajudar o decisor da empresa a identificar a natureza do parâmetro δ_d a ser considerada (expressão 4.9), bem como avaliar os riscos ambientais para diferentes opções de Q . Com base em 4.9, pode-se observar que os Impactos Ambientais são o único atributo que não depende da opção de ressuprimento emergencial escolhida. Isto porque, em um cenário de *stock-out* onde o esquema de ressuprimento s_i é disparado, o segundo pedido do *newsvendor* corresponde ao volume de demanda retida durante o *lead-time* determinístico $\tau_i = k_i(x-Q)$. Não há mais estoques deste lote emergencial depois de atender a demanda que ficou em *backlogging*. Com isso, este atributo é influenciado apenas pelo segundo componente do vetor de decisão $[s_i; Q]$.

4.1.4 Agregação dos múltiplos atributos e resolução do problema

A agregação dos atributos de decisão para obtenção de uma solução de compromisso para o SPP será feita por meio da aplicação da Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT (Keeney & Raiffa, 1976). Isto se deve ao fato de MAUT apresentar uma sólida estrutura axiomática para subsidiar a tomada de decisão, considerando a presença de incertezas sobre as conseqüências e a existência de uma racionalidade compensatória que é assumida para o decisor *newsvendor*. Neste sentido, considera-se que o decisor está disposto a avaliar, no processo decisório, opções que compensem, por exemplo, resultados menos satisfatórios de lucro por resultados mais elevados de nível de serviço, ou que forneçam menores níveis de serviço ao mercado em benefício de menores riscos ambientais etc.

Para isso, o próximo passo deste modelo corresponde à obtenção de um valor geral de utilidade para cada opção $[s_i; Q]$ baseado em seu desempenho nos atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Isto é feito por meio da elicitacão de uma função utilidade sobre o conjunto tridimensional de atributos do problema de decisão do *newsvendor* apresentado no tópico 4.1.3. Este processo envolve a obtenção de dados subjetivos do decisor por meio de procedimentos de elicitacão, com o objetivo de se obterem pontos que permitam o ajuste de uma função utilidade representativa de suas preferências (tal como abordado em Raiffa, 1970; Keeney & Raiffa, 1976; e Almeida, 2011). O uso de funções utilidade de von Neumann e Morgenstern sobre as conseqüências ao invés dos próprios valores das conseqüências permite ao modelo de SPP incorporar as preferências do decisor e sua atitude em relação ao risco, que é decorrente das incertezas na demanda dos consumidores e nos impactos ambientais de produtos descartados.

A função utilidade multiatributo do *newsvendor* pode ser sumarizada de acordo com a equação 4.10:

$$U(s_i, Q) = U[\pi(s_i; Q), VP(s_i; Q), IA(s_i; Q)] \quad (4.10)$$

Neste trabalho, considerando uma racionalidade compensatória do decisor e que as preferências do mesmo atendem às propriedades de independência em utilidade e independência aditiva previstas em MAUT (Keeney & Raiffa, 1976; Almeida, 2011) tem-se como conseqüência que a expressão tridimensional em 4.10 é aditiva. Esta é uma típica função utilidade multiatributo, freqüentemente encontrada na prática (Vincke, 1992), por exemplo, em problemas de emergência em Logística e Manutenção (Almeida & Bohoris, 1996; Almeida, 2005) e em Confiabilidade e Segurança (Brito & Almeida, 2009).

Considerando-se o caso em que essas condições são satisfeitas, a função utilidade multiatributo em 4.10 pode ser obtida baseando-se nas funções utilidade unidimensionais $u_{\pi}(s_i; Q)$, $u_{NS}(s_i; Q)$, e $u_{IA}(s_i; Q)$, conforme equação 4.11:

$$U(s_i; Q) = \lambda_1 \cdot u_{\pi}(s_i; Q) + \lambda_2 \cdot u_{NS}(s_i; Q) + \lambda_3 \cdot u_{IA}(s_i; Q) \quad (4.11)$$

Em 4.11, os parâmetros λ_1 , λ_2 e λ_3 são constantes de escala associadas aos atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*, respectivamente. Tem-se a propriedade de que $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$. Os valores destas constantes são obtidos por meio de procedimentos de elicitacão baseados em comparações de loterias que apresentam *payoffs* específicos, com triplas compostas pelos valores suficientemente piores e melhores em cada atributo (para detalhes neste procedimento, vide Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977; Wanderley, 2008).

É importante destacar que os valores de utilidade obtidos a partir da expressão 4.11 não podem ser encarados como simples soma ponderada. O uso de funções utilidade aditivas implica na observação das propriedades de mútua independência em utilidade e independência aditiva entre os atributos π , *NS* e *IA* para o decisor (Keeney & Raiffa, 1976). Caso as condições de mútua independência em utilidade entre os atributos sejam verificadas, mas as condições de independência aditiva não sejam satisfeitas, realiza-se o ajuste de uma função utilidade multilinear para descrever as preferências do decisor. Por outro lado, caso as condições de independência em utilidade não sejam atendidas, deve-se estudar a aplicação de uma função utilidade multiplicativa que possa descrever a interdependência entre os atributos (vide Keeney & Raiffa, 1976 e Almeida, 2011 para maiores detalhes neste assunto). Por razões de simplificação, esta modelagem multiatributo do *SPP* considera o caso particular de funções utilidade aditivas. Entretanto, futuros desenvolvimentos que fogem ao escopo deste trabalho podem explorar o uso de funções utilidade mais complexas, tais como formas multiplicativas e não-lineares para a expressão 4.11

Quando as incertezas inerentes ao modelo de *SPP* são abordadas dentro da estrutura axiomática de Teoria da Decisão (ou Análise de Decisão), o desempenho de cada opção $[s_i; Q]$ em cada atributo do modelo é avaliado como a utilidade esperada de $[s_i; Q]$ para conseqüências determinísticas neste atributo (Berger, 1985). Dessa forma, para o atributo *Lucro*, a utilidade de cada par $[s_i; Q]$ pode ser derivada conforme já apresentado na equação 4.5:

$$EU_{\pi}(s_i; Q) = \begin{cases} \int_0^Q u_{\pi}[(h+p)x - (w+h)Q]f(x) dx \\ + \int_Q^{\infty} u_{\pi}[(p-w)Q + (p-b_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l(x-Q)(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})]f(x) dx \end{cases} \quad (4.5)$$

A diferença é que EU_{π} nesta última expressão não será maximizada como um único critério, uma vez que é uma parcela de uma função utilidade multiatributo a ser maximizada.

Por sua vez, a utilidade de $[s_i; Q]$ no atributo *Nível de Serviço*, considerando as preferências do decisor e as incertezas com relação a x , é obtida conforme expressão 4.12:

$$EU_{NS}(s_i; Q) = \int_0^Q u_{NS}(0)f(x)dx + \int_Q^{\infty} u_{NS}\left[\frac{(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x}\right]f(x) dx \quad (4.12)$$

De acordo com 4.12, a utilidade de $[s_i; Q]$ no atributo *Nível de Serviço* é medida como a utilidade esperada da proporção de vendas perdidas associada a $[s_i; Q]$. Para todos os casos onde $x \leq Q$ (primeira integral), a proporção de vendas perdidas é zero, e a utilidade $u_{NS}(0)$ no atributo *Nível de Serviço* – em uma escala $[0; 1]$ – é máxima. Na hipótese de toda a função densidade de probabilidade $f(x)$ se concentrar em valores menores que Q , tem-se que a distribuição acumulada de X até Q , $F(Q)$, é igual a 1. Dessa forma, uma vez que $u_{NS}(0) = 1$, ter-se-ia o valor da primeira integral em 4.12 também igual a 1, e o valor da segunda integral, analogamente, igual a 0. Isso aconteceria para valores de Q extremamente elevados, onde o nível de serviço tenderia a 1 (nenhuma venda perdida).

No atributo *Impactos Ambientais*, mede-se a utilidade esperada dos impactos gerados pela eliminação dos produtos não vendidos, conforme equação 4.13:

$$EU_{IA}(s_i, Q) = \int_0^Q \int_0^{\delta_i(Q-x)} u_{IA}(y) \cdot j(y|Q, x) \cdot f(x) dy dx + \int_Q^{\infty} u_{IA}(0) f(x) dx \quad (4.13)$$

Para todos os casos onde $x \geq Q$ (segunda integração), o descarte de resíduos é zero e a utilidade $u_{IA}(0)$ neste atributo – em uma escala $[0; 1]$ – é máxima.

Por fim, a resolução do problema de decisão envolve a seleção de um vetor $[s_i; Q]$ que maximize a utilidade multiatributo do decisor no *SPP*, representada em 4.11. Em outras palavras (4.14):

$$\begin{aligned}
& \text{Max}_{s_i, Q} U[\pi(s_i; Q), VP(s_i; Q), IA(s_i; Q)] = \\
& \text{Max}_{s_i, Q} \left[\lambda_1 \cdot \left(\int_0^Q u_\pi [(h+p)x - (w+h)Q] f(x) dx \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \int_Q^\infty u_\pi [(p-w)Q + (p-b_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l(x-Q)(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})] f(x) dx \right) \right. \\
& + \lambda_2 \cdot \left(\int_0^Q u_{NS}(0) f(x) dx + \int_Q^\infty u_{NS} \left[\frac{(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] f(x) dx \right) \\
& \left. + \lambda_3 \cdot \left(\int_0^Q \int_0^{\delta_i(Q-x)} u_{IA}(y) j(y|Q, x) f(x) dy dx + \int_Q^\infty u_{IA}(0) f(x) dx \right) \right] \quad (4.14)
\end{aligned}$$

Após a elicitacão das funoes utilidade para cada um dos três atributos, os valores dos parâmetros λ_1 , λ_2 e λ_3 devem ser adequadamente obtidos através de um procedimento de elicitacão com loterias, a fim de avaliar *trade-offs* entre conseqüências de *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais* (Keeney, 1977).

Após levantar o conjunto de opoes de contingência $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$, obtido pela divisão de compras/suprimento da empresa, então, para cada esquema de ressuprimento emergencial s_i , o decisor escolhe um valor para Q que maximize a equao 4.14. Cada s_i afetar a performance obtida no *Lucro* através do seu custo unitário de *backorder* b_i e seu parâmetro de *backlogging* k_i , ao passo que o desempenho do *Nível de Serviço* será também influenciado por k_i (4.14). O par $[s_i; Q]$ que proporcione o maior valor para 4.14, de acordo com as preferências expressas pelo decisor,  a soluço recomendada para o problema de *SPP* sob uma perspectiva multiatributo.

Conforme um exame das expressoes anteriores aponta, a escolha de $[s_i; Q]$  influenciada pela natureza conflitante dos atributos de decisão. Enquanto valores mais baixos de Q (menores lotes de compra) podem aumentar ou reduzir o lucro esperado (dependendo do balanço entre os custos esperados de super-estocagem e sub-estocagem), eles reduzem o nível de serviço oferecido pelo *newsvedor* ao mercado. Entretanto, menores lotes de compra implicam em menores riscos de poluio associada ao descarte de produtos não vendidos, reduzindo os possíveis impactos ambientais adversos da atividade do *newsvedor*. Por outro lado, maiores valores de Q aumentam o nível de serviço por meio da reduo da proporo esperada de vendas perdidas, embora incorra em maiores riscos ambientais (e portanto menor utilidade ambiental) associados ao descarte do estoque em excesso. Além disso, para este caso, maiores tamanhos de pedido não necessariamente proporcionam maiores valores

esperados de lucro. Este tipo de análise decisória, cuja complexidade é captada neste modelo, não foi observado nos modelos até então desenvolvidos.

Conflitos também estão presentes na escolha de s_i . Valores menores para k_i são possíveis através de maiores custos de ressurgimento emergencial. Todavia, tais valores proporcionam um *lead-time* de ressurgimento mais curto para os clientes, minimizando sua indisposição e reduzindo a proporção de vendas perdidas (aumentando assim o nível de serviço). Neste sentido, *trade-offs* e julgamentos de preferência com respeito aos elementos do conjunto S precisam ser feitos entre as conseqüências de *Lucro* e *Nível de Serviço* de forma a identificar uma solução de compromisso para o decisor no SPP multiatributo.

4.2 Aplicação do Modelo

Com o propósito de ilustrar a abordagem multiatributo para o *Single Period Problem* e a efetividade deste primeiro modelo envolvendo uma empresa individual, é apresentado a seguir um exemplo desenvolvido por meio de uma aplicação numérica computacional. Em geral não é possível obter-se uma expressão algebricamente “fechada” para a solução de compromisso deste modelo, lançando-se mão de ferramentas computacionais.

Uma empresa de varejo está se preparando para comercializar um tipo de hardware de computador, durante uma temporada de vendas, em um contexto de SPP. O produto apresenta um curto ciclo de vida, pois após este período, o modelo sofrerá um upgrade e será substituído por uma versão mais moderna em desenvolvimento. O produto é vendido em um mercado de ampla competição, e pertence a uma família de produtos que, como carro-chefe do negócio, está amplamente associada à imagem comercial da empresa.

Com base no histórico de vendas dos produtos anteriores da série, estima-se que a demanda tenha uma distribuição normal com parâmetros $\mu = 250.000$ unidades e $\sigma = 70.000$ unidades. Devido às pressões de mercado, o produto é vendido ao cliente final a um preço $p = \$250$, e será adquirido pela empresa a um custo unitário de compra $w = \$150$. Os custos estimados associados ao manejo e descarte de unidades não vendidas após o período de vendas são de $h = \$60$ por unidade. A empresa trabalha com um custo de oportunidade $l = \$90$ tendo como base investimentos do lucro em um portfólio de aplicações financeiras.

A fim de lidar satisfatoriamente com possíveis cenários de quebra de estoque, a empresa deseja contratar, juntamente com o fornecimento regular do produto, a possibilidade de requerer um lote de ressurgimento emergencial. O objetivo é mitigar os efeitos de um *stock-out* ao satisfazer uma percentagem da demanda não atendida que esteja disposta a aguardar.

Informações do fornecedor apontam que $\kappa=20$ s/unidade. Verifica-se que a paciência da demanda em esperar pode ser satisfatoriamente representada de acordo com a equação 4.3, e a análise de dados históricos de produtos da série indica o valor de $\alpha = 2,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ como uma boa estimativa para o parâmetro de forma da função de *backlogging*.

A divisão de suprimentos da companhia levanta, junto ao seu fornecedor, esquemas de ressurgimento emergencial, e baseadas em diferentes configurações de produção e serviços de entrega, 7 opções de reabastecimento são obtidas. Estes esquemas estão genericamente representados, com propósitos ilustrativos, pelo seguinte conjunto de opções de contigência e seus custos de *backorder* associados (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Conjunto de esquemas de ressurgimento emergencial disponíveis

Fonte: O autor

0.	Opção	k_i	b_i
1.	s_1	0,95	170
2.	s_2	0,75	200
3.	s_3	0,65	230
4.	s_4	0,5	290
5.	s_5	0,4	350
6.	s_6	0,3	425
7.	s_7	0,25	500

A direção da empresa decide então aplicar o modelo multiatributo de forma a escolher uma solução para o suprimento sob um ponto de vista mais abrangente, considerando objetivos econômicos, ambientais e de nível de serviço. Sob um ponto de vista gerencial, busca-se com isso avaliar preferências, retratar o comportamento do decisor em relação ao risco, e avaliar a influência deste comportamento e de *trade-offs* entre os atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais* no tamanho Q do lote de compra.

Um grupo de funcionários experientes é inicialmente selecionado das áreas de Logística, Comercialização, Marketing e da área de Saúde, Segurança e Meio Ambiente, de forma a auxiliar o analista de decisão a realizar a aplicação do modelo no contexto da companhia. Reuniões preliminares são realizadas com este grupo de forma a serem apresentados os principais conceitos de Teoria da Utilidade Multiatributo (Kenney & Raiffa, 1976; Almeida, 2011) e de Análise da Decisão (Raiffa, 1970; Berger, 1985). Os passos deste modelo são também explicados. É destacada a importância da identificação do decisor como um aspecto fundamental deste processo, devido aos julgamentos que precisam ser feitos por

meio de utilidades sobre as conseqüências monetárias, ambientais e de nível de serviço. Também é salientado pelo analista de decisão que o decisor deve ter autoridade suficiente para resolver conflitos de interesse entre os departamentos da companhia, bem como para fazer compensações entre atributos de forma a estabelecer um lote de compra Q que represente o “melhor compromisso” entre os conflitantes critérios de decisão.

Para este exemplo de aplicação, o Diretor de Operações da companhia é identificado como o decisor, e uma função utilidade multi-atributo $U[\pi(s_i, Q), NS(s_i, Q), IA(s_i, Q)]$ é elicitada de acordo com as preferências expressas por este. O decisor é convidado a avaliar algumas loterias hipotéticas expressando suas preferências entre *payoffs* determinísticos (conseqüências de lucro, nível de serviço e de impactos ambientais) e loterias com probabilidades específicas entre os melhores valores e os piores valores para estes atributos (Raiffa, 1970; Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977). Após algumas confrontações com os axiomas de MAUT, o analista verifica que as preferências expressas pelo decisor apresentam a propriedade de independência aditiva entre os atributos π , NS e IA . Com isso, funções utilidade são então obtidas para cada atributo.

Para o atributo *Lucro*, o analista segue um protocolo de elicitação conforme sumarizado nas linhas seguintes (Campello de Souza, 2002). Primeiramente, o Diretor é convidado a expressar um resultado de lucro π^* que seja factível, mas suficientemente alto, para que o mesmo se sinta confiante em atribuir um valor de utilidade igual a 1. Posteriormente, no sentido contrário, o analista pede ao decisor que informe π^0 , um resultado negativo de lucro (prejuízo) que seja suficientemente indesejável para ter associado um valor de utilidade igual a 0. Então, para alguns pontos π' dentro do intervalo $[\pi^0; \pi^*]$, o analista apresenta algumas loterias hipotéticas envolvendo π' , π^0 e π^* , a fim de que o decisor as compare e expresse suas preferências. Pela aplicação destes dados ao *framework* teórico de Teoria da Utilidade (Raiffa, 1970; Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977; Berger, 1985; Campello de Souza, 2002), as respostas são usadas para obter valores de utilidade $u_\pi(\pi')$ para os pontos π' levantados. Após isso, as conseqüências π' e os valores de utilidade $u_\pi(\pi')$ associados são plotados em um gráfico de dispersão, sendo aplicado um método de regressão para encontrar a função que melhor se ajuste aos pontos.

Para o atributo *Lucro*, a seguinte curva logística foi obtida com base nos valores de utilidade expressos pelo decisor:

$$u_{\pi}(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-\rho[\pi(s_i, Q) - \xi]}} \quad (4.15)$$

onde $\rho = 7,5 \times 10^{-7}$ e $\xi = 11 \times 10^6$. Esta função é capaz de traduzir um comportamento de propensão ao risco para perdas, relativa neutralidade ao risco para pequenos ganhos monetários, porém uma atitude de aversão ao risco quando considerados altos níveis de lucro como equivalente certo. Esta é uma típica forma de curva de utilidade para dinheiro (formato em “S”) (Campello de Souza, 2002).

Após isso, análises de consistência são realizadas para algumas novas conseqüências levantadas em $[\pi^0; \pi^*]$, de forma a comparar os valores de utilidade calculados a partir da equação da curva aos valores de utilidade obtidos do decisor por meio do procedimento de elicitacão direta. Este processo visa garantir que a função utilidade obtida em 4.15 represente consistentemente as preferências do decisor.

O mesmo procedimento é seguido para as conseqüências de *Nível de Serviço* e posteriormente para *Impactos Ambientais*, de forma a encontrar cada função utilidade. Ao analisar o atributo *Nível de Serviço*, medido por meio da fração das vendas perdidas sobre a demanda total realizada, os valores de utilidade expressos pelo decisor neste exemplo apresentam uma tendência exponencialmente decrescente à medida que a proporção de vendas perdidas aumenta. A seguinte função exponencial é obtida (4.16):

$$u_{NS}(s_i; Q) = e^{-\phi \cdot VP(s_i, Q)} \quad (4.16)$$

Onde $\phi = 9$. Funções utilidade exponenciais, como a da equação 4.16, são amplamente utilizadas na prática em problemas de Análise de Decisão (Chen *et al.*, 2007). Verificou-se que a forma exponencial negativa proporcionou uma boa representação das preferências do decisor, segundo as quais maiores frações de vendas perdidas foram muito mais indesejáveis que frações menores. $VP(s_i, Q)$ foi calculada conforme equação 4.8.

A direção da empresa também manifesta a intenção de minimizar o risco de vazamento de materiais perigosos no solo como uma conseqüência do descarte de possíveis excessos de estoque. No contexto desta companhia, produtos não vendidos são descartados e enterrados em aterros sanitários, havendo assim o risco de contaminação do solo e de lençóis de água com metais pesados mediante processos de lixiviação. O gerente da área de Saúde, Segurança e Meio Ambiente destacou os impactos negativos de qualquer poluição de águas ou

contaminação de solos sobre a imagem corporativa de responsabilidade ambiental que a empresa está procurando cultivar frente aos seus públicos de interesse.

Um valor para o parâmetro δ_d igual a 900g/unidade é estabelecido pelo setor de Design de Produto do fornecedor, correspondendo à quantidade de metais pesados presente em cada unidade. Para o levantamento de $j(y|Q,x)$, dados sobre processos de contaminação do solo a partir do aterramento de produtos similares são escassos. Entretanto, alguns estudos apontam que a contaminação do solo com uma quantidade de metais nocivos y , dada uma massa de $\delta_d(Q-x)$ kg de metais descartados, pode ser modelada de acordo com uma distribuição exponencial com parâmetro $\eta = [0,15*\delta_d *(Q-x)]^{-1}$. O valor de 0,15 na expressão de η decorre de estimar-se que, na média, cerca de 15% do volume de metais pesados descartados em aterros acabam rompendo as barreiras de proteção e contaminando o meio ambiente.

Em maneira similar ao atributo *Nível de Serviço*, as utilidades no atributo *Impactos Ambientais* apresentam um comportamento exponencialmente decrescente, sendo ajustada a seguinte curva exponencial:

$$u_{IA}(Q) = e^{-\psi \cdot IA(Q)} \quad (4.17)$$

Onde $\psi = 3 \times 10^{-4}$. Também para este atributo, conseqüências maiores de impacto ambiental se mostram muito mais indesejáveis que conseqüências de menor porte.

De forma semelhante à elicitação de funções utilidade para cada atributo considerado pelo *newsvendor*, um procedimento de elicitação (Raiffa, 1970) também é utilizado para a obtenção das constantes de escala λ_1 , λ_2 e λ_3 . Com o apoio do analista de decisão, o decisor depara-se com um conjunto de escolhas probabilísticas de loterias envolvendo *payoffs* tridimensionais. Estes *payoffs* correspondem a triplas de conseqüências de *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*, com diferentes combinações dos valores significativamente melhores e piores em cada atributo (para mais detalhes nesse procedimento, vide Keeney, 1977; Keeney & Raiffa, 1976). Como resultado, as seguintes constantes de escala são obtidas: $\lambda_1=0,53$, $\lambda_2=0,32$ e $\lambda_3=0,15$.

Associado a cada opção de ressuprimento emergencial s_i , um tamanho de lote Q^c é calculado para o suprimento inicial. Este cálculo, baseado na expressão 4.14, é feito de forma a maximizar a função utilidade multiatributo do decisor. Isto resulta, para este exemplo em estudo, em 7 pares $[s_i; Q^c]$ de alternativas de decisão. Paralelamente, lotes “ótimos” Q^* são calculados a partir do modelo tradicional de SPP (maximização do lucro esperado), o que proporciona outros 7 pares de alternativas do tipo $[s_i; Q^*]$. De modo a comparar estes dois

tipos de resultados, os valores de utilidade, bem como as conseqüências esperadas em cada atributo, foram listados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resultados do modelo multiatributo e do modelo tradicional para o SPP

Fonte: O autor

0.	Opção	Lote(Q)	$U[s_i;Q]$	$u_{\pi}[s_i;Q]$	$u_{NS}[s_i;Q]$	$u_{IA}[s_i;Q]$	$E(\pi[s_i;Q])$	$E(VP[s_i;Q])$	$E(IA[s_i;Q])$
1.	$[s_1;Q^c]$	208.881	0,795	0,848	0,683	0,850	$1,795 \cdot 10^7$	6,2%	$1,606 \cdot 10^3$
2.	$[s_1;Q^*]$	217.751	0,794	0,828	0,724	0,823	$1,803 \cdot 10^7$	5,2%	$1,961 \cdot 10^3$
3.	$[s_2;Q^c]$	205.787	0,806	0,854	0,703	0,859	$1,737 \cdot 10^7$	5,5%	$1,494 \cdot 10^3$
4.	$[s_2;Q^*]$	219.823	0,803	0,823	0,763	0,816	$1,755 \cdot 10^7$	4,2%	$2,052 \cdot 10^3$
5.	$[s_3;Q^c]$	205.405	0,816	0,853	0,733	0,860	$1,656 \cdot 10^7$	4,6%	$1,480 \cdot 10^3$
6.	$[s_3;Q^*]$	223.939	0,809	0,813	0,805	0,802	$1,687 \cdot 10^7$	3,2%	$2,241 \cdot 10^3$
7.	$[s_4;Q^c]$	221.507	0,807	0,800	0,817	0,810	$1,495 \cdot 10^7$	2,9%	$2,128 \cdot 10^3$
8.	$[s_4;Q^*]$	236.131	0,800	0,774	0,862	0,757	$1,517 \cdot 10^7$	2,1%	$2,873 \cdot 10^3$
9.	$[s_5;Q^c]$	240.626	0,778	0,721	0,892	0,739	$1,356 \cdot 10^7$	1,5%	$3,134 \cdot 10^3$
10.	$[s_5;Q^*]$	247.436	0,776	0,716	0,906	0,712	$1,361 \cdot 10^7$	1,3%	$3,558 \cdot 10^3$
11.	$[s_6;Q^c]$	257.509	0,734	0,628	0,940	0,669	$1,187 \cdot 10^7$	0,79%	$4,250 \cdot 10^3$
12.	$[s_6;Q^*]$	259.845	0,734	0,629	0,943	0,659	$1,188 \cdot 10^7$	0,75%	$4,422 \cdot 10^3$
13.	$[s_7;Q^c]$	267.145	0,700	0,564	0,959	0,627	$1,041 \cdot 10^7$	0,52%	$4,984 \cdot 10^3$
14.	$[s_7;Q^*]$	269.993	0,699	0,565	0,962	0,614	$1,042 \cdot 10^7$	0,49%	$5,214 \cdot 10^3$

Ao longo da terceira coluna da Tabela 4.2, pode-se observar que $[s_3; Q^c]$ (linha 5) é a opção que proporciona ao *newsvendor* a maior utilidade esperada dentre todo o conjunto de alternativas de decisão, que aqui abrangeu tanto as obtidas sob uma modelagem multiatributo, como as calculadas sob a modelagem tradicional. Isto ocorre porque, considerando os julgamentos expressos pelo Diretor de Operações com o apoio de sua equipe, $[s_3; 205.405]$ resulta numa solução globalmente mais desejada para o problema, pois esta proporciona o *trade-off* mais satisfatório entre lucro, nível de serviço e impactos ambientais. Dessa forma, um lote de compra inicial $Q^c = 205.405$ e o esquema de ressuprimento emergencial s_3 ($k_i=0,65$, $b_i=230$) formam o vetor recomendado ao *newsvendor* como solução para o SPP.

4.3 Análise de Sensibilidade

A fim de analisar os efeitos, sobre o resultado do experimento numérico apresentado, de mudanças nas constantes de escala λ_1 , λ_2 e λ_3 da função utilidade multiatributo do decisor, uma análise de sensibilidade foi realizada sobre estas constantes. Foi utilizado o método de Monte Carlo, uma técnica de amostragem estatística por meio de simulação computacional para aproximar soluções de problemas complexos (Metropolis & Ulam, 1949; Fishman,

1996). O método de Monte Carlo foi utilizado de forma a verificar como variações aleatórias nos valores das constantes de escala, ou mesmo erros na elicitação das preferências do decisor, afetam a confiabilidade dos resultados obtidos.

Nesta análise, 10.000 casos foram simulados. Em cada um, cada contante de escala foi gerada aleatoriamente seguindo-se uma distribuição uniforme, com parâmetros $(1-20\%)\lambda$ e $(1+20\%)\lambda$, respectivamente, onde λ foi o valor previamente obtido para o coeficiente no procedimento de elicitação junto ao decisor. Após a geração randômica, as constantes de escala foram normalizadas por sua soma de forma que $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$.

Observou-se que em 97,4% dos casos simulados a opção de contingência a ser contratada no vetor $[s_i; Q^c]$ permaneceu sendo s_3 , um indicativo da robustez desta opção. Os lotes de compra Q^c para estes casos variaram com uma média $\mu=205.424,9$ e um desvio padrão $\sigma=3.912,3$, portanto, com um baixo coeficiente de variação (1,9%). Nos outros 2,6% dos casos observados, o esquema de ressuprimento emergencial seguinte, s_4 , tornou-se recomendável, com lotes de compra Q^c apresentando média $\mu=226.112,6$ e desvio padrão $\sigma=677,65$ (CV=0,3%). Os resultados de Q^c combinados a s_4 foram observados em casos onde a constante de escala λ_2 assumiu valores próximos ao limite superior de sua distribuição. Nesse sentido, à medida que o nível de serviço se torna uma questão mais crítica no ambiente de atuação do *news vendor* (valores crescentemente maiores de λ_2), opções com *lead-times* de ressuprimento mais curtos se tornam mais atrativas para o decisor.

A distribuição de freqüências de Q^c para s_3 e s_4 está apresentada na Figura 4.1:

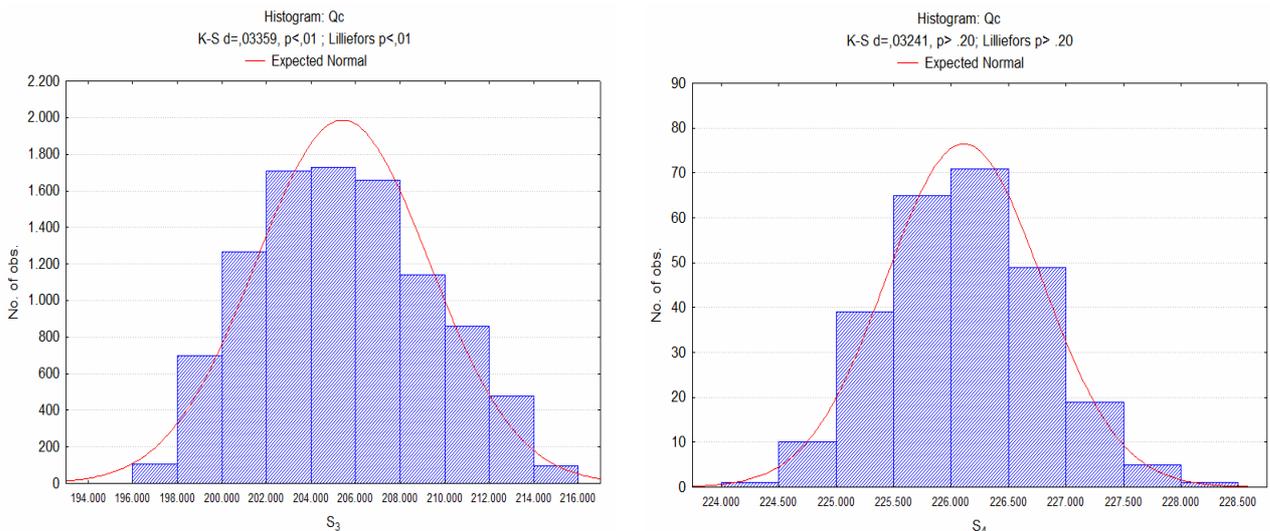


Figura 4.1 – Histograma dos lotes de compra para as opções s_3 e s_4 nos cenários simulados

Nos dois grupos de resultados observados a hipótese de normalidade foi testada mediante aplicação dos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Lilliefors. A despeito da

relativa simetria e unimodalidade dos dados, a hipótese foi rejeitada no primeiro caso, com $p < 0,01$, visto que um grande tamanho amostral torna o teste extremamente rigoroso. Entretanto, uma vez que os tamanhos amostrais são suficientemente grandes (9740 e 260, respectivamente), os seguintes intervalos de confiança de 95% puderam ser calculados para Q^c em cada caso.

Tabela 4.3 – Intervalo de Confiança para Q^c no modelo multiatributo de SPP

Fonte: O autor

0.	Opção	Média(Q^c)	IC(Q^c) - 95	IC(Q^c) +95
1.	$[s_3; Q^c]$	205.424,9	205.347,2	205.502,6
2.	$[s_4; Q^c]$	226.112,6	226.029,8	226.195,3

Observa-se na Tabela 4.3 que o vetor solução $[s_3; 205.405]$ recai dentro do intervalo de confiança para Q^c no primeiro caso, um indicativo da robustez da solução para o nível de perturbação gerado nas constantes de escala. Os testes não-paramétricos Mann-Whitney U e K-S foram aplicados a fim de constatar a significância estatística da diferença no tamanho dos lotes associados às opções s_3 e s_4 . A diferença foi estatisticamente significativa nos dois testes, com $p < 0,001$. Dessa forma, para este decisor, conclui-se que mesmo dispondo de maior agilidade na resposta a um possível *stock-out* (o que poderia permitir uma redução no lote inicial Q^c), a escolha de um esquema de ressuprimento emergencial mais rápido esteve associada a maiores pedidos iniciais Q^c . A aversão ao risco financeiro que o decisor apresentou para lucros maiores que $\$11 \times 10^6$ fomentou um maior lote inicial tendo em vista a redução do custo médio unitário *a posteriori*, uma vez que, contratando um s_i de custo de *backorder* mais elevado, itens recebidos no lote inicial terão menor custo para o *newsvendor* que itens providenciados emergencialmente.

4.4 Discussão dos Resultados

Os resultados da Tabela 4.2 apontam que, quando preferências envolvendo nível de serviço e impactos ambientais são levadas em consideração na tomada de decisão do *newsvendor*, as soluções de compromisso para o lote de compra Q^c proporcionam resultados tão ou mais desejáveis (maior utilidade) que as soluções de maximização do lucro esperado. Isto pode ser observado pelos valores maiores (ou ao menos, iguais) de $U[s_i; Q^c]$ frente a $U[s_i; Q^*]$ para todo $s_i \in S$.

Considerando os juízos de valor expressos, – tanto pela elicitação das funções utilidade, como pela obtenção das constantes de escala – os lotes de compromisso Q^c proporcionaram uma combinação mais desejável de performances no que tange à consideração simultânea das dimensões *Nível de Serviço*, *Impactos Ambientais* e *Lucro*. Adicionalmente, considerando apenas este último critério, embora Q^c tenha proporcionado um menor lucro esperado que Q^* , Q^c apresentou maior utilidade neste atributo, uma vez que foi calculado considerando a atitude em relação ao risco que o decisor apresentou em face das incertezas na demanda.

Comparando as opções de suprimento $[s_1; Q^c]$ (linha 1) e $[s_2; Q^c]$ (linha 3) da Tabela 4.2, por exemplo, observa-se que Q^c não necessariamente cresce com o custo unitário de *backorder* b_i . Na verdade, Q^c é produto de uma combinação das influências de b_i e k_i sob os efeitos da incerteza na demanda. Embora $[s_2; Q^c]$ apresente um custo unitário de *backorder* maior que $[s_1; Q^c]$, o valor menor de k_2 frente a k_1 permitiu que a primeira apresentasse um menor lote de compromisso se comparada a esta última. A mesma análise pode ser feita entre $[s_2; Q^c]$ e $[s_3; Q^c]$ (linhas 3 e 5, respectivamente).

Considerando as soluções de compromisso $[s_i; Q^c]$ sob a ótica dos atributos isoladamente, a opção que maximiza a utilidade esperada do lucro é o vetor $[s_2; 205.787]$ (linha 3), que apresenta o balanço mais satisfatório entre os custos monetários esperados de excesso de estoque e os de falta de estoque. Por sua vez, a solução multiatributo mais preferível em nível de serviço é $[s_7; 267.145]$ (linha 13), que apresenta o menor tempo de ressuprimento emergencial ($k_i=0,25$) e o maior lote inicial de compra, aumentando a disponibilidade imediata de produto. Entretanto, enquanto apresenta o desempenho mais satisfatório no atributo *Nível de Serviço*, $[s_7; 267.145]$ é das soluções multiatributo a que apresenta a menor performance em *Lucro* e em *Impactos Ambientais*. Neste último atributo, o desempenho desta opção caiu sensivelmente com o aumento do número esperado de itens descartados e da conseqüente probabilidade de vazamento de materiais nocivos para o meio ambiente.

Quando $[s_3; 205.405]$ (Tabela 4.2, linha 5) é comparada à solução “clássica” de maximização do lucro associada a s_3 , que é $[s_3; 223.939]$ (linha 6), o lote de compromisso $Q^c = 205.405$ incorre em uma perda de 1,83% em $E(\pi[s_i; Q])$, bem como em um aumento de 1,4 pontos percentuais na proporção esperada de vendas perdidas $E(VP[s_i; Q])$. Entretanto, com a consideração da atitude do decisor em relação ao risco sobre o lucro, o menor tamanho de Q^c proporciona ao *newsvendor* um maior valor esperado de utilidade no que tange à dimensão econômica. Adicionalmente, percebe-se que o desempenho mais elevado de $[s_3; Q^*]$ (linha 6)

na dimensão de nível de serviço também foi compensado por uma vantagem de $[s_3; Q^c]$ (linha 5) no aspecto ambiental, onde $[s_3; Q^c]$ proporciona redução de 34% no montante esperado de metais nocivos lançados ao meio ambiente com as unidades descartadas. Nesse sentido, o decisor aceita abrir mão de certa vantagem no nível de serviço proporcionado por $[s_3; Q^*]$ de forma a obter um ganho proporcionado por $[s_3; Q^c]$ no desempenho ambiental da companhia.

Como exemplificado, as análises de trade-offs realizadas pelo *newsvendor* entre os critérios de decisão são uma característica distintiva desta abordagem multiatributo de SPP. Ela permite explorar compensações entre critérios conflitantes e de naturezas diferentes, como por exemplo, nível de serviço *versus* preocupações ambientais. Para um *newsvendor* que apresenta estes objetivos não-monetários paralelamente a um objetivo econômico, os resultados na Tabela 4.2 mostram que as soluções de maximização do lucro não são necessariamente as mais preferíveis para o decisor.

Embora os valores de utilidade na Tabela 4.2 sejam aparentemente próximos, isto não deve ser interpretado como desempenhos equivalentes ou indiferentes pelo decisor. A ocorrência de maiores discrepâncias nestes valores é reduzida pelo fato de que, para todas as opções na Tabela 4.2, os valores de utilidade em *Nível de Serviço* são iguais a 1 para todos os cenários em que $x \leq Q$ (equação 4.12). De maneira similar, os valores de utilidade em *Impactos Ambientais* são iguais a 1 para todos os cenários onde $x > Q$ (equação 4.13). Adicionalmente, é importante destacar que, uma vez que os valores de utilidade são elicitados em uma escala intervalar (Berger, 1985), não há sentido em se calcular “intensidade de preferências” entre as opções. Em outras palavras, não há sentido em dizer, por exemplo, que “[$s_3; Q^c$] é y vezes melhor que [$s_3; Q^*$]”. Na verdade, este tipo de escala numérica permite a avaliação de uma intensidade cardinal entre pares de diferenças de utilidade envolvendo as alternativas de decisão. Por exemplo, a diferença entre as utilidades $U[s_3; Q^c]$ e $U[s_3; Q^*]$ (Tabela 4.2, linhas 5 e 6) pode parecer pequena, assim como as diferenças entre $U[s_5; Q^c]$ e $U[s_5; Q^*]$ (linhas 9 e 10). Entretanto, é possível afirmar que a preferência por $[s_3; Q^c]$ em relação a $[s_5; Q^c]$ é 15% maior que a preferência por $[s_3; Q^*]$ em relação a $[s_5; Q^*]$. Dessa forma, as performances de $[s_3; Q^c]$ e $[s_3; Q^*]$ não são equivalentes entre si, bem como as performances de $[s_5; Q^c]$ e $[s_5; Q^*]$. Portanto, análises dos valores de utilidade precisam ser feitas tendo em mente a escala intervalar dos resultados.

Os resultados da análise de sensibilidade indicam uma influência significativa das preferências e *trade-offs* do decisor, aqui analisadas por meio das constantes de escala, no estabelecimento do lote de compromisso Q^c . Valores nas caudas direitas dos histogramas da

Figura 4.1, por exemplo, são obtidos em casos onde λ_2 está próxima do limite superior da distribuição simulada para a constante de escala de *Nível de Serviço*. Por outro lado, valores de Q^c na cauda esquerda do primeiro histograma (s_3) estão associados aos casos onde λ_3 , associada ao atributo *Impactos Ambientais*, está próxima do limite superior simulado. Neste caso as preferências do decisor por menores impactos ambientais são relativamente mais influentes, reduzindo-se o tamanho do lote de forma a minimizar o número esperado de unidades descartadas no meio-ambiente.

Portanto, mostra-se importante a condução cuidadosa de procedimentos de elicitação de preferências de forma a obter resultados que reflitam consistentemente os julgamentos de valor e os *trade-offs* que o decisor realiza em seu processo de tomada de decisão. A análise posterior dos resultados obtidos é útil para aprofundar a reflexão do decisor sobre suas preferências, revisitando-se o processo de elicitação caso alguma correção seja apontada pelo decisor.

5 MODELO MULTIATRIBUTO DE SPP PARA UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS CENTRALIZADA

Para empresas operando em um contexto de independência, desprovidas de coordenação com outros agentes em sua cadeia de suprimentos, um modelo de decisão multiatributo para o *Single Period Problem* foi apresentado no Capítulo 4. Neste capítulo, com base no modelo de SPP previamente apresentado, é desenvolvido um modelo multiatributo de decisão em grupo para seleção de um lote de produção/pedido em uma CS centralizada de dois estágios. Diferentemente dos demais trabalhos envolvendo gestão centralizada de estoques em cadeias de suprimento do tipo SPP (vide, por exemplo, Weng, 2004; Li & Liu, 2008; e Zhou & Wang, 2009), o modelo ora proposto explora julgamentos de preferências sobre múltiplos atributos que podem ser considerados nesta gestão, aqui representada pela decisão de quanto produzir e revender na cadeia. Com base em uma modelagem de decisão em grupo (Keeney & Kirkwood, 1975) alinhada aos conceitos de Teoria da Utilidade e MAUT (Keeney & Raiffa, 1976), este segundo modelo permite a agregação de preferências e de atitudes em relação ao risco de diferentes agentes de decisão representando cada estágio da cadeia de suprimentos.

5.1 Descrição do Modelo

Semelhantemente à estrutura de estágios amplamente utilizada pelos modelos de coordenação de cadeias de suprimentos do tipo *newsvendor* (vide seção 3.3), seja uma CS de dois estágios, em série, formada por um produtor/fornecedor e por um revendedor/varejista. A cadeia é verticalmente integrada, pertencendo tanto o estágio fornecedor como o estágio revendedor a uma mesma corporação ou *holding*, que estabelece as diretrizes estratégicas e está interessada na maximização dos resultados da cadeia. Como no modelo anterior, o revendedor/varejista, do tipo *newsvendor*, negocia um produto com um curto ciclo de vida durante uma temporada de vendas, produto este fabricado e transferido pelo estágio fornecedor antes do período de vendas iniciar.

Nesta estrutura de cadeia centralizada, as seguintes hipóteses presentes no modelo de empresa independente (Capítulo 4) são mantidas:

- O revendedor/varejista se depara com uma demanda estocástica, cuja incerteza é modelada por uma variável aleatória X , com função densidade de probabilidade $f(x)$ conhecida;

- O revendedor opera em um ambiente competitivo onde o preço de venda p é constante e estabelecido pelo equilíbrio das forças de mercado;
- Todo o lote transferido do fornecedor para o revendedor é recebido ao mesmo tempo, imediatamente antes do início da temporada de vendas (Weng & McClurg, 2003; San José *et al.*, 2006; Keren & Pliskin, 2006).
- Caso haja um saldo de produtos não vendidos ao final da temporada de vendas, estes incorrem em um custo unitário de disposição h_{CS} , que aqui representam os custos de recolhimento e destinação final dos itens não vendidos.
- Em um cenário de insuficiência de estoques, a cadeia se depara com um processo de retenção parcial de demanda, e a fração da demanda disposta a aguardar por um ressuprimento emergencial é descrita por uma função exponencial negativa do tamanho do *stock-out* (equação 4.3).
- Não são consideradas incertezas no *lead-time* de um processo de ressuprimento emergencial, de forma que o tempo de ressuprimento permanece sendo calculado por meio de $\tau_i = k_i \kappa(x - Q)$, (equação 4.2).

Semelhantemente a trabalhos como Weng & McClurg (2003), Hsieh *et al.* (2008) e Zhou & Wang (2009), as seguintes premissas serão adicionalmente assumidas:

- Não são consideradas restrições de tamanho de lote no produtor/fornecedor, de forma que qualquer tamanho de lote Q pode ser previamente produzido e transferido para o revendedor antes da temporada de vendas;
- Não há acúmulo de estoques no fornecedor. Tudo o que é produzido é transferido para armazenamento e comercialização no estágio à jusante.
- Adicionalmente, não será considerado no modelo o tempo de fabricação do lote inicial do produto. Assumindo-se que toda a batelada inicialmente produzida é transferida para o estágio revendedor/varejista imediatamente antes do período de vendas, os tempos de produção e transferência do lote Q não gerarão atrasos na disponibilidade inicial de estoques.
- Cada um dos dois estágios possui informação completa sobre a estrutura de custos do outro estágio, e conseqüentemente da cadeia de suprimentos como um todo. Também é de conhecimento mútuo a distribuição $f(x)$ de probabilidade da demanda.

- Não serão considerados os preços exercidos entre fornecedor e revendedor (preços de transferência), de forma que as preferências serão avaliadas considerando o lucro sistêmico. Este será o objeto de interesse da corporação, ficando de fora análises referentes à partilha do lucro entre os estágios da CS.

Os agentes de decisão da cadeia devem determinar o lote a ser produzido pelo fornecedor e transferido para o revendedor, que corresponde ao estoque inicial para atendimento da demanda. Após o estabelecimento do tamanho do lote Q , o fornecedor aciona a produção da quantidade planejada a um custo unitário $c < w$ custo este que abrange implicitamente os custos de produção e transferência entre estágios. Por questões de simplificação, seguindo a hipótese trabalhada por diversas publicações neste tema, os custos de *setup* no fornecedor são ignorados (Pasternack, 1985; Padmanabhan & Png, 1997; Cachon & Lariviere, 2005; Wang & Webster, 2007; Hsieh *et al.*, 2008).

Caso haja a ocorrência de um cenário de super-estocagem ($Q > x$), considerar-se-á que os produtos remanescentes em estoque não podem ser armazenados para um período posterior, precisando assim ser recolhidos e descartados. No caso de negócios envolvendo hardwares de TI, por exemplo, Wu & Pagell (2011) apontam que o crescimento destes negócios necessariamente aumenta o fluxo de produtos descartados para aterros sanitários, o que incentiva o enrijecimento da legislação e aumenta risco de danos à reputação das empresas. Segundo estudo de caso realizado por estes autores, empresas de referência nesta área estão se esforçando para criar cadeias de suprimento de circuito fechado (*closed loop supply chains*), a fim de promover o retorno e a reutilização de materiais, o que contribui positivamente para a sustentabilidade ambiental do negócio (Wu & Pagell, 2011).

Nesta linha de raciocínio, este modelo assume que, por determinações corporativas, a cadeia de suprimentos empreende esforços no sentido de operar em um ciclo parcialmente fechado: os produtos não vendidos são recolhidos pelo estágio fornecedor, que reaproveita parte da composição material dos itens para processos produtivos posteriores, e fica responsabilizado pela eliminação dos resíduos que não podem ser reutilizados. Este processo permite reduzir em uma porcentagem Φ o volume de material a ser descartado, gerando um valor residual v' que ameniza os impactos financeiros do custo de recolhimento e disposição final de estoques, h_{CS} . O custo h_{CS} é assumido como maior que h em virtude dos processos adicionais envolvendo coleta, transporte, reaproveitamento e descarte realizados pelo fornecedor em comparação ao primeiro modelo apresentado no Capítulo 4.

Os esquemas de ressuprimento emergencial s_i , bem como os parâmetros k_i associados, não são mais levantados pelo revendedor junto a fornecedores externos, mas estabelecidos conjuntamente entre o estágio revendedor e o estágio fornecedor da cadeia de suprimentos. As alternativas são configuradas em função das possíveis combinações de recursos como rodadas adicionais de produção, serviços de transporte especiais, horas extras, subcontratação e outros dispositivos que as empresas na CS venham a dispor.

Antes da temporada de vendas iniciar, o problema de decisão envolve a seleção de um tamanho de lote de produção Q , a ser transferido para o estágio revendedor, e uma opção de ressuprimento $s_i \in S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ de um conjunto finito de n esquemas emergenciais. Como apresentado na seção 3.1, cada esquema apresenta um coeficiente de tempo $k_i \in K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ e um custo unitário de *backorder* c'_i . Dentro de uma modelagem centralizada, os custos unitários c'_i para a cadeia de suprimentos são menores que os custos b_i do modelo anterior, uma vez que nos custos c'_i não estão embutidas as margens de lucro do estágio fornecedor. Tal como no modelo para uma empresa independente, as alternativas para uma cadeia de suprimentos centralizada do tipo *newsvendor* também correspondem aos vetores bidimensionais $[s_i; Q]$.

Em diversos casos, a tomada de decisão pode ser uma atribuição de um gerente ou grupo da sede da corporação, com autoridade para estabelecer a política de estoques $[s_i; Q]$ a ser implementada na CS e realizar um macro-planejamento operacional. Entretanto, embora a sede da corporação possa atuar na coordenação deste tipo de planejamento e na articulação dos estágios, este segundo modelo se insere em um contexto, conforme citado por Lee & Whang (1999), onde a *holding* delega para os estágios da cadeia a responsabilidade de atuar colaborativamente para a resolução deste problema de decisão.

Isto ocorre sob a motivação de que os estoques na CS podem ser gerenciados de forma mais eficiente se isto for feito de uma forma mais cooperativa e coordenada entre os elos da cadeia. Faz-se uso de experiência e informação especializada presentes localmente em cada estágio da cadeia, permitindo um maior grau de comprometimento dos elos fornecedor e revendedor com os objetivos sistêmicos, consequência da participação de cada estágio na elaboração da estratégia de estoques (Lee & Whang, 1999), aqui descrita pelo vetor $[s_i; Q]$.

Neste segundo modelo, tal como em outros modelos de gestão centralizada (Weng, 2004; Zhou & Wang, 2009), assume-se que os decisores de ambos os estágios da cadeia estão dispostos (ou institucionalmente encarregados) de submeter interesses e objetivos individuais em benefício dos interesses da corporação, focando os resultados da cadeia de suprimentos

como um todo. Com isso, os estágios da CS atuarão de forma cooperativa, através de seus respectivos decisores, na decisão conjunta sobre o volume a ser produzido e transferido do fornecedor para o revendedor, bem como sobre o plano de ressuprimento para atendimento da demanda em caso de um *stock-out*.

É fato que conflitos de interesses podem ocorrer entre fornecedor e revendedor, decorrentes de diferenças entre valores individuais, indicadores de desempenho, fiscalização, metas de custo e produtividade etc. Entretanto, este trabalho considera o caso em que estes conflitos não são intensos o suficiente para inviabilizar um processo de decisão em grupo e demandar um processo de *negociação*. Ademais, a presença de um supra-decisor (conforme mencionado na seção 2.5) representando os interesses corporativos permite que este atue como elo para dirimir conflitos, fomentar a discussão de possíveis soluções para o problema, e articular os encarregados de gerir cada estágio da cadeia de suprimentos.

5.1.1 Atributos de Avaliação e Decisão

Na Seção 4.1 foram apresentados três critérios ou dimensões para a modelagem multiatributo do SPP, discorrendo-se sobre as razões para uma abordagem que considere o atributo financeiro *Lucro* e os atributos não monetários *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Neste segundo modelo, em função das razões apresentadas, considera-se que os atributos apresentados no modelo anterior para uma empresa individual são também utilizados pela corporação para a cadeia de suprimentos como um todo. Dessa forma, deve-se selecionar para a cadeia fornecedor-revendedor uma alternativa $[s_i ; Q]$ que proporcione o melhor compromisso entre as conseqüências de *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Em função das mudanças de estrutura em relação ao modelo anterior, decorrentes da agregação de revendedor e fornecedor em cadeia, os atributos de avaliação das alternativas serão revisitados e as diferenças em relação ao modelo 4.1 serão apresentadas a seguir.

5.1.1.1 Lucro

Neste modelo de cadeia de suprimentos centralizada, para um dado esquema de ressuprimento emergencial s_i , o lucro da CS após o período de vendas pode ser representado através da equação 5.1:

$$\pi^{cs}(s_i; Q) = \begin{cases} (p-c)Q + (p-c'_i)\beta(x-Q) - l_{cs}(1-\beta)(x-Q) & \text{se } x > Q \\ px - cQ - (h_{cs} - v'\Phi)(Q-x) & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (5.1)$$

Onde l_{cs} corresponde ao custo financeiro de oportunidade de aplicação de lucros perdidos pela cadeia de suprimentos. Como ele está associado a uma maior margem de lucro unitário – pela diferença entre o preço de venda no varejo e o custo unitário de produção no estágio fornecedor, o parâmetro l_{cs} é tido como maior que o custo de oportunidade do estágio revendedor, l .

5.1.1.2 Nível de Serviço

Assim como no modelo anterior, este modelo de decisão em grupo para uma CS centralizada também considera que as conseqüências do nível de serviço são mensuradas pela razão das vendas perdidas sobre a demanda total x observada. $VP^C(s_i; Q)$ representa a fração do mercado da CS que não foi satisfeita, impactando a boa-vontade e fidelização dos clientes, a depender das características do produto e do perfil do mercado.

$$VP^{CS}(s_i; Q) = \begin{cases} \frac{(1 - e^{-\alpha k_i x(x-Q)}) (x-Q)}{x} & \text{se } x > Q \\ 0 & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (5.2)$$

Neste modelo, onde a cadeia de suprimentos possui um fornecedor cuja produção é voltada para o suprimento do estágio revendedor/varejista, considera-se que os impactos de nível de serviço sobre a competitividade do revendedor se refletem diretamente sobre o fornecedor e sobre a cadeia como um todo. Nesse sentido, a estimação de conseqüências de *Nível de Serviço*, representada pela equação 4.8, é avaliada considerando seus impactos não apenas sobre o estágio revendedor, em contato direto com o mercado, mas sobre toda a cadeia de suprimentos:

5.1.1.3 Impactos Ambientais

O modelo de *SPP* para decisão em grupo em uma CS centralizada, tal como o modelo para uma empresa independente, agrega ao processo de decisão as preocupações ambientais que envolvem a cadeia de suprimentos com respeito aos impactos da disposição final de produtos não vendidos. No sentido de implementar um circuito parcialmente fechado em sua cadeia de suprimentos, assume-se que corporação estabelece para a empresa produtora a responsabilidade de recolhimento dos estoques residuais no estágio revendedor. Assume-se também que, após a coleta destes itens, uma proporção Φ dos materiais presentes nas $(Q-x)$ unidades não vendidas consegue ser reaproveitada, reduzindo assim os riscos de impactos ambientais associados ao descarte de resíduos sólidos.

Como no modelo anterior, os impactos ambientais são representados por uma variável aleatória dependente do volume de materiais descartados em aterros sanitários. São mantidas as premissas envolvendo este atributo.

Agregando à equação 4.9 a redução no descarte de resíduos, decorrente dos esforços de reaproveitamento de materiais (tais como metais pesados, plásticos etc.) empreendidos pelo fornecedor, as conseqüências neste atributo podem ser representadas de acordo com a equação 5.3:

$$IA^{CS}(Q) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \geq Q \\ Y \in [0, (1 - \Phi)\delta_d(Q - X)] & \text{se } x < Q \end{cases} \quad (5.3)$$

A função densidade de probabilidade de Y , $j(y|Q,x)$, mantém a mesma forma que no modelo anterior, assumindo valores aleatoriamente em um intervalo mais restrito, entre 0 e $(1 - \Phi)\delta_d(Q-x)$, que é o volume total de material nocivo descartado após esforços de reaproveitamento do fornecedor.

Neste modelo de cadeia centralizada, a avaliação da natureza do parâmetro δ_d e dos riscos ambientais para diferentes opções de Q deve envolver não apenas o estágio fornecedor da CS, responsável pelo descarte de resíduos. Uma vez que problemas ambientais impactam a sustentabilidade do negócio como um todo, e que o processo decisório de quanto produzir/vender tem a participação de decisores de cada estágio da cadeia, é recomendável que a mensuração e avaliação dos possíveis impactos ambientais sejam realizadas por uma equipe multidisciplinar da CS. É adequado que sejam envolvidos especialistas de áreas como Desenvolvimento de Produto da *holding*, Gestão Ambiental do estágio fornecedor, Relacionamento com o Público Externo do revendedor e outras áreas institucionais específicas que estejam relacionadas.

5.1.2 Modelagem da decisão em grupo para resolução do problema

Para resolução do *SPP* na cadeia de suprimentos de dois estágios, considerando a abordagem multiatributo proposta, deve-se selecionar uma alternativa $[s_i; Q]$ que proporcione o melhor compromisso entre as conseqüências incertas de *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais* para o conjunto fornecedor-revendedor.

Com este propósito, e tendo em vista o contexto colaborativo de uma cadeia integrada em que possíveis conflitos de interesse não são suficientemente intensos para requerer um processo de negociação, este trabalho realiza uma modelagem da decisão em grupo fundamentada nos conceitos de Teoria da Utilidade e MAUT (Keeney & Raiffa, 1976).

Segue-se uma abordagem Bayesiana de grupo conforme apresentado por Raiffa (1970) e Keeney & Kirkwood (1975) e resumida na seção 2.5. Esta abordagem permite manter a racionalidade utilizada no modelo anterior (Capítulo 4) nos processos de tomada de decisão individuais, desenvolvidos sobre a base axiomática de MAUT. Adicionalmente, esta abordagem mostra-se adequada para o caso de problemas onde as variáveis são modeladas de forma contínua – tal como o lote de produção Q nos vetores de opções $[s_i; Q]$ – evitando com isso que o número de alternativas fique proibitivamente elevado com a discretização do tamanho do lote, ou que se faça necessária a imposição de hipóteses adicionais acerca da capacidade produtiva ou acerca do tamanho das bateladas de produção do elo fornecedor.

Considerando que é atendida a condição de que os decisores dos estágios fornecedor e revendedor formam um conjunto que atende à posição Bayesiana de grupo (seção 2.5), tal como descrita por Raiffa (1970) e Keeney & Kirkwood (1975), a solução recomendada para o problema de decisão em grupo da CS é a alternativa $[s_i; Q]$ que maximiza a expressão 5.4:

$$\underset{s_i, Q}{Max} E[W^{CS}(s_i, Q)] = E\{W^{CS}[\pi^{CS}(s_i, Q), NS^{CS}(s_i, Q), IA^{CS}(s_i, Q)]\} \quad (5.4)$$

Onde E denota o valor esperado, W^{CS} é a função de bem-estar ou função utilidade do grupo fornecedor-revendedor, e o vetor multidimensional de conseqüências \hat{c} é aqui representado pelos seus atributos *Lucro* (π^{CS}), *Nível de Serviço* (NS^{CS}) e *Impactos Ambientais* (IA^{CS}).

Considerando a existência de dois decisores, cada um representando um dos estágios da cadeia de suprimentos, e de um supra-decisor corporativo para coordenar o processo decisório e agregar os julgamentos de preferência de fornecedor e revendedor, obtém-se pela equação 2.11 a seguinte forma para a função W^{CS} em 5.4:

$$W^{CS}(\hat{c}) = \gamma^F U^F(\hat{c}) + \gamma^R U^R(\hat{c}) + \gamma^{FR} U^F(\hat{c}) U^R(\hat{c}) \quad (5.5)$$

Onde U^F é a função utilidade multiatributo do fornecedor, U^R a função utilidade multiatributo do revendedor e os parâmetros γ^F , γ^R e γ^{FR} são constantes de escala atribuída pelo supra-decisor da *holding*, conforme detalhado adiante, com a condição de que $\gamma^F + \gamma^R + \gamma^{FR} = 1$. Segundo Keeney & Kirkwood (1975), uma vez que a constante γ^{FR} é positiva, introduz-se à modelagem da utilidade de grupo uma preocupação pela equidade da distribuição de utilidades das conseqüências entre os membros do grupo, neste caso, entre os decisores dos estágios da cadeia de suprimentos.

Substituindo a equação 5.5 em 5.4 tem-se a seguinte expressão genérica para a escolha de $[s_i; Q]$ pela cadeia de suprimentos:

$$\text{Max}_{s_i, Q} E[W^{CS}(\hat{c})] = E\{\gamma^F U^F(\hat{c}) + \gamma^R U^R(\hat{c}) + \gamma^{FR} U^F(\hat{c}) U^R(\hat{c})\} \quad (5.6)$$

Semelhante ao modelo de decisão em 4.1, considerando que as preferências do decisor de cada estágio apresentam a propriedade de independência aditiva, a função utilidade multiatributo de cada um pode ser obtida baseando-se em suas funções utilidade unidimensionais, conforme expressões 5.7 e 5.8

$$U^F(s_i; Q) = U^F(s_i; Q) = \lambda_1^F \cdot u_\pi^F(s_i; Q) + \lambda_2^F \cdot u_{NS}^F(s_i; Q) + \lambda_3^F \cdot u_{IA}^F(s_i; Q) \quad (5.7)$$

$$U^R(s_i; Q) = U^R(s_i; Q) = \lambda_1^R \cdot u_\pi^R(s_i; Q) + \lambda_2^R \cdot u_{NS}^R(s_i; Q) + \lambda_3^R \cdot u_{IA}^R(s_i; Q) \quad (5.8)$$

Onde os índices F e R denotam os estágios produtor/fornecedor e revendedor/varejista, respectivamente; e os coeficientes λ representam as constantes de escala, elicitadas junto a cada decisor e relacionadas à funções utilidade u em cada atributo de decisão do modelo.

Conforme demonstração presente no Anexo I deste trabalho, substituindo-se as expressões 5.7 e 5.8 em 5.6, e aplicando as propriedades estatísticas do valor esperado, tem-se a seguinte expressão para a solução do SPP envolvendo a cadeia de suprimentos centralizada:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{s_i, Q} E[W^{CS}(c)] = & \gamma^F \{ \lambda_1^F E[u_\pi^F(s_i; Q)] + \lambda_2^F E[u_{NS}^F(s_i; Q)] + \lambda_3^F E[u_{IA}^F(s_i; Q)] \} \\ & + \gamma^R \{ \lambda_1^R E[u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \\ & + \gamma^{FR} \lambda_1^F \{ \lambda_1^R E[u_\pi^F(s_i; Q) u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_\pi^F(s_i; Q) u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_\pi^F(s_i; Q) u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \\ & + \gamma^{FR} \lambda_2^F \{ \lambda_1^R E[u_{NS}^F(s_i; Q) u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_{NS}^F(s_i; Q) u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_{NS}^F(s_i; Q) u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \\ & + \gamma^{FR} \lambda_3^F \{ \lambda_1^R E[u_{IA}^F(s_i; Q) u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_{IA}^F(s_i; Q) u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_{IA}^F(s_i; Q) u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Portanto, a solução do problema envolve a seleção, pelo grupo de decisores da cadeia de suprimentos juntamente com o supra-decisor, de um valor para o vetor $[s_i; Q]$ que maximize o valor esperado da função utilidade de grupo representada em 5.9.

5.1.2.1 Avaliação individual das conseqüências

Como pode ser observado, a presença das funções utilidade multiatributo individuais U^F e U^R em 5.6 indica que as conseqüências do vetor $\hat{c} = [\pi^{CS}, VP^{CS}, IA^{CS}]$ devem ser avaliadas, inicialmente, pelos decisores representando cada estágio da cadeia. Primeiramente, são elicitadas suas funções utilidade multiatributo individuais, para que em seguida suas preferências e atitude em relação ao risco sejam combinadas em uma função de grupo que permita a obtenção de uma solução de compromisso para toda a cadeia de suprimentos.

A avaliação das conseqüências associadas às alternativas $[s_i; Q]$ por cada estágio da CS permite incorporar ao processo decisório os pontos de vista e as preferências individuais dos estágios fornecedor e revendedor, representados cada um por seu agente de decisão. Por meio da aplicação de Teoria da Utilidade e de MAUT para a construção de funções utilidade sobre as conseqüências, incorporam-se também as diferentes atitudes em relação ao risco que os estágios da cadeia de suprimentos podem apresentar diante das incertezas.

Para o caso de preferências com a propriedade de independência aditiva (Keeney & Raiffa, 1976), a função utilidade multiatributo de um decisor pode ser obtida com base em suas funções utilidade unidimensionais. Por meio da técnica de levantamento da função utilidade (Almeida, 2011), podem ser traçadas as funções utilidade monoatributo que representem satisfatoriamente as preferências de cada decisor. Com isso, a utilidade esperada de cada par $[s_i; Q]$ nos atributos *Lucro, Nível de Serviço e Impactos Ambientais* pode assim ser calculada, respectivamente:

$$E[u_{\pi}^D(s_i; Q)] = \begin{cases} \int_0^Q u_{\pi}^D [(h_{CS} - v' \phi + p)x - (c + h_{CS} - v' \phi)Q] f(x) dx \\ 0 \\ + \int_Q^{\infty} u_{\pi}^D \{ (p - c)Q + (p - c'_i) \beta (x - Q) - l_{CS} (1 - \beta)(x - Q) \} f(x) dx \end{cases} \quad (5.10)$$

$$E[u_{NS}^D(s_i; Q)] = \int_0^Q u_{NS}^D(0) f(x) dx + \int_Q^{\infty} u_{NS}^D \left[\frac{(1 - \beta)(x - Q)}{x} \right] f(x) dx \quad (5.11)$$

$$E[u_{IA}^D(s_i; Q)] = \int_0^Q \int_0^{\Omega} u_{IA}^D(y) j(y | Q, x) f(x) dy dx + \int_Q^{\infty} u_{IA}^D(0) f(x) dx \quad (5.12)$$

Onde $D = F, R$ denota o estágio da CS cujo decisor teve a função utilidade elicitada, $\beta = e^{-\alpha_k \kappa(x-Q)}$ é a taxa de retenção da demanda e $\Omega = (1 - \Phi) \delta_d(Q - x)$.

5.1.2.2 Avaliação das constantes de escala γ e agregação das preferências individuais

De posse das funções utilidade dos decisores representando os dois estágios da cadeia de suprimentos, elicitadas sobre os três atributos do modelo, realiza-se então a agregação das preferências individuais para a construção de uma função utilidade de grupo conforme apresentado na equação 5.5 e detalhado na equação 5.9. Neste ponto, é de grande importância a presença de um supra-decisor corporativo com autoridade para agregar os decisores de cada estágio, refletir sobre seus pontos de vista, e estabelecer *trade-offs* entre os valores das utilidades expressas por cada estágio da cadeia, refletindo os juízos de valor da corporação.

Com base na hipótese Bayesiana de grupo, busca-se com isso a construção de uma função de “bem-estar” ou utilidade coletiva (Keeney & Kirkwood, 1975), a fim de que se possa obter uma solução de compromisso não apenas entre os atributos de avaliação das conseqüências, mas também entre os estágios da cadeia de suprimentos.

Para a agregação das preferências individuais, as constantes de escala γ^F , γ^R e γ^{FR} podem ser obtidas por meio de protocolos de elicitação semelhantes aos aplicados em Teoria da Utilidade Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977). Nestes, o supra-decisor é convidado a responder questões expressando *trade-offs* entre a utilidade para o estágio fornecedor e a utilidade para o estágio revendedor, realizando assim um trabalho de comparação interpessoal (ou inter-estágio) de medidas de utilidade representando diferentes preferências na cadeia de suprimentos.

De posse das constantes de escala γ , e das funções utilidade individuais em 5.10 a 5.12, os representantes da CS obtêm, para cada opção de ressuprimento emergencial s_i , o valor de Q que maximiza o valor esperado de W^{CS} , cuja equação está detalhada no Anexo I. Feito isto, a recomendação de solução para o SPP nesta cadeia centralizada é o vetor $[s_i, Q^c]$ que proporcione a maior utilidade esperada para a cadeia de suprimentos.

5.2 Aplicação do Modelo com Funções Utilidade Similares

Com base no exemplo desenvolvido no modelo anterior, uma aplicação numérica é apresentada a seguir para ilustrar a utilização do modelo multiatributo de SPP para uma CS centralizada. Nesta aplicação, será trabalhado um exemplo onde os decisores, representado cada estágio da cadeia de suprimentos, apresentam percepções e valores semelhantes quanto aos aspectos ambientais, ao atendimento do mercado, e aos resultados financeiros, o que será simulado por meio de funções utilidade similares.

Considere-se que a empresa do modelo anterior (seção 4.2) está inserida em um outro contexto, no qual opera em uma cadeia de suprimentos também composta por uma empresa fornecedora, que realiza a fabricação e o fornecimento de seu produto. A CS opera em um sistema centralizado, dirigido por uma *holding* que estabeleceu um “braço” tanto no *upstream* como no *downstream* da cadeia, com o objetivo de reduzir custos, aumentar a margem do negócio, incrementar a flexibilidade de suas operações, e obter maior alinhamento entre suprimento e demanda.

Como afirmado anteriormente, a cadeia produz e comercializa um item de hardware que terá rápida obsolescência. O produto concorre com o oferecido por outros fornecedores no mercado, e pertence a uma família de produtos associada com a imagem da companhia.

A corporação adota uma política de cooperação exclusiva entre revendedor e fornecedor, de forma que a produção deste último é destinada para atendimento do estágio revendedor, canal de distribuição exclusivo do grupo. O fornecedor opera de forma “puxada”, sem acúmulo de estoques, acionando sua batelada de produção após definição da quantidade a ser produzida e comercializada pelo sistema. Não há restrições quanto ao tamanho do pedido ao fornecedor, que realiza a fabricação do lote programado e o transfere para o estágio revendedor imediatamente antes do início das vendas.

Semelhantemente ao modelo anterior, a área de previsão de vendas da corporação estima que a demanda tenha uma distribuição $N(250.000; 70.000)$, sendo $\alpha = 2,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ o parâmetro calculado para a função de *backlogging*. Tal como no exemplo do modelo anterior, o coeficiente κ do tempo de ressuprimento permanece sendo de 20s/unid.

Os custos de fabricação pelo estágio fornecedor são calculados em $c = \$100/\text{unidade}$. Considerando a margem compreendida entre o preço de revenda, no varejo, e os custos de produção, a cadeia trabalha com um custo financeiro de oportunidade no valor unitário de $l_{CS} = \$135$. Caso permaneçam produtos em estoque após o período de vendas, os itens remanescentes são transportados de volta para as instalações do fornecedor, que através de processos de reaproveitamento, consegue recuperar cerca de 40% dos metais pesados e demais materiais presentes nos produtos, obtendo um valor recuperado médio de $v' = \$80$ por unidade. A destinação final de todo o material não recuperado é um aterro sanitário. Os custos com recolhimento de produtos não vendidos e retorno ao fornecedor são de $h_{CS} = \$75$ por unidade.

Com o propósito de estabelecer um plano de ação para oferecer resposta ao mercado em um cenário de *stock-out*, o revendedor e o fornecedor analisam as configurações de produção e transporte disponíveis, obtendo 7 opções de ressuprimento emergenciais. Para cada uma destas opções, são levantados os custos unitários c'_i para sua implementação. Estes custos, acrescidos de uma margem aproximada de 35%, formam os preços de transferência b_i utilizados em indicadores de contribuição individual à margem de lucro da cadeia de suprimentos. Entretanto, visando focar no ganho de margem e nas sinergias financeiras associadas à integração da cadeia de suprimentos, a diretriz da corporação é concentrar a avaliação do atributo financeiro sobre o lucro sistêmico, de forma que os preços internos de transferência não são utilizados para esta análise.

Os esquemas de ressuprimento estão representados pelo conjunto de alternativas, constantes k_i e custos de *backorder* c'_i associados, presentes na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Esquemas de ressuprimento emergencial levantados na cadeia de suprimentos
Fonte: O autor

0.	Opção	k_i	c'_i
1.	s_1	0,95	126
2.	s_2	0,75	148
3.	s_3	0,65	170
4.	s_4	0,5	215
5.	s_5	0,4	259
6.	s_6	0,3	315
7.	s_7	0,25	370

Sob uma abordagem de gestão integrada, busca-se estabelecer uma solução que proporcione, para a cadeia de suprimentos, o melhor compromisso entre os atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Representando o estágio fornecedor e o estágio revendedor da cadeia de suprimentos, respectivamente, o Superintendente de Produção da empresa fornecedora e o Superintendente de Operações do braço varejista são identificados como os decisores responsáveis por traduzir as perspectivas de cada estágio da CS, dispondo de autoridade para implementar a solução definida em seus respectivos ramos do negócio.

Estes decisores dispõem do apoio de suas equipes, compostas basicamente de especialistas e gerentes dos respectivos estágios da CS, de forma a discutir as vantagens e desvantagens de diferentes opções para $[s_i, Q]$. Para isso, são avaliados o comportamento do mercado, a natureza das conseqüências, a importância dos atributos de decisão, e os impactos das incertezas sobre a cadeia e sobre seu ramo do negócio. Estes aspectos são analisados a fim de que o decisor de cada estágio submeta à *holding* perspectivas e preferências representativas de seu estágio para a determinação de uma política $[s_i, Q_c]$ de estoques para a cadeia.

Coordenando as duas empresas da cadeia está o Diretor de Suprimentos da *holding*. Este último dispõe de autoridade para dirimir divergências, zelar pelo atendimento da política de responsabilidade social e ambiental corporativa, bem como dar a palavra final sobre a determinação da política de produção, estoques e ressuprimento a ser implementada. Tendo um papel referente a um supra-decisor, o Diretor procura orientar o processo decisório para uma forma colaborativa, buscando considerar as informações, a expertise e o contato mais próximo que os decisores e suas equipes têm com o problema e a sua operacionalização.

O processo decisório contou com o apoio de um consultor, que atuou como facilitador da interação, das discussões e do entendimento do problema. Tal como no caso do modelo anterior, foi importante a atuação deste consultor também como um analista de decisão, para condução do processo de aplicação do modelo e esclarecimento dos decisores quanto aos conceitos básicos de Teoria da Utilidade, MAUT e Análise da Decisão (Keeney & Kirkwood, 1975; Keeney & Raiffa, 1976; Berger, 1985; Almeida, 2011).

Após reuniões preliminares com o supra-decisor e com os representantes dos estágios da cadeia para detalhamento do modelo decisório a ser implementado, o analista de decisão se reúne novamente com cada decisor para proceder à elicitación das funções utilidade multiatributo: a do fornecedor, denotada por $U^F[\pi(s_i, Q), VP(s_i, Q), IA(s_i, Q)]$; a do revendedor/varejista, denotada por $U^R[\pi(s_i, Q), VP(s_i, Q), IA(s_i, Q)]$. Com isso, é possível incorporar as atitudes dos decisores quanto à incerteza nas conseqüências, bem como retratar os julgamentos de valor de cada estágio da cadeia sobre as opções para o lote Q e esquema de ressuprimento s_i , considerando as perspectivas nos atributos de decisão.

Em procedimento realizado pelo analista, um protocolo de elicitación de função utilidade é submetido a cada decisor, tal como o descrito na aplicação do modelo anterior. O analista, neste exemplo, verifica que as preferências dos decisores apresentam a propriedade de independência aditiva (Keeney & Raiffa, 1976), de forma que as funções U^F e U^R podem ser obtidas a partir das funções utilidade para cada atributo.

Para o atributo *Lucro*, as seguintes curvas de regressão são obtidas com base nos valores de utilidade expressos pelos decisores dos estágios fornecedor e revendedor, respectivamente:

$$u_{\pi}^F(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-2 \times 10^{-7} [\pi(s_i, Q) - 1,6 \times 10^7]}} \quad (5.13)$$

$$u_{\pi}^R(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-2,5 \times 10^{-7} [\pi(s_i, Q) - 2 \times 10^7]}} \quad (5.14)$$

As funções 5.13 e 5.14, denominadas de curvas “S” em razão da aparência de seus gráficos, permitiram descrever um comportamento comum observado entre fornecedor e revendedor, comportamento este de propensão ao risco quando deparados com perdas, relativa neutralidade ao risco para ganhos monetários considerados de pequeno montante, e aversão ao risco sobre altos níveis de lucro. Observou-se, entretanto, que o fornecedor apresentava uma atitude de maior aversão ao risco que o revendedor, em face das despesas geradas neste estágio com a coleta, esforços de reaproveitamento, e disposição final dos produtos não vendidos.

Para o atributo *Nível de Serviço*, cuja métrica, tal como no modelo anterior, envolve a proporção das vendas perdidas, os valores de utilidade expressos pelos decisores dos estágios fornecedor/produtor e revendedor/varejista permitiram a construção das seguintes curvas de função utilidade:

$$u_{NS}^F(s_i; Q) = e^{-4 \cdot VP(s_i, Q)} \quad (5.15)$$

$$u_{NS}^R(s_i; Q) = e^{-9 \cdot VP(s_i, Q)} \quad (5.16)$$

Diferentemente do atributo anterior, comparando os dois perfis de preferências, é possível ao analista observar uma atitude de maior aversão aos riscos envolvendo nível de serviço por parte do revendedor. Uma razão para isso deve-se ao fato de ser este estágio o elo de contato com o consumidor final, contribuindo preponderantemente para a imagem da empresa junto ao cliente e concorrendo por este segmento de mercado com outros *players* no varejo.

Visando a garantia da sustentabilidade ambiental do negócio, a direção da cadeia de suprimentos também considera como objetivo a minimização dos riscos de impactos ambientais decorrentes da contaminação do solo com metais pesados oriundos de produtos descartados. A área de Design de Produto do estágio produtor fornece aos decisores um valor de 900g/unidade para o parâmetro δ_d , a quantidade de metais pesados em cada unidade de produto. Tal como no modelo anterior, a probabilidade $j(y|Q, x)$ de contaminação no solo com um volume y , dada uma massa $(1-\Phi) \cdot \delta_d (Q-x)$ kg de metais descartados, é modelada de acordo com uma distribuição exponencial com parâmetro $\eta = [0,15 \cdot (1-\Phi) \cdot \delta_d (Q-x)]^{-1}$.

De maneira semelhante às preferências sobre vendas perdidas, as preferências concernentes aos impactos ambientais apresentam um comportamento decrescente, onde conseqüências maiores se mostram muito mais indesejáveis que conseqüências menores. Após elicitação de alguns valores de utilidade para impactos ambientais, junto a cada decisor, as seguintes curvas são ajustadas para representação das preferências de fornecedor e revendedor, respectivamente:

$$u_{IA}^F(Q) = e^{-0,0005 \cdot IA(Q)} \quad (5.17)$$

$$u_{IA}^R(Q) = e^{-0,00024 \cdot IA(Q)} \quad (5.18)$$

Após elicitação das funções utilidade monoatributo de cada decisor, o analista segue um procedimento (Keeney, 1977) para obtenção das constantes de escala λ_1 , λ_2 e λ_3 . Após algumas análises de consistência com cada decisor, as seguintes triplas são obtidas para

fornecedor e revendedor, respectivamente: $\lambda^F_1=0,60$, $\lambda^F_2=0,18$ e $\lambda^F_3=0,22$; $\lambda^R_1=0,53$, $\lambda^R_2=0,32$ e $\lambda^R_3=0,15$.

De posse destas informações de preferências, o analista de decisão apresenta então ao supra-decisor da *holding*, para diversas combinações de conseqüências de lucro, nível de serviço e impactos ambientais, os valores de utilidade multiatributo de fornecedor e revendedor. Para elicitação dos coeficientes de escala γ^F , γ^R e γ^{FR} , é solicitado ao Diretor de Suprimentos que avalie e expresse *trade-offs* entre estes valores de utilidade expressos por cada estágio da cadeia, comparando as preferências de cada estágio e considerando também a importância relativa a ser dada aos seus diferentes pontos de vista. O analista salienta ao supra-decisor a importância de que estes julgamentos sejam estabelecidos sob a ótica dos interesses corporativos, tendo em mente o benefício coletivo da cadeia. Após estas orientações e da realização do processo de elicitação pelo analista, são obtidos os seguintes valores: $\gamma^F=0,4$; $\gamma^R=0,5$; e $\gamma^{FR}=0,1$.

Obtidos os valores dos coeficientes γ , das constantes de escala λ^F_i e λ^R_i ($i=1,2,3$), e das funções utilidade monoatributo para cada decisor, estes valores são aplicados à equação 5.5 para a obtenção da função utilidade de grupo, construída com base nas preferências de fornecedor, revendedor, e da corporação como um todo, representada pelo supra-decisor. Como resultado, associada a cada opção de ressuprimento emergencial s_i , uma solução de compromisso Q^c entre atributos e entre decisores é calculada de forma a maximizar a utilidade esperada do grupo (equação 5.5). A Tabela 5.2, apresentada pelo analista ao supra-decisor e aos decisores dos estágios, sumariza os resultados obtidos considerando a função utilidade de grupo para a CS, apresentando também o desempenho desta solução conjunta sob a ótica do fornecedor (índice F) e do revendedor (índice R).

Tabela 5.2 – Resultados do modelo multiatributo de SPP para a CS centralizada

Fonte: O autor

0.	Opção [$s_i; Q^c$]	$W^{CS}(Q^c)$	$U^F(Q^c)$	$U^R(Q^c)$
1.	[$s_1; 222.153$]	0,811	0,847	0,803
2.	[$s_2; 218.412$]	0,820	0,854	0,812
3.	[$s_3; 216.083$]	0,827	0,859	0,820
4.	[$s_4; 220.436$]	0,826	0,854	0,823
5.	[$s_5; 226.339$]	0,824	0,846	0,824
6.	[$s_6; 236.794$]	0,813	0,829	0,819
7.	[$s_7; 248.392$]	0,794	0,806	0,805

A partir da Tabela 5.2 observa-se que a solução de compromisso entre os estágios da cadeia de suprimentos, encontrada pelo supra decisor, é o vetor $[s_3; 216.083]$ (linha 3). Ou seja, um lote de produção $Q^c = 216.083$ e o esquema de ressuprimento emergencial s_3 em caso de um *stock-out*. Para fins de comparação, estão representados nas Tabelas 5.3 e 5.4 os resultados individualmente obtidos, para o fornecedor e o revendedor, considerando as preferências expressas separadamente por cada um no processo de elicitação conduzido pelo analista. Na última coluna de cada tabela está a utilidade, para o outro decisor, da solução obtida considerando as preferências do decisor em questão. Na Tabela 5.3, $U^R(Q^c_F)$ representa a utilidade, para o revendedor, da solução de compromisso individual do fornecedor. Por sua vez, na Tabela 5.4, $U^F(Q^c_R)$ corresponde à utilidade, para o fornecedor, da solução de compromisso individual do revendedor.

Tabela 5.3 – Resultados do modelo multiatributo de SPP para o fornecedor

Fonte: O autor

0.	Opção $[s_i; Q^c]$	$U^F(Q^c_F)$	$U^R(Q^c_F)$
1.	$[s_1; 203.854]$	0,854	0,786
2.	$[s_2; 200.192]$	0,861	0,795
3.	$[s_3; 198.438]$	0,866	0,803
4.	$[s_4; 205.001]$	0,860	0,808
5.	$[s_5; 212.871]$	0,851	0,811
6.	$[s_6; 225.301]$	0,833	0,808
7.	$[s_7; 238.227]$	0,809	0,796

Tabela 5.4 – Resultados do modelo multiatributo de SPP para o revendedor

Fonte: O autor

0.	Opção $[s_i; Q^c]$	$U^R(Q^c_R)$	$U^F(Q^c_R)$
1.	$[s_1; 236.393]$	0,807	0,834
2.	$[s_2; 232.159]$	0,815	0,842
3.	$[s_3; 228.929]$	0,823	0,848
4.	$[s_4; 231.092]$	0,825	0,845
5.	$[s_5; 235.148]$	0,826	0,838
6.	$[s_6; 244.113]$	0,820	0,823
7.	$[s_7; 255.112]$	0,807	0,801

Uma leitura das Tabelas 5.2 a 5.4 permite observar que, associada a cada esquema de ressuprimento s_i , a solução para Q^c obtida pelo modelo de decisão em grupo proporcionou a cada estágio da cadeia um valor de utilidade maior que o obtido se fossem considerados apenas os interesses (preferências) do outro estágio da CS. Por exemplo, para o esquema de

ressuprimento s_2 , a solução $Q^c = 218.412$ (Tabela 5.2, linha 2) obtida pelo modelo de decisão em grupo tem uma utilidade $U^F = 0,861$ para o fornecedor. Se fosse selecionado o lote de produção recomendado para s_2 segundo as preferências do revendedor (Tabela 5.4, linha 2), a utilidade para o fornecedor seria de 0,842, ou seja, menor. Por sua vez, a solução $Q^c = 218.412$ obtida pelo modelo de decisão em grupo para s_2 (Tabela 5.2, linha 2) tem uma utilidade $U^R = 0,812$ para o revendedor. Entretanto, se fosse selecionado o lote de produção para s_2 segundo apenas o fornecedor (Tabela 5.3, linha 2), a utilidade para o revendedor seria de 0,795, menor que a obtida pela solução de compromisso do grupo. Resultados semelhantes podem ser percebidos para todos os outros esquemas de ressuprimento emergencial.

As soluções que maximizam as utilidades individuais são diferentes entre fornecedor [s_3 ; 198.438] (Tabela 5.3, linha 3), e revendedor [s_5 ; 235.148] (Tabela 5.4, linha 5), em função das diferentes estruturas de custo e de preferência em relação aos atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*, bem como em razão dos diferentes graus de aversão ao risco. Entretanto, dentro de uma abordagem de decisão em grupo, a solução [s_3 ; 216.083] (Tabela 5.2, linha 3) permite obter, para a *holding*, o melhor compromisso entre as perspectivas dos dois estágios da cadeia considerando os atributos de decisão deste modelo de SPP.

5.3 Aplicação do Modelo com Funções Utilidade Contraditórias

Para fins de comparação, será apresentada nesta seção outra aplicação deste modelo de decisão em grupo para uma CS centralizada, desta feita em um contexto onde os decisores apresentam funções utilidade distintas, com atitudes até contraditórias em relação ao risco. A narrativa do contexto da cadeia de suprimentos, dos seus parâmetros econômicos e das alternativas de decisão é a mesma da aplicação apresentada em 5.2, de forma que esta será omitida, procedendo-se à descrição das funções utilidade dos decisores e à apresentação dos resultados subsequentes.

Tal como no exemplo da seção 5.2, o analista submete a cada decisor um protocolo de elicitação de função utilidade, sendo verificado que suas preferências apresentam a propriedade de independência aditiva (Keeney & Raiffa, 1976). Com isso as funções U^F e U^R podem ser elicitadas a partir das funções utilidade para cada atributo.

Ao expressar suas preferências quanto aos resultados de lucro diante das incertezas na demanda, o decisor do estágio fornecedor demonstra uma atitude conservadora. Embora saiba de estimativas de que o lucro com o produto pode alcançar valores acima de \$50.000.000,00 o fornecedor acredita que a cadeia não deve ousar muito na produção e comercialização do

produto, mas procurar resultados financeiros “mais seguros” que lhe forneçam capital de giro para investir em melhorias de seus processos produtivos. Mostra-se averso ao risco para lucros acima de \$10.000.000,00, exibindo propensão ao risco apenas para resultados positivos abaixo deste montante, ou para prejuízos. Com base nos valores de utilidades expressos por este para alguns pontos, a seguinte função utilidade foi obtida:

$$u_{\pi}^F(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-3,5 \times 10^{-7} [\pi(s_i, Q) - 1 \times 10^7]}} \quad (5.19)$$

Por sua vez, o decisor responsável pela unidade revendedora demonstra uma perspectiva diferente da apresentada pelo fornecedor. Pelo contato com o mercado, o estágio revendedor acredita em resultados financeiros expressivos e entende que a coporação irá ultrapassar os resultados obtidos com outros produtos em temporadas anteriores. Após o decisor revendedor/varejista expressar suas preferências por algumas loterias envolvendo diferentes resultados de lucro sob incerteza, foram obtidos valores de utilidade sobre os quais foi ajustada a função em 5.20:

$$u_{\pi}^R(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-3 \times 10^{-7} [\pi(s_i, Q) - 2,1 \times 10^7]}} \quad (5.20)$$

As curvas de função utilidade para *Lucro* de fornecedor e revendedor estão representadas na Figura 5.1

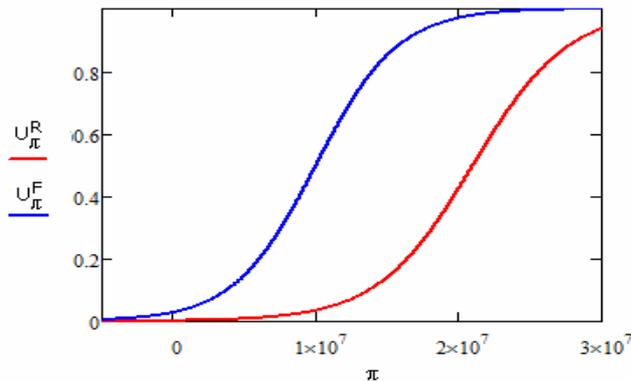


Figura 5.1 – Curvas de função utilidade para Lucro de fornecedor e revendedor

Conforme se pode notar, para o intervalo de lucro entre entre \$10.000.000.e \$21.000.000, o revendedor apresenta propensão ao risco, ao passo que o fornecedor demonstra aversão. Além disso, a “satisfação” do fornecedor quanto aos resultados financeiros cresce de forma mais rápida que as do revendedor, o que pode ser visto pela declividade mais íngreme de sua curva de utilidade.

Ao avaliar o atributo *Nível de Serviço*, o fornecedor apresenta uma atitude de neutralidade ao risco quando confrontado sobre os possíveis impactos de diferentes proporções de vendas perdidas. Não se mostra muito preocupado com a satisfação e fidelidade dos clientes em face de um stock-out, pois acha que o estágio revendedor tem habilidade de reconquistar os clientes em futuras temporadas de venda. A função utilidade obtida para o fornecedor está representada na expressão 5.21:

$$u_{NS}^F(s_i; Q) = 1 - VP(s_i, Q) \quad (5.21)$$

Por outro lado, o decisor da revenda informa que o seu estágio enxerga a satisfação da demanda dos clientes como um fator de suma importância para o negócio. Para ele, a cadeia deve procurar ao máximo atender aos pedidos do maior número de clientes, pois acredita que consumidores não atendidos podem facilmente migrar para a concorrência, o que testemunhou em algumas experiências anteriores. Diferentemente do fornecedor, as preferências do revendedor apresentam uma característica de aversão ao risco, para as quais foi elicitada a seguinte função utilidade:

$$u_{NS}^R(s_i; Q) = e^{-9,5VP(s_i, Q)} \quad (5.22)$$

A fim de ilustrar estas diferentes perspectivas quanto ao atendimento do mercado, refletidas em diferentes atitudes em relação ao risco, as funções utilidade de fornecedor e revendedor para *Nível de Serviço* estão representadas no gráfico da Figura 5.2.

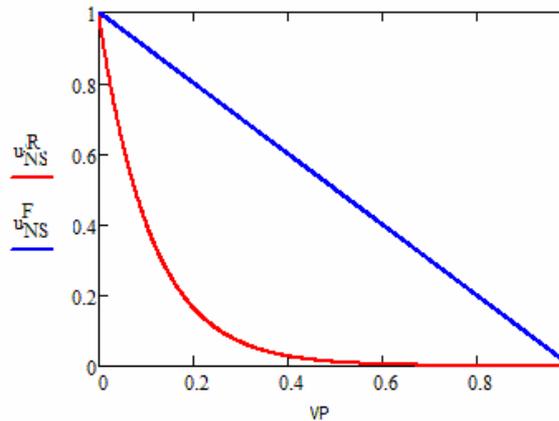


Figura 5.2 – Curvas de função utilidade para *Nível de Serviço* de fornecedor e revendedor

Em comparação ao atributo *Nível de Serviço*, a elicitación realizada pelo analista, das preferências de fornecedor e revendedor quanto aos *Impactos Ambientais* do negócio, resulta em um resultado de certa forma oposto. O fornecedor, neutro ao risco para o atributo *Nível de Serviço*, retrata uma atitude de aversão ao risco quanto aos aspectos ambientais. Para ele,

mesmo empreendendo esforços de reaproveitamento e reprocessamento de materiais de produtos não vendidos, o processo de descarte de resíduos em aterros não é de alta confiabilidade. A unidade produtora manuseia metais pesados como componentes em seu processo fabril e não despreza os riscos de vazamentos destes elementos nos resíduos descartados, o que pode levar à contaminação de recursos naturais e a complicações da empresa junto às autoridades ambientais. Ao ser submetido pelo analista a um protocolo de elicitação de sua função utilidade neste atributo, é obtida pelo fornecedor a seguinte função utilidade:

$$u_{IA}^F(Q) = e^{-0,0003 \cdot IA(Q)} \quad (5.23)$$

O decisor do estágio revendedor, por sua vez, apresenta uma atitude de propensão ao risco. Para o revendedor, o reaproveitamento ou descarte de materiais é *expertise* e incubência do fornecedor. O estágio revendedor entende que o processo de reaproveitamento de materiais é satisfatório o suficiente para reduzir as chances de impactos ambientais, e estes, se ocorrerem, precisam ser compartilhados com outras empresas que realizam descarte de materiais no aterro sanitário. A seguinte função utilidade para *Impactos Ambientais* foi elicitada para o revendedor (expressão 5.24):

$$u_{IA}^R(Q) = 1 - \frac{1}{1 + e^{-1 \times 10^{-3} [IA(Q) - 5000]}} \quad (5.24)$$

As diferentes atitudes em relação ao risco ambiental demonstradas pelos dois estágios da cadeia de suprimentos estão representadas na Figura 5.3:

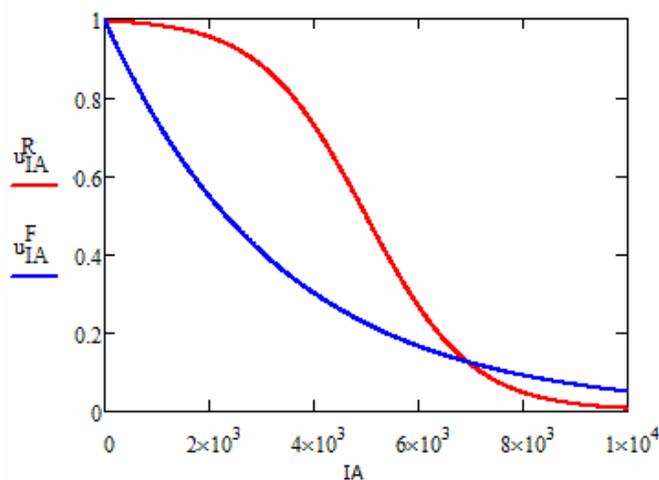


Figura 5.3 – Curvas de função utilidade para Impactos Ambientais de fornecedor e revendedor

Obtidas as funções utilidade monoatributo de cada decisor, o analista procede à elicitação das constantes de escala para as utilidades multiatributo, sendo obtidos os seguintes valores para o fornecedor (F) e revendedor (R): $\lambda^F_1=0,65$, $\lambda^F_2=0,10$ e $\lambda^F_3=0,25$; $\lambda^R_1=0,55$, $\lambda^R_2=0,35$ e $\lambda^R_3=0,10$. Por sua vez, junto ao supra-decisor da *holding*, são posteriormente obtidos os seguintes valores dos coeficientes de escala para a função utilidade de grupo: $\gamma^F=0,4$; $\gamma^R=0,5$; e $\gamma^{FR}=0,1$.

Aplicando-se estes resultados à equação 5.5 de forma semelhante ao caso da seção 5.2, uma opção de ressurgimento emergencial s_i e um lote inicial Q^c são calculados, como solução de compromisso entre atributos e entre decisores, de forma a maximizar a utilidade esperada do grupo. Na Tabela 5.5 são exibidos os resultados obtidos considerando a função utilidade de grupo para a CS, bem como as utilidades que as soluções geradas para a cadeia tiveram para os decisores dos dois estágios da cadeia de suprimentos:

Tabela 5.5 - Resultados da segunda aplicação do modelo multiatributo para a CS centralizada

Fonte: O autor

0.	Opção [$s_i; Q^c$]	$W^{CS}(Q^c)$	$U^F(Q^c)$	$U^R(Q^c)$
1.	[$s_1; 218.302$]	0,841	0,914	0,800
2.	[$s_2; 213.951$]	0,849	0,920	0,808
3.	[$s_3; 211.025$]	0,856	0,924	0,817
4.	[$s_4; 215.127$]	0,858	0,920	0,823
5.	[$s_5; 221.570$]	0,857	0,912	0,828
6.	[$s_6; 233.359$]	0,848	0,896	0,825
7.	[$s_7; 245.980$]	0,831	0,875	0,812

Comparando-se a Tabela 5.5 com a Tabela 5.2, percebe-se que a solução encontrada pelo supra decisor passa agora a ser o vetor [$s_4; 215.127$] (Tabela 5.5, linha 4), solução de compromisso frente aos discrepantes comportamentos em relação ao risco que os decisores da CS apresentaram entre si nos três objetivos do modelo. Dessa forma, torna-se recomendável para a cadeia um lote de produção inicial de $Q^c = 215.127$ e o esquema de ressurgimento emergencial s_4 caso ocorra uma quebra de estoques. Esse resultado será comentado mais detalhadamente na seção 5.5, de discussão de resultados.

Assim como na aplicação anterior, são exibidos nas tabelas 5.6 e 5.7 os resultados que seriam obtidos, respectivamente por fornecedor e revendedor, caso suas preferências fossem consideradas exclusivamente. Na Tabela 5.6, $U^R(Q^c_F)$ denota a utilidade, para o revendedor, da solução de compromisso individual do fornecedor. Analogamente, na Tabela 5.7, $U^F(Q^c_R)$

representa, para o fornecedor, a utilidade da solução de compromisso individual do revendedor.

Tabela 5.6 - Resultados da segunda aplicação do modelo para o fornecedor

Fonte: O autor

0.	Opção [$s_i; Q^c$]	$U^F(Q^c_F)$	$U^R(Q^c_F)$
1.	[$s_1; 174.308$]	0,943	0,700
2.	[$s_2; 168.059$]	0,948	0,700
3.	[$s_3; 164.414$]	0,952	0,699
4.	[$s_4; 172.591$]	0,947	0,701
5.	[$s_5; 183.250$]	0,939	0,710
6.	[$s_6; 200.925$]	0,921	0,731
7.	[$s_7; 219.295$]	0,895	0,748

Tabela 5.7 - Resultados da segunda aplicação do modelo para o revendedor

Fonte: O autor

0.	Opção [$s_i; Q^c$]	$U^R(Q^c_R)$	$U^F(Q^c_R)$
1.	[$s_1; 243.247$]	0,809	0,882
2.	[$s_2; 238.252$]	0,818	0,890
3.	[$s_3; 233.848$]	0,825	0,896
4.	[$s_4; 233.749$]	0,830	0,897
5.	[$s_5; 236.642$]	0,834	0,893
6.	[$s_6; 246.228$]	0,831	0,878
7.	[$s_7; 258.592$]	0,818	0,856

Tal como no exemplo apresentado para funções utilidade similares, os resultados das Tabelas 5.5 a 5.7 também demonstram que as soluções de grupo [$s_i; Q^c$], para o contexto de funções utilidades contraditórias, levam cada estágio da cadeia a um valor de utilidade maior que o obtido caso fossem implementadas as soluções preferidas individualmente pelo outro estágio da CS.

Nesta segunda aplicação do modelo de decisão em grupo, a solução que maximiza a utilidade multiatributo do fornecedor foi [$s_3; 164.414$] (Tabela 5.6, linha 3) e a do revendedor, [$s_5; 236.642$] (Tabela 5.7, linha 5). Observa-se que a melhor opção de ressuprimento s_i se manteve, para cada decisor, em relação à aplicação anterior (seção 5.2), embora uma mudança no *ranking* dos esquemas de contingência s_i seja percebida para o revendedor, onde o

esquema s_6 e seu lote inicial associado sobem de 4º para 2º lugar (Tabela 5.7, linha 6). Entretanto, o lote Q^c para os dois estágios caiu e subiu, respectivamente, em função das novas estruturas de preferência em cada atributo. A solução de grupo encontrada para a cadeia (Tabela 5.5, linha 4), recomendada ao supra-decisor ao levar em consideração os juízos de valor de cada estágio, tornou-se $[s_4; 215.127]$, que proporcionou o melhor compromisso entre estas estruturas de preferência mais contraditórias simuladas.

5.4 Análise de Sensibilidade

Na seção anterior, foram apresentadas mudanças nos resultados do modelo decorrentes da ocorrência de funções utilidade mais díspares que as apresentadas na aplicação da seção 5.2. Adicionalmente, de modo semelhante à análise de sensibilidade realizada no modelo do Capítulo 4, foram simuladas também variações nas constantes de escala da função de utilidade de grupo, γ^F , γ^R e γ^{FR} . Foi tida como base a primeira aplicação deste modelo, na seção 5.2. O objetivo, neste caso, é verificar como variações aleatórias nos valores destes coeficientes, ou erros na elicitación das preferências do supra-decisor podem afetar os resultados encontrados na seção 5.2.

Foi realizada a geração aleatória de 5000 casos fazendo com que γ^F , γ^R e γ^{FR} variassem aleatoriamente seguindo uma distribuição uniforme, com limites 20% acima e 20% abaixo do valor elicitado para cada coeficiente. Em seguida, os coeficientes da função utilidade de grupo também foram normalizados pela sua soma, de forma que $\gamma^F + \gamma^R + \gamma^{FR} = 1$. Os histogramas com as frequências dos tamanhos de lote para os s_i 's que foram observados estão representados na Figura 5.1

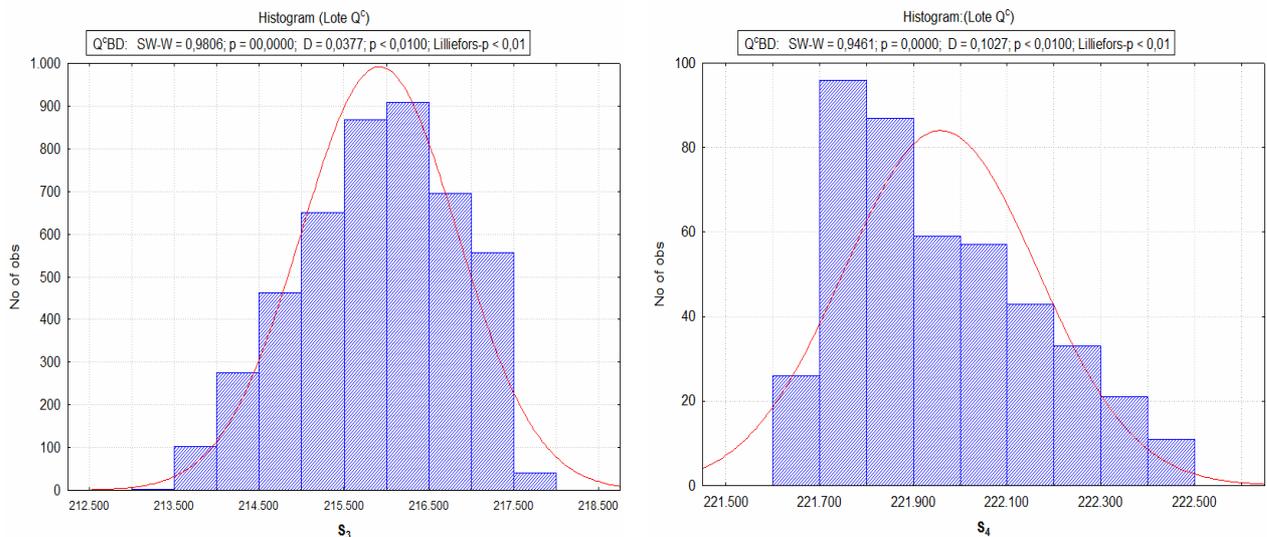


Figura 5.5 – Histograma dos lotes de compra para as opções s_3 e s_4 nos cenários de CS centralizada

Em 91,3% dos casos simulados, o esquema de ressuprimento emergencial a ser implementado pela cadeia de suprimentos permaneceu sendo s_3 . O lote de compra apresentou um coeficiente de variação muito reduzido (0,4%), com média $\mu=215.898$ e um desvio padrão $\sigma=917,07$. Nos outros 8,7% de observações, o esquema de ressuprimento emergencial s_4 foi preferível, com lotes de compra Q^c apresentando média $\mu=221.956$ e desvio padrão $\sigma=205,5$ (CV=0,1%). Os resultados em que s_4 foi recomendada foram observados em casos em que o coeficiente γ^R oscilou por valores superiores a 0,54, que se caracterizam por uma proeminência ainda mais acentuada da perspectiva do revendedor nas preferências do supra-decisor. Nesse sentido, embora o vetor solução que contém s_4 ocupe o 3º lugar no ranking de preferências do fornecedor (Tabela 5.3), ele ocupa o 2º lugar nas preferências do revendedor, à frente da solução de compromisso da cadeia, que envolve s_3 . À medida que o coeficiente γ^R torna-se mais influente na função utilidade de grupo, mais próxima a solução para a cadeia fica da solução encontrada individualmente pelo revendedor. Raciocínio análogo pode ser construído para γ^F e as preferências do fornecedor.

Os dois grupos de resultados encontrados não passaram nos testes K-S e Lilliefors para normalidade, sendo a hipótese rejeitada com $p<0,01$. Isto se deve a uma queda brusca na frequência observada de tamanhos de lote à direita do histograma de s_3 e à esquerda do histograma de S_4 (Figura 5.1). Este *gap* é decorrente da discontinuidade do tamanho do lote Q^c em função do aumento dos custos de *backorder* que ocorre na mudança de s_3 para s_4 . Pode-se observar também, no histograma à esquerda, uma frequência sensivelmente maior de tamanhos de lote em torno de $Q^c=216.083$, valor obtido com a aplicação do modelo. Dessa forma, em raciocínio análogo, pode-se inferir com relativa precisão a partir do histograma à direita qual o tamanho do lote Q^c é recomendado para a situação em que s_4 faz parte da solução de compromisso da cadeia. Observa-se um lote de compra/produção na faixa de 221.800 unidades. Estes cenários de composição do vetor solução com a opção s_4 ocorreram quando os valores das constantes de escala oscilaram em torno de $\gamma^F=0,34$; $\gamma^R=0,56$; e $\gamma^{FR}=0,1$. Dessa forma, como explanado anteriormente, uma maior proeminência relativa das perspectivas e preferências do estágio revendedor frente ao supra-decisor contribuem para a escolha de um maior lote Q^c inicial e de um esquema de ressuprimento mais rápido, oferecendo assim um melhor nível de serviço ao mercado e assumindo maiores riscos de impactos ambientais em caso de super-estocagem.

5.5 Discussão dos Resultados

O modelo desenvolvido neste capítulo é ilustrado nas duas simulações apresentadas envolveu a agregação das preferências individuais dos decisores da cadeia de suprimentos de modo a se construir uma função de *bem-estar* de grupo ou de utilidade de grupo. É sabido que há situações, por outro lado, em que é possível reunir os agentes de decisão da cadeia, conduzindo-se uma sessão (ou várias) de interação e discussão do problema a fim de se buscar um consenso que dispense uma modelagem formal de agregação de preferências individuais (Checkland, 1999; Eden & Ackermann, 2001). Entretanto, percebe-se com frequência que falta aos decisores disponibilidade de tempo para essas reuniões. Adicionalmente, havendo a disponibilidade de tempo, faz-se necessário que esta disponibilidade seja simultânea entre os decisores da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, a compatibilização de agendas dos decisores mostra-se como um fator dificultante a este tipo de abordagem e um desafio à gestão.

Nestas circunstâncias, uma modelagem de agregação de preferências individuais para construção de uma função utilidade de grupo (Raiffa, 1970; Keeney & Kirkwood, 1975), tal como a apresentada neste capítulo, mostra-se útil para subsidiar a tomada de decisão na gestão integrada da CS. A aplicação do modelo, para funções utilidade similares ou contraditórias, forneceu soluções de compromisso para a cadeia que proporcionaram, a cada estágio, um resultado mais satisfatório que o obtido se as preferências do outro estágio da CS fossem consideradas exclusivamente.

Considerando os resultados da primeira aplicação do modelo, para funções utilidade similares em cada atributo, as soluções que maximizam as utilidades individuais foram distintas: para o fornecedor, [s₃; 198.438]; para o revendedor, [s₅; 235.148]. Este resultado bastante distinto para o revendedor decorre de uma diferente estrutura de preferência em relação aos atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Mais detalhadamente, de uma maior propensão do revendedor ao risco envolvendo o lucro; uma menor aversão ao risco quanto aos impactos ambientais, em comparação ao fornecedor; e uma maior aversão ao risco quanto ao nível de serviço. Isto se combina a compensações diferenciadas das do fornecedor entre os atributos do modelo, onde o revendedor estabelece uma maior influência relativa do nível de serviço sobre a sua função utilidade multiatributo, bem como a uma menor influência relativa dos impactos ambientais.

Diante das preferências expressas por cada decisor da CS, a solução [s₃; 216.083] encontrada pelo supra-decisor (Tabela 5.2, linha 3) permite obter, para a cadeia de

suprimentos, a solução mais balanceada entre as perspectivas dos dois estágios da cadeia. Para o revendedor, a solução de compromisso do grupo oferece maior lucro esperado que a opção do fornecedor, em função do um maior tamanho de lote. Oferece um melhor nível de serviço, pelo mesmo motivo, visto que o esquema de ressuprimento s_3 é o mesmo que o escolhido pelo fornecedor. Estes benefícios compensam, para o revendedor um maior risco ambiental decorrente do incremento de Q^c . Por outro lado, esta solução de grupo também beneficia o fornecedor, uma vez que aumenta o nível de serviço sem aumentar tanto os riscos financeiros e ambientais em comparação aos associados à escolha individual do estágio revendedor.

A segunda aplicação teve o propósito de testar a intensidade dos efeitos, sobre os resultados do exemplo anterior, decorrentes de funções utilidade contraditórias no que tange ao comportamento em relação ao risco. As mudanças no que tange às opções de s_i não foram intensas, percebendo-se nas tabelas 5.3 e 5.6 que, para o fornecedor, não houve alterações na ordem de utilidade dos esquemas de ressuprimento. Houve, entretanto, uma redução significativa no tamanho do lote que seria preferível fornecedor, acompanhado de um incremento de sua utilidade multiatributo. Isso está associado à postura diferente quanto ao nível de serviço, passando de uma atitude de aversão ao risco para neutralidade, o que reduz a preocupação deste estágio com vendas perdidas e, juntamente com a uma redução relativa da constante de escala λ_2^F , concorre para a diminuição do tamanho do lote. Esta diminuição, por sua vez, aumenta a utilidade ambiental das opções por ele avaliadas, o que também se reflete no aumento de sua utilidade multiatributo.

Analisando-se os resultados das tabelas 5.4 e 5.7, percebe-se pequena mudança no *ranking* dos s_i que pode ser construído com base nas preferências do revendedor. O esquema de ressuprimento emergencial, s_6 e seu lote Q^c associado sobem da 4ª para a 2ª maior utilidade (Tabela 5.7, linha 6), em decorrência de uma mudança de atitude deste decisor em comparação à aplicação anterior. Neste segundo caso, o revendedor apresentou propensão ao risco financeiro para um maior *range* de resultados de lucro, propensão ao risco para impactos ambientais, e redução de λ_3^R frente a uma elevação de λ_2^R e λ_1^R . Isto fez com que os lotes Q^c do revendedor subissem, embora numa variação não tão intensa quanto à observada para o fornecedor. Essas mudanças também permitiram que a segunda opção de ressuprimento mais rápida, s_6 , se tornasse preferível a s_3 e s_4 embora fosse a segunda opção de contingência mais cara de todo o conjunto.

Nesta segunda aplicação, embora mantidos os mesmos trade-offs entre aos elos da cadeia por meio de γ^F , γ^R , e γ^{FR} , em razão das mudanças simuladas nas preferências

individuais, observou-se também uma mudança na solução de compromisso para a cadeia de suprimentos, que passou a ser o vetor $[s_4; 215.127]$ (Tabela 5.5, linha 4).

Acerca destas soluções de compromisso para CS, é importante observar que a combinação das perspectivas de fornecedor e revendedor depende fundamentalmente dos juízos de valor que a *holding* exerce sobre os elos da cadeia de suprimentos, estabelecendo compensações entre as utilidades expressas por cada estágio para as alternativas de solução do problema. Os resultados da análise de sensibilidade apontam que as soluções $[s_i, Q^c]$ são sensíveis a estes *trade-offs* corporativos, sendo os esquemas de contingência em menor grau, e os lotes Q^c em maior grau. Essa maior sensibilidade de Q^c está associada à modelagem dos lotes de compra como uma variável contínua, possibilitando um melhor tratamento matemático do modelo.

As compensações estabelecidas pelo supra-decisor da *holding* são necessárias para identificar uma “solução de compromisso” que deve ser capaz de representar os valores da cadeia como um todo, assumindo-se que os estágios estão dispostos a se submeter, cooperar e a atuar de forma sinérgica. Para os casos em que essa condição não é verificada e as divergências inviabilizam uma política de estoques decidida colaborativamente por todos, faz-se necessário proceder a um processo de negociação, que foge ao escopo deste modelo.

6 MODELO MULTIATRIBUTO DE BARGANHA PARA COORDENAÇÃO DE UMA CS DESCENTRALIZADA

No capítulo anterior, foi desenvolvido um modelo multiatributo para resolução do *single period problem* envolvendo uma cadeia de suprimentos centralizada de dois estágios. O problema foi resolvido dentro de uma abordagem de decisão em grupo, onde o estágio fornecedor e o revendedor decidiam colaborativamente, sob a coordenação de uma corporação controladora, acerca da elaboração de uma política de estoques baseada na escolha de um lote de produção/pedido e um esquema de ressuprimento emergencial para a cadeia de suprimentos.

Neste capítulo, um modelo multiatributo de barganha é apresentado para esta cadeia em um contexto de descentralização, em outras palavras, para o contexto de uma cadeia formada por empresas autônomas quanto à tomada de decisão. O modelo é de informações privativas, pois considera que as informações sobre a estrutura interna de custos e sobre a estrutura de preferências de cada estágio não são conhecidas pelo outro estágio. Além disso, o fornecedor faz uso de *buyback* como mecanismo de coordenação, para induzir o estágio revendedor a solicitar um lote de compra que lhe proporcione maior grau de utilidade, ao passo que privativamente proporciona uma solução de compromisso entre os objetivos do próprio revendedor (Pasternack, 1985; Corrêa, 2010).

6.1 Descrição do Modelo

Considere-se a cadeia de suprimentos do tipo *newsvendor* apresentada no modelo anterior. Em um contexto diferente do apresentado no Capítulo 5, a cadeia é formada por duas empresas independentes, autônomas, mas dispostas a estabelecer uma parceria de cooperação exclusiva que beneficie ambas as partes. Nesta estrutura de cadeia descentralizada, permanecem as premissas presentes no modelo de cadeia centralizada (seção 5.1), distinguindo-se, entretanto, as seguintes hipóteses ou particularidades:

- O custo unitário de compra do revendedor, w , que corresponde ao preço de atacado exercido pelo fornecedor, é fixo e seu valor é o estabelecido pelo mercado a fim de que a parceria seja atrativa e que o revendedor não seja incentivado a procurar um contrato de venda com outro fornecedor.
- Caso haja um saldo de produtos não vendidos ao final da temporada de vendas, estes incorrem em um custo unitário h_R para o revendedor, relativo aos custos de

recolhimento de produtos “em prateleira” e incluindo o custo de destinação final destes itens. Estes custos não incorrem sobre as operações do revendedor em caso de itens não vendidos que sejam recomprados pelo fornecedor;

- Todos os itens que não retornam ao fornecedor precisam ser descartados pelo revendedor em aterros sanitários. O mesmo destino é dado pelo fornecedor a todo o volume de material, proveniente de itens recolhidos, que não consegue ser reaproveitado por este;
- Cada um dos estágios não possui informação completa sobre a estrutura de custos do outro estágio, bem como sobre a estrutura de preferências de seus decisores;
- Adicionalmente, este modelo assume a hipótese de que os agentes da cadeia de suprimentos trocam informações e expõem escolhas de forma fidedigna aos seus reais julgamentos de valor, não sendo assim consideradas estratégias de blefe na interação entre os estágios da CS.

Diferentemente do modelo anterior, os estágios da cadeia de suprimentos (representados por seus decisores) buscam maximizar apenas suas utilidades *individuais* sob uma perspectiva multiatributo. Não estão interessados na maximização do lucro sistêmico ou de uma medida de utilidade que represente a cadeia de forma coletiva.

Entretanto, fornecedor e revendedor estão dispostos a construir uma relação de coordenação que beneficie ambas as partes. Para o fornecedor/produtor, a coordenação deve proporcionar a disponibilização de informações da demanda pelo revendedor; a execução do processo de produção de forma puxada, a partir do pedido do revendedor, reduzindo os níveis de estoque no fornecedor; e a operacionalização de um contrato $[s_i, Q]$ que lhe seja mais atrativo que o contrato selecionado pelo revendedor no caso de uma operação descoordenada. Em contrapartida, o fornecedor deve lançar mão de um mecanismo que permita ao revendedor o compartilhamento dos riscos associados à demanda (Corrêa, 2010), elevando a utilidade esperada deste último e estimulando-o a selecionar um contrato de suprimento $[s_i, Q]$ que lhe seja mais atrativo do que operar de forma não-coordenada.

Para isso, este trabalho faz uso de um mecanismo de *buyback* para coordenação entre os estágios da cadeia de suprimentos. Desde o estudo pioneiro de Pasternack (1985), os contratos de recompra ou *buyback* têm sido o instrumento mais disseminado e reconhecido na literatura para coordenação de estoques de cadeias em SPP, embora, na maioria das vezes, em um contexto onde o produtor/fornecedor é o jogador dominante (Lau *et al.*, 2008). Segundo Wang (2002b), este tipo de contrato é bastante comum em cadeias de suprimento de bens perecíveis

ou com curto ciclo de vida, tais como revistas, livros, equipamentos de informática, software de computadores e produtos farmacêuticos. Nesse sentido, os contratos de recompra têm sido amplamente aplicados em modelos de coordenação em um contexto de SPP (Kandel, 1996; Padmanabhan & Png, 1997; Mantrala & Raman, 1999; Wang, 2002b; Wang & Webster, 2007; Lau *et al.*, 2008; Hsieh *et al.*, 2008; Ryu & Yücesan, 2010; Hsieh & Lu, 2010, Corrêa, 2010).

Utilizando o mecanismo de *buyback*, a coordenação entre os estágios fornecedor e revendedor é fomentada quando o primeiro se compromete a recomprar uma porcentagem dos produtos não vendidos que permanecerem estocados no revendedor após o período de vendas. Estes produtos retornam para as instalações do fornecedor, que paga ao revendedor um crédito parcial pelas unidades readquiridas. Com isso, o fornecedor compartilha com o revendedor os riscos relativos a um cenário de excesso de estoques, envolvendo os impactos sobre o lucro decorrentes dos custos de recolhimento de estoques residuais e os possíveis impactos ambientais associados ao descarte de materiais em aterros. Ao “jogar” com a porcentagem de produto que está disposto a recomprar do revendedor, e/ou com crédito a ser oferecido por estes itens, o fornecedor têm condições de influenciar o revendedor a selecionar uma opção de $[s_i, Q]$ que seja mais vantajosa segundo sua estrutura de preferências.

O revendedor precisa encontrar uma solução própria de compromisso entre os riscos de uma sub-estocagem e os riscos de uma super-estocagem. Para isso, precisa escolher um lote de compra Q a ser encomendado ao fornecedor, bem como levantar as possibilidades oferecidas por este último para o caso de um cenário de quebra de estoques, contratando uma opção de ressurgimento emergencial $s_i \in S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$. Desta forma, as alternativas de decisão para o revendedor permanecem representadas pelos vetores $[s_i; Q]$.

Assume-se, neste trabalho, que a elaboração das opções s_i não se caracteriza como um processo decisório do fornecedor, mas corresponde simplesmente à exposição de possíveis combinações de rodadas extras de produção, transportes mais rápidos, subcontratação e outros dispositivos que o fornecedor dispõe a um preço unitário b_i . O fornecedor avalia as possíveis opções $[s_i; Q]$ escolhidas pelo revendedor, mas sua estrutura de custos e de preferências não são reveladas diretamente a este último. Por sua vez, o revendedor tomará a decisão sobre a opção $[s_i; Q]$ com base em uma estrutura multiatributo de preferências e de custos que não é diretamente revelada ao fornecedor. Das informações relacionadas ao estágio revendedor, o fornecedor conhece apenas o preço de venda p ao cliente final, a modelagem da incerteza na

demanda $f(x)$, a taxa de retenção de demanda β e a opção $[s_i; Q]$ pretendida pelo revendedor em função das condições informadas pelo fornecedor.

6.1.1 Atributos de Avaliação e Decisão

Seguindo a argumentação proposta para uma abordagem multiatributo do SPP, este modelo de barganha entre dois estágios se diferencia dos demais publicados na literatura, uma vez que os outros seguem uma racionalidade de maximização mono-objetivo de lucro ou de utilidade sobre o lucro, quer havendo simetria ou assimetria de informações entre estágios (vide, por exemplo, Pasternack 1985; Padmanabhan & Png, 1997; Weng, 1997; Weng & McClurg, 2003; Weng, 2004; Cachon & Lariviere, 2005; Wang & Webster, 2007; Hsieh *et al.*, 2008).

Assim como nos dois modelos de decisão anteriores, este modelo de barganha estrutura os processos decisórios individuais sob a perspectiva de um atributo monetário (*Lucro*), e e dois atributos não-monetários (*Nível de Serviço e Impactos Ambientais*). O desenvolvimento destes atributos para cada elo da cadeia é realizado a seguir.

6.1.1.1 Fornecedor

Considera-se um estágio fornecedor sem acúmulo de estoques e que executa sua produção após formalização do pedido pelo revendedor. O fornecedor pode promover, em um cenário de sub-estocagem, a produção emergencial de itens para atender a uma demanda retida. Em um cenário de super-estocagem, pode fazer a recompra de parte dos itens não vendidos das prateleiras do revendedor para suas instalações, realizando reaproveitamento de parte do material recolhido. Nestas circunstâncias, os atributos de decisão para fornecedor podem ser representados conforme segue.

6.1.1.1.1 Lucro para o fornecedor

$$\pi^F(s_i; Q) = \begin{cases} (w-c)Q + (b_i - c'_i)\beta(x-Q) - l_F(1-\beta)(x-Q) & \text{se } x \geq Q \\ (w-c)Q - (h_F + r - v'\Phi)\Delta(Q-x), & \text{se } x < Q \end{cases} \quad (6.1)$$

Onde:

- π^F é o lucro do fornecedor após o período;
- w corresponde ao preço de atacado cobrado pelo fornecedor ao revendedor;
- c corresponde ao custo unitário da produção regular do fornecedor, que inclui os custos de produção e transferência entre estágios;

- b_i é o preço de venda ao revendedor de um item produzido sob o esquema ressuprimento emergencial s_i ;
- c'_i é o custo unitário para produção e entrega de um item sob s_i ;
- l_F corresponde ao custo de financeiro de oportunidade para o fornecedor;
- h_F corresponde ao custo de processamento de produtos retornados para o fornecedor; envolvendo coleta, transporte, manuseio destes itens e descarte dos resíduos. É assumido como maior que h_R , uma vez que h_F encerra os gastos com o transporte dos itens recolhidos das instalações do revendedor para as instalações do fornecedor, os custos com armazenagem destes itens para processos de reciclagem de materiais, e os custos da disposição final dos materiais não recuperados.
- v' é um valor residual unitário que o fornecedor obtém pelo reaproveitamento de uma fração Φ de materiais ou componentes retirados dos produtos não vendidos;
- r é o preço de recompra (*buyback*) oferecido pelo fornecedor ao revendedor pelo retorno de produtos não vendidos, onde $v' < r < w$;
- Δ é a fração dos itens não vendidos pelo revendedor que retornam para o fornecedor;

6.1.1.1.2 Nível de Serviço para o fornecedor

Se a mensuração do atributo *Nível de Serviço*, pelo fornecedor, fosse associada apenas às suas vendas *diretas*, a proporção das vendas perdidas – como está sendo representado o nível de serviço - do fornecedor seria sempre 0, uma vez que o mesmo sempre produz conforme o pedido do revendedor. Entretanto, a fim de traduzir um grau de preocupação e comprometimento com o atendimento do mercado, refletindo a dependência que a sobrevivência do estágio fornecedor possui em relação ao bom desempenho de vendas do revendedor, este modelo considera o nível de serviço ao cliente final também como um atributo de decisão do fornecedor.

Tal como no modelo do Capítulo 5, as conseqüências do nível de serviço são avaliadas por meio da razão das vendas perdidas sobre a demanda total observada. Estas conseqüências são avaliadas considerando seus impactos sobre toda a cadeia de suprimentos, uma vez que qualquer perda de competitividade e de *market-share* pelo revendedor se refletem diretamente sobre seu fornecedor exclusivo. Nesse sentido, o nível de serviço é calculado tal como já apresentado na equação 5.2:

$$VP^{CS}(s_i; Q) = \begin{cases} \frac{(1 - e^{-\alpha k_i x(x-Q)})}{x} & \text{se } x > Q \\ 0 & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (6.2)$$

6.1.1.1.3 Impactos Ambientais para o fornecedor

De forma semelhante à trabalhada no modelo de cadeia centralizada, considera-se que, em um cenário onde $Q \leq x$, não há produtos a serem descartados na cadeia de suprimentos. Por outro lado, em um cenário onde $Q > x$, tem-se a recompra e o retorno de uma fração Δ dos produtos que sobraram. Desta fração que retorna, consegue-se reaproveitar uma proporção Φ dos materiais presentes nas $\Delta \cdot (Q-x)$ unidades, reduzindo com isso o volume de metais descartados pelo fornecedor e os riscos de impactos ambientais associados ao vazamento e contato destes materiais nocivos com solo e lençóis de água.

Compartilhando as premissas dos modelos anteriormente apresentados, este modelo de barganha considera que os impactos ambientais gerados pelo fornecedor são representados por uma variável aleatória dependente do volume de materiais descartados por este em aterros sanitários, não sendo abordados efeitos do tempo sobre a contenção dos resíduos aterrados, nem riscos ambientais decorrentes do descarte de produtos após uso pelos consumidores finais.

Nestas circunstâncias, as conseqüências dos impactos ambientais para o fornecedor podem ser representadas de acordo com a equação 6.3:

$$IA^F(Q) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \geq Q \text{ ou } \Delta = 0 \\ Z \in [0, (1-\Phi)\Delta\delta_d(Q-x)] & \text{se } x < Q \text{ e } \Delta > 0 \end{cases} \quad (6.3)$$

Na expressão 6.3, Z corresponde analogamente à variável aleatória Y dos modelos anteriores, mas está associada neste caso aos itens descartados pelo fornecedor. Assume-se que a f.d.p de Z , $f^F(z|Q,x)$, mantém a mesma forma que a função densidade de probabilidade dos impactos ambientais do modelo anterior. Porém, Z assume aleatoriamente valores no intervalo $[0; (1-\Phi)\Delta\delta_d(Q-x)]$, cujo limite superior corresponde ao volume total de material nocivo descartado pelo fornecedor após esforços de reaproveitamento dos materiais recolhidos.

6.1.1.2 Revendedor

Diferentemente do estágio fornecedor, o estágio revendedor armazena os volumes produzidos para atendimento da demanda. Ele é autônomo para contratar uma opção de suprimento $[s_i, Q]$ que lhe proporcione uma solução de compromisso considerando seus julgamentos de valor sobre os atributos de decisão, formalizando seu pedido ao fornecedor para que este lhe disponibilize o lote Q antes do início do período de vendas.

Em um cenário de sub-estocagem, o revendedor consegue reter parte da demanda não atendida e solicita ao fornecedor, através de um esquema de ressuprimento emergencial s_i contratado, a produção urgente dos pedidos em espera. Em um cenário de super-estocagem, o

revendedor lança mão do retorno, quando oferecido pelo fornecedor, de parte dos seus itens não vendidos, reduzindo os impactos negativos sobre seu lucro ao fim do período. Para os itens não devolvidos, o revendedor incorre em um custo h_R , que encerra os gastos envolvidos na coleta e disposição final dos itens.

Focado na comercialização e não detendo a tecnologia relacionada à fabricação do item, considera-se que o revendedor não realiza o reaproveitamento ou reciclagem dos materiais presentes nos itens remanescentes. Dessa forma, todos os produtos que permanecem “em prateleira” e que não são recomprados pelo fornecedor precisam ser descartados. Para este revendedor, os atributos de decisão podem ser calculados conforme descrição a seguir.

6.1.1.2.1 Lucro para o revendedor

$$\pi^R(s_i; Q) = \begin{cases} (p-w)Q + (p-b_i)\beta(x-Q) - l_R(1-\beta)(x-Q) & \text{se } x \geq Q \\ px - wQ + r\Delta(Q-x) - h_R(1-\Delta)(Q-x) & \text{se } x < Q \end{cases} \quad (6.4)$$

onde:

- π^R é o lucro do revendedor após o período;
- p é o preço de venda ao mercado consumidor;
- l_R é custo de oportunidade de aplicações de lucros perdidos para o revendedor;
- h_R corresponde ao custo de recolhimento e disposição final de produtos remanescentes que não são retornados para o fornecedor.

Os demais parâmetros são os mesmos descritos na função *Lucro* do fornecedor.

6.1.1.2.2 Nível de Serviço para o revendedor

Embora o nível de serviço possa apresentar maior importância nos julgamentos de valor do estágio revendedor, uma vez que o mesmo possui interface direta com o mercado e detém o relacionamento com os clientes finais, as conseqüências neste atributo apresentam a mesma métrica descrita para o caso do fornecedor.

Tal como em 6.2, estas conseqüências são avaliadas pelo revendedor considerando os impactos de diferentes proporções de mercado não atendido sobre toda a cadeia de suprimentos, ou seja:

$$VP^{CS}(s_i; Q) = \begin{cases} \frac{(1 - e^{-\alpha \cdot k_i \cdot x(x-Q)})}{x} & \text{se } x > Q \\ 0 & \text{se } x \leq Q \end{cases} \quad (6.5)$$

6.1.1.2.3 Impactos Ambientais para o revendedor

Para o estágio revendedor/varejista, os possíveis impactos ambientais são decorrentes do descarte, em aterros, de metais pesados e materiais ambientalmente nocivos presentes em produtos não vendidos e que não foram retornados para o fornecedor através de um mecanismo de *buyback*. Nesse sentido, as conseqüências dos impactos ambientais para o revendedor podem ser calculadas conforme a equação 6.6:

$$IA^R(Q) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \geq Q \text{ ou } \Delta = 1 \\ Y \in [0, (1-\Delta)\delta_d(Q-X)] & \text{se } x < Q \text{ e } \Delta < 1 \end{cases} \quad (6.6)$$

Onde Y é uma variável aleatória com fdp $j^R(y|Q,x)$ que representa o volume de material danoso não contido pelo aterro que acaba poluindo o meio ambiente. Assume-se que, por propriedades físicas, $j^R(y|Q,x)$ mantém a mesma forma que a função densidade de probabilidade dos impactos ambientais do fornecedor, variando-se apenas os parâmetros da distribuição. Y assume aleatoriamente valores no intervalo $[0; (1-\Delta)\delta_d(Q-x)]$, cujo limite superior corresponde ao volume total de material ambientalmente nocivo descartado pelo revendedor.

6.1.2 Agregação individual dos múltiplos atributos

Tal como realizado no primeiro modelo, a agregação dos múltiplos atributos de decisão – quer sob a perspectiva do revendedor, quer sob a perspectiva do fornecedor – será feita dentro de uma abordagem de Teoria da Utilidade Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976). Embora, neste modelo, a interação entre os estágios da cadeia se caracterize por uma negociação ou barganha, os processos de julgamento de valor e de escolha individual de uma solução que norteie cada estágio na negociação se caracterizam por uma tomada de decisão multiatributo. Nesse sentido, como afirmado anteriormente, MAUT apresenta uma consistente estrutura conceitual capaz de subsidiar a tomada de decisão considerando as incertezas sobre as conseqüências do problema e o comportamento de cada *player* em relação ao risco (Keeney & Raiffa, 1976).

Para que cada decisor possa avaliar as alternativas por meio de um valor geral de utilidade em face dos atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*, deve-se realizar a elicitacão de sua função utilidade multiatributo. A obtenção das funções utilidade multiatributo U^R e U^F do revendedor e do fornecedor, respectivamente, é feita por meio dos procedimentos de elicitacão já mencionados nos modelos anteriores, o que envolve a obtenção

de dados subjetivos a fim de se obterem pontos que permitam o ajuste de uma função utilidade representativa das preferências do decisor (Keeney & Raiffa, 1976; Almeida, 2011).

Assumindo que os decisores apresentam uma racionalidade compensatória e que as preferências dos mesmos atendem às propriedades de independência em utilidade e independência aditiva (Keeney & Raiffa, 1976; Almeida, 2011), verifica-se que a expressão $U(s_i, Q) = U[\pi(s_i; Q), VP_{\%}^{CS}(s_i; Q), IA(s_i; Q)]$ é aditiva para cada decisor. Com isso, a função utilidade multiatributo para o revendedor (índice R) e para o fornecedor (índice F) pode ser obtida a partir das funções utilidade unidimensionais conforme expressões 6.7 e 6.8:

$$U^R(s_i; Q) = \lambda_1^R \cdot u_{\pi}^R(s_i; Q) + \lambda_2^R \cdot u_{NS}^R(s_i; Q) + \lambda_3^R \cdot u_{IA}^R(s_i; Q) \quad (6.7)$$

$$U^F(s_i; Q) = \lambda_1^F \cdot u_{\pi}^F(s_i; Q) + \lambda_2^F \cdot u_{NS}^F(s_i; Q) + \lambda_3^F \cdot u_{IA}^F(s_i; Q) \quad (6.8)$$

Nas expressões 6.7 e 6.8, é válida a propriedade de que $\lambda_1^R + \lambda_2^R + \lambda_3^R = 1$ e $\lambda_1^F + \lambda_2^F + \lambda_3^F = 1$. Tal como nos modelos anteriores, os valores destas constantes de escala são obtidos por meio de procedimentos de elicitacão baseados em comparações de loterias que apresentam *payoffs* específicos entre os atributos de decisão (Keeney & Raiffa, 1976; Keeney, 1977; Wanderley, 2008).

Dentro de uma abordagem de Teoria da Utilidade Esperada e Análise da Decisão (von Neumann & Morgenstern, 1944; Berger, 1985; Campello de Souza, 2002), os decisores buscam a maximização do valor esperado de sua função utilidade em 6.7 ou 6.8. Em razão das propriedades do valor esperado, este pode ser obtido em cada expressão por meio das expectâncias das utilidades unidimensionais, ponderadas pelas respectivas constantes de escala.

Para isso, por meio da técnica de levantamento da função utilidade (Almeida, 2011), podem ser traçadas as funções utilidade monoatributo em 6.7 e 6.8. Agregando as incertezas do problema, os valores esperados em cada atributo podem ser obtidos para cada decisor/estágio da cadeia de suprimentos conforme segue:

- Para o revendedor

$$E[u_{\pi}^R(s_i; Q)] = \begin{cases} \int_0^Q u_{\pi}^R \{ [(h_v + p - \Delta(r + h_r))x - (h_r + w - \Delta(r + h_r))] \cdot Q \} f(x) dx \\ + \int_Q^{\infty} u_{\pi}^R [(p - w)Q + (p - b_i)\beta(x - Q) - l_r(1 - \beta)(x - Q)] f(x) dx \end{cases} \quad (6.9)$$

$$E[u_{NS}^R(s_i; Q)] = \int_0^Q u_{NS}^R(0) f(x) dx + \int_Q^{\infty} u_{NS}^R \left[\frac{(1 - \beta)(x - Q)}{x} \right] f(x) dx \quad (6.10)$$

$$E[u_{IA}^R(s_i; Q)] = \int_0^Q \int_0^{\Omega_r} u_{IA}^R(y) j^R(y | Q, x) f(x) dy dx + \int_Q^\infty u_{IA}^R(0) f(x) dx \quad (6.11)$$

onde $\Omega_r = (1-\Delta) \cdot \delta_d \cdot (Q-x)$, $\Delta < 1$. Para $\Delta = 1$, $E[u_{IA}^R(s_i; Q)] = 1$.

- Para o fornecedor:

$$E[u_{\pi}^F(s_i; Q)] = \begin{cases} \int_0^Q u_{\pi}^F \{ (h_F + r - v' \Phi) \Delta x + [(w-c) - (h_F + r - v' \Phi) \Delta] Q \} f(x) dx \\ + \int_Q^\infty u_{\pi}^F [(w-c) Q + (b_i - c'_i) \beta (x-Q) - l_F (1-\beta) (x-Q)] f(x) dx \end{cases} \quad (6.12)$$

$$E[u_{NS}^F(s_i; Q)] = \int_0^Q u_{NS}^R(0) f(x) dx + \int_Q^\infty u_{NS}^F \left[\frac{(1-\beta)(x-Q)}{x} \right] f(x) dx \quad (6.13)$$

$$E[u_{IA}^F(s_i; Q)] = \int_0^Q \int_0^{\Omega_f} u_{IA}^F(z) j^F(z | Q, x) f(x) dy dx + \int_Q^\infty u_{IA}^F(0) f(x) dx \quad (6.14)$$

Onde $\Omega_f = (1-\Phi) \cdot \Delta \cdot \delta_d \cdot (Q-x)$, $\Delta > 0$. Para $\Delta = 0$, $E[u_{IA}^F(s_i; Q)] = 1$.

Nas expressões 6.9 a 6.14, Δ é definido inicialmente como 0 antes de o fornecedor lançar mão do mecanismo de *buyback* e realizar um processo de barganha com o revendedor.

6.1.3 O processo decisório inicial do revendedor

O próximo passo deste modelo envolve a avaliação, pelo estágio de revenda/varejo, das conseqüências associadas a cada opção $[s_i; Q]$ a fim de obter um valor geral de utilidade em face dos atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Esta avaliação é feita de forma privativa pelo decisor deste estágio, e sem a consideração inicial de qualquer processo de retorno de produtos ao fornecedor. O decisor obtém para cada s_i um valor de Q que maximize a utilidade para aquele esquema de ressuprimento emergencial. Em seguida, procede ao ordenamento dos pares $[s_i; Q]$ encontrados, com base em seus valores de utilidade multiatributo, a fim de identificar a solução mais satisfatória para o seu estágio da cadeia de suprimentos. Como o revendedor possui autonomia para contratar junto ao fornecedor o par $[s_i; Q]$ de seu interesse, essa será a opção a ser implementada na cadeia de suprimentos caso haja a ausência de qualquer iniciativa de coordenação por parte do fornecedor.

Nesse sentido, para esta cadeia de suprimentos descentralizada, o fornecedor informa inicialmente, sob solicitação do revendedor, os esquemas de ressuprimento emergenciais $s_i \in S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ que são disponíveis para um cenário de sub-estocagem, assim como os coeficientes de tempo $k_i \in K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ e os custos unitários $b_i \in B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$

associados. O problema de decisão inicial envolve a seleção, pelo revendedor, de um vetor $[s_i ; Q]$ que maximize sua utilidade multiatributo calculada pela aplicação, na equação 6.7, das expressões 6.9 a 6.11 e das constantes de escala λ^R_1 , λ^R_2 e λ^R_3 elicitadas. A opção $[s_i ; Q]$ que proporcione o maior valor em 6.7, de acordo com as preferências expressas pelo seu decisor, é a solução recomendada para o revendedor sob uma perspectiva multiatributo. Esta é a pretensão inicial do elo revendedor, que será transmitida ao fornecedor ainda na ausência de qualquer incentivo de coordenação por este último.

6.1.4 A avaliação pelo fornecedor e o processo de barganha

Informado da intenção de contratação da opção $[s_i ; Q]$ pelo revendedor, o fornecedor avalia, privativamente, o grau de utilidade que esta escolha lhe proporciona com base em suas preferências sobre as conseqüências em cada atributo, e em sua atitude em relação ao risco. Este grau de utilidade é medido com base em sua função utilidade multiatributo, calculada pela aplicação, na equação 6.8, das expressões 6.12 a 6.14 e das constantes de escala λ^F_1 , λ^F_2 e λ^F_3 que foram elicitadas.

A fim de incentivar o revendedor a selecionar uma opção $[s_i ; Q]$ que, dentre suas possíveis escolhas, ofereça o maior nível de utilidade possível ao fornecedor, este último lança mão de um mecanismo de *buyback* que beneficie o revendedor em um possível cenário de super-estocagem, influenciando assim o seu processo decisório. Assume-se neste modelo que o valor de recompra r é fixo e exogenamente definido. Ao invés de barganhar com o preço de recompra, o fornecedor constrói um conjunto discreto de opções para o percentual Δ de retorno de produtos, opções estas aqui simbolizadas por Δ_k e que podem ser igualmente espaçadas entre 0 e 100%.

Em seguida, o estágio fornecedor realiza um processo de sondagem. Ele envia uma consulta ao estágio revendedor, informando que uma proposta de cláusula de *buyback* está sendo estudada por aquele, e que alternativas para o percentual de retorno estão sendo avaliadas. O fornecedor expõe ao revendedor os benefícios sobre o lucro e sobre a redução dos riscos ambientais graças à recompra de itens e à redução do volume descartado em uma possível circunstância de super-estocagem. Solicita então que seja informada qual opção $[s_i ; Q]$ seria escolhida para cada uma das opções Δ_k de retorno de produtos, onde $\Delta_k \in]0; 100\%]$. Nesta gama de possibilidades, $\Delta_1=0$ representaria o *status quo* e $\Delta_1=100\%$ significaria o retorno ao fornecedor de todos os produtos não vendidos pelo revendedor.

Ao receber a consulta do fornecedor, o revendedor avalia qual a opção $[s_i ; Q]$ que maximiza sua utilidade esperada em cada uma das circunstâncias Δ_k cogitadas. Após isto, o revendedor informa ao fornecedor as opções que seriam escolhidas, aguardando sua decisão sobre o estabelecimento de uma cláusula de *buyback*, bem como do percentual associado de recompra Δ , no caso de estoques remanescentes após o período de vendas. Conforme mencionado nas premissas deste modelo, assume-se que as opções $[s_i ; Q]$ informadas pelo revendedor traduzem suas reais intenções em face de suas preferências, não estando influenciadas por qualquer estratégia de blefe.

6.1.5 O processo decisório final do fornecedor

De posse das respostas emitidas pelo estágio revendedor, o decisor do estágio fornecedor avalia a utilidade de cada uma das suas opções para Δ , uma vez que haverá uma correspondência entre a taxa de retorno Δ_k proposta e a pretensão $[s_i ; Q]$ informada. Dessa forma, as alternativas $[s_i ; Q]$ do revendedor tornaram-se implicitamente uma função de Δ , assumindo diferentes valores em função de uma estrutura de custos e de uma estrutura de preferências entre múltiplos atributos que não são reveladas abertamente ao fornecedor. Entretanto, como além do tamanho de lote Q , podem mudar dentro do intervalo $\Delta_k \in]0; 100\%]$ as opções de ressuprimento emergencial s_i escolhidas pelo revendedor, não se torna possível a obtenção de uma curva de regressão associando diretamente Δ a Q , inviabilizando a construção de uma função de Δ a ser maximizada.

Em face deste caráter complexo das alternativas de decisão, e da assimetria de informações de preferências entre os estágios da cadeia de suprimentos, o fornecedor precisa fazer uma análise exploratória do espaço de propostas de *buyback*. Fazendo uso das expressões 6.12 a 6.14 em 6.8, o fornecedor avalia qual a opção $[s_i ; Q]$ pretendida pelo revendedor, e indiretamente qual o percentual de retorno Δ_k proposto, lhe proporciona o maior valor de utilidade multiatributo. Isto não é feito apenas tendo em vista os incrementos de lucro esperado, tal como nos modelos tradicionais. O fornecedor faz isso considerando suas preferências sobre a distribuição de conseqüências geradas pela opção $[s_i ; Q]$ do revendedor nas dimensões *Lucro, Nível de Serviço e Impactos Ambientais*, bem como considerando os seus próprios *trade-offs* entre estes atributos. Nesse sentido ele pode, por exemplo, escolher uma maior taxa de retorno Δ_k – o que lhe gera maior descarte de produtos e maior risco de impactos ambientais (menor utilidade) – se isto for suficientemente compensado pelo incremento no lucro ao final do período de vendas.

Considerando que uma dada opção Δ_k mostrou-se a mais favorável ao fornecedor, este pode evoluir o seu conjunto de alternativas para Δ realizando uma nova sondagem, mais refinada, explorando novos percentuais de retorno no intervalo aberto $]\Delta_{k-1}; \Delta_{k+1}[$, nas proximidades do ponto sondado Δ_k que lhe proporcionou a maior utilidade esperada. Com isso, o fornecedor pode observar se há um aumento no valor de utilidade multiatributo obtido, registrando a taxa de *buyback* que lhe proporciona maior utilidade dentre as opções sondadas. O número de propostas de Δ a serem consultadas junto ao revendedor na primeira e segunda sondagem deve ser estabelecido em função da disponibilidade de tempo, da boa vontade do representante deste estágio, e do grau de significância, para o decisor do estágio fornecedor, entre diferenças nos resultados obtidos.

Com isso, depois de identificada a opção de retorno que proporciona o maior valor de utilidade para o fornecedor, este formaliza ao revendedor, antes do início do período de vendas, o percentual de recompras Δ a ser praticado, recebendo do estágio seguinte a formalização do pedido de contratação da opção $[s_i ; Q]$ selecionada como solução para o SPP.

6.2 Aplicação do Modelo

A fim de ilustrar a aplicação deste modelo multiatributo de barganha em uma cadeia de decisão descentralizada, é apresentada a seguir um exemplo numérico. Esta aplicação, baseada na apresentada na seção 4.2, assemelha-se à do primeiro modelo, com algumas modificações atinentes ao modelo de barganha e ao processo decisório no fornecedor. Para fins de simplificação, serão omitidas informações sobre contextos e parâmetros comuns aos citados na aplicação do modelo daquela seção deste trabalho.

Considere-se que o produto comercializado pela empresa de varejo da seção 4.2 seja suprido por um fornecedor que deseja estabelecer um mecanismo de coordenação de cadeia a fim de obter uma política de estoques $[s_i ; Q]$ mais satisfatória que a produzida por uma escolha independente do revendedor. Este último, como visto na seção 4.2, avaliara privativamente seu lote de compromisso para cada opção de ressuprimento emergencial oferecida pelo fornecedor, sendo obtidos os resultados apresentados na Tabela 6.1.

Conforme apresentado anteriormente, em um contexto sem retorno de produtos e sem qualquer outro incentivo do fornecedor, o revendedor apresentara a intenção de contratar a opção $[s_3; 205.405]$ como sua solução de compromisso para o SPP.

Tabela 6.1 – Resultados do modelo multatributo para o revendedor na ausência de coordenação

Fonte: O autor

0.	Opção $[s_i; Q^c]$	k_i	b_i	$U^R(S_i; Q)$
1.	[s1; 208.881]	0,90	175	0,795
2.	[s2; 205.787]	0,75	212	0,806
3.	[s3; 205.405]	0,65	265	0,816
4.	[s4; 221.507]	0,5	325	0,807
5.	[s5; 240.626]	0,4	388	0,778
6.	[s6; 257.509]	0,3	450	0,734
7.	[s7; 267.145]	0,25	485	0,700

A empresa fornecedora resolve então estudar a oportunidade de, através de um mecanismo de coordenação de cadeia, incentivar o revendedor a contratar uma opção de suprimento que seja mais vantajosa para si e ao mesmo tempo de maior utilidade para o fornecedor. O estágio fornecedor anuncia ao revendedor que estava avaliando a possibilidade de recomprar parte dos produtos não vendidos, em caso de excesso de estoques, a depender da opção de suprimento $[s_i; Q]$ que seja selecionada pelo revendedor. Como isso, os estágios compartilhariam entre si os riscos financeiros e ambientais decorrentes do capital imobilizado e do descarte de itens não vendidos.

Como parte das iniciativas de coordenação de estoques, e a fim de que o fornecedor lhe proponha uma taxa de retorno de itens, o estágio revendedor compartilha com o primeiro as informações da demanda, sendo $X \sim N(250.000; 70.000)$ e $\alpha = 2,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ o valor do parâmetro para a função de *backlogging*. Tal como nos exemplos anteriores, o fornecedor informa o valor de $\kappa=20 \text{ s/unid}$ como coeficiente de tempo unitário de ressuprimento.

A estrutura de custos do fornecedor é uma informação privativa e não informada ao revendedor, a fim de não revelar-lhe margens de lucro que lhe subsidiem na negociação. O produto será fabricado por este fornecedor a um custo unitário $c = \$ 100$, e vendido ao revendedor a um preço de atacado $w = \$150/\text{unidade}$. O fornecedor trabalha com um custo de oportunidade de capital de $l_F = \$45$. Caso estabeleça um mecanismo de recompra, ele concede um crédito de $\$20$ por unidade retornada, incorrendo em um custo unitário de processamento de $h_F = \$75$. Este custo é decorrente da coleta, manuseio e retorno dos itens não vendidos para as suas instalações. O fornecedor avalia também que é capaz de recuperar cerca de 40% dos metais pesados e demais materiais presentes nos produtos, obtendo um valor residual unitário de $v'=\$80$ sobre o material recuperado.

O estágio fornecedor resolve assim realizar a tomada de decisão acerca de uma proposta de *buyback* sob uma perspectiva multiatributo, visando beneficiar a sustentabilidade do seu negócio, obtida por bons resultados de lucro, nível de serviço e impactos ambientais. Com o apoio de um analista de decisão, este estágio procurou incorporar as preferências, o comportamento em relação ao risco, e os *trade-offs* de seu decisor entre os atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais* na escolha de uma proposta de retorno Δ .

Para isso, um grupo de funcionários experientes é inicialmente selecionado para auxiliar na aplicação deste modelo de decisão, sendo esclarecidos sobre a metodologia a ser adotada para suporte ao processo decisório.

O Superintendente de Produção da empresa é designado pela alta direção como o decisor, sendo realizada a elicitación de sua função utilidade multi-atributo $U^F[\pi^F(s_i, Q), VP^{CS}(s_i, Q), IA^F(s_i, Q)]$. As preferências do decisor demonstram atender às propriedades de independência em utilidade e independência aditiva entre os atributos *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais*. Com isso, a partir de valores de utilidade monoatributo expressos pelo Superintendente de Produção para algumas conseqüências de π , VP e IA , estes valores são plotados com o propósito de obter-se o melhor ajuste de curva para a função utilidade em cada atributo.

Para os atributos *Lucro* e *Nível de Serviço* as seguintes curvas são obtidas, respectivamente, com base nos valores de utilidade expressos pelo decisor :

$$u_{\pi}^F(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-5 \times 10^{-7} [\pi(s_i, Q) - 8 \times 10^6]}} \quad (6.15)$$

$$u_{NS}^F(s_i; Q) = e^{-2,5VP(s_i, Q)} \quad (6.16)$$

Para o atributo *Impactos Ambientais*, a Gerência de Design de Produto informou um valor de 900g/unidade para o parâmetro δ_d , que corresponde à quantidade de metais pesados em cada unidade de produto. A probabilidade $j^F(z|Q, x)$ de contaminação do solo com um volume z , dada uma massa $(I - \Phi)\Delta\delta_d(Q - x)$ kg de metais descartados pelo fornecedor, é modelada de acordo com uma distribuição exponencial com parâmetro $\eta^F = [0,15*(I - \Phi) \cdot \Delta \cdot \delta_d \cdot (Q - x)]^{-1}$. Este parâmetro é menor que $\eta^R = [0,15*(I - \Delta) \cdot \delta_d \cdot (Q - x)]^{-1}$, parâmetro dos impactos modelados pelo revendedor, em virtude dos processos de reaproveitamento, empreendidos pelo fornecedor, que permitem a redução do volume de metais e demais materiais descartados a partir de suas instalações.

Após elicitación de alguns valores de utilidade para impactos ambientais, verifica-se um comportamento exponencialmente decrescente das preferências do fornecedor, sendo ajustada a seguinte curva para representação de sua função utilidade:

$$u_{IA}^F(Q) = e^{-3,8 \cdot 10^{-4} \cdot IA(Q)} \quad (6.17)$$

Onde $IA(Q)$ é calculado pela equação 6.3.

Obtidas as funções utilidade monoatributo do decisor do estágio fornecedor, o analista submete ao decisor um protocolo (Keeney & Raiffa, 1976) com diversas escolhas de loterias envolvendo combinações de lucro, nível de serviço e impactos ambientais, a fim de elicitare as constantes de escala de sua função utilidade multiatributo (para exemplificação e maiores detalhes, vide Keeney, 1977). Após algumas análises de consistência nas respostas, são obtidos os valores de $\lambda_1^F=0,60$, $\lambda_2^F=0,18$ e $\lambda_3^F=0,22$.

De posse destas constantes de escala e das funções utilidade unidimensionais, é construída uma função utilidade multiatributo (6.8) para representar as preferências do fornecedor. Considerando a escolha inicial do revendedor por $[s_3; 205.405]$ (Tabela 6.1, linha 3) na ausência de retorno de produtos ($\Delta = 0$), verifica-se que esta proporciona um valor de utilidade de 0,900 para o estágio fornecedor. Através de um esquema de recompra de produtos, o fornecedor busca então oferecer ao revendedor um percentual de retorno para os itens não vendidos que o incentive a escolher uma nova opção $[s_i; Q]$, opção esta que eleve a utilidade para o fornecedor e, no mínimo, mantenha a utilidade esperada para o revendedor.

As opções inicialmente cogitadas pelo fornecedor são $\Delta = \{10\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%, 90\%, 100\%\}$. Estas alternativas para uma cláusula de *buyback* são então enviadas ao decisor da empresa revendedora, sendo solicitada a informação de qual opção $[s_i; Q]$ se tornaria mais atrativa considerando cada taxa de retorno em estudo.

Para fins ilustrativos, considera-se que a escolha inicial do revendedor pela opção $[s_3; 205.405]$ é realizada conforme preferências modeladas na seção 4.2. Em outras palavras, as funções utilidade do revendedor, elicitadas em cada atributo, são representadas de acordo com as expressões 6.18 a 6.20.

$$u_{\pi}^R(s_i; Q) = \frac{1}{1 + e^{-7,5 \cdot 10^{-7} [\pi(s_i, Q) - 1,1 \cdot 10^7]}} \quad (6.18)$$

$$u_{NS}^R(s_i; Q) = e^{-9 \cdot VP(s_i, Q)} \quad (6.19)$$

$$u_{IA}^R(Q) = e^{-3 \cdot 10^{-4} \cdot IA(Q)} \quad (6.20)$$

Quanto às constantes de escala, são obtidas: para *Lucro*, $\lambda_1=0,53$; para *Nível de Serviço*, $\lambda_2=0,32$ e para *Impactos Ambientais*, $\lambda_3=0,15$.

Considerando o mecanismo de coordenação via *buyback* proposto pelo fornecedor, o revendedor observa que a incorporação de um percentual de recompra proporciona-lhe

resultados mais satisfatórios, provocando mudanças nos valores esperados de utilidade para as diferentes opções de suprimento. Em face destes novos resultados esperados, o revendedor responde à consulta do fornecedor apontando sua solução de compromisso $[s_i; Q^c]$ para cada Δ cogitado. Estes valores estão representados na Tabela 6.2, assim como os valores de utilidade para o revendedor, não divulgados ao fornecedor.

Tabela 6.2 – Soluções escolhidas pelo revendedor para cada opção de buyback sondada pelo fornecedor

Fonte: O autor

0.	Opção (Δ)	Escolha do Revendedor	$U^R(S_i; Q^c)$
1.	10%	$[s_3; 206.349]$	0,818
2.	20%	$[s_3; 207.410]$	0,820
3.	30%	$[s_3; 208.616]$	0,823
4.	40%	$[s_3; 210.025]$	0,826
5.	50%	$[s_3; 211.644]$	0,829
6.	60%	$[s_3; 213.624]$	0,833
7.	70%	$[s_3; 216.108]$	0,838
8.	80%	$[s_3; 219.414]$	0,843
9.	90%	$[s_4; 233.378]$	0,851
10.	100%	$[s_4; 238.943]$	0,865

Os resultados da sondagem realizada foram também ilustrados no gráfico da Figura 6.1, que aponta um crescimento convexo do tamanho do lote demandado pelo revendedor à medida que aumenta o retorno admitido pelo fornecedor.

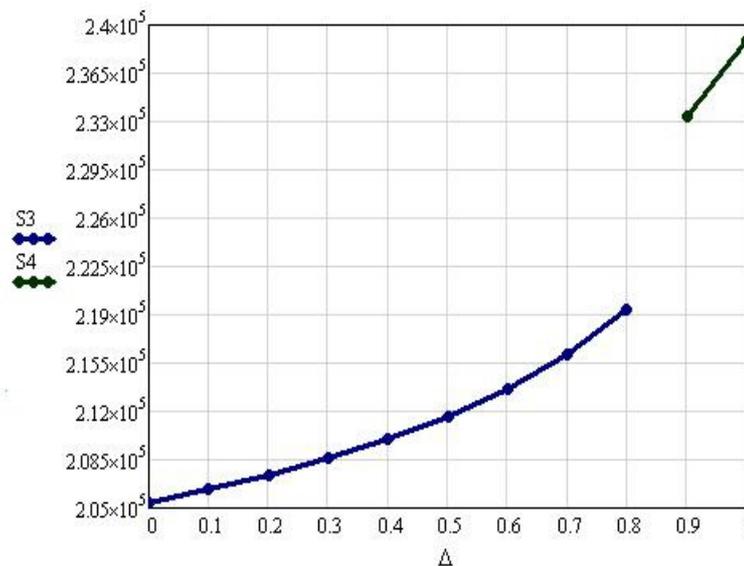


Figura 6.1 – Vetores solução $[s_i; Q^c]$ para diferentes percentuais de retorno de produtos ao fornecedor

Fonte: O autor

Após receber do revendedor as respostas à sondagem realizada, o decisor da empresa fornecedora procede à avaliação, com o apoio do analista, da utilidade U^F dos pares $[s_i; Q^c]$ para cada percentual de retorno Δ_k proposto. Os resultados estão sumarizados na Tabela 6.3.

Com o propósito de facilitar a visualização do comportamento da utilidade multiatributo do fornecedor, $U^F[s_i; Q]$, em função das escolhas do revendedor, o analista plotou estes valores em um gráfico, conforme apresentado na Figura 6.2.

Tabela 6.3 – Utilidade para o fornecedor das soluções escolhidas pelo revendedor sob cada opção de buyback
 Fonte: O autor

0.	Opção (Δ)	Escolha do Revendedor	$U^F[s_i; Q]$	$U_{\pi}^F[s_i; Q]$	$U_{NS}^F[s_i; Q]$	$U_{IA}^F[s_i; Q]$
1.	10%	$[s_3; 206.349]$	0,896	0,867	0,901	0,971
2.	20%	$[s_3; 207.410]$	0,893	0,870	0,903	0,950
3.	30%	$[s_3; 208.616]$	0,892	0,870	0,905	0,930
4.	40%	$[s_3; 210.025]$	0,891	0,877	0,908	0,914
5.	50%	$[s_3; 211.644]$	0,890	0,882	0,910	0,899
6.	60%	$[s_3; 213.624]$	0,891	0,886	0,914	0,884
7.	70%	$[s_3; 216.108]$	0,891	0,892	0,918	0,868
8.	80%	$[s_3; 219.414]$	0,892	0,898	0,923	0,851
9.	90%	$[s_4; 233.378]$	0,905	0,930	0,950	0,799
10.	100%	$[s_4; 238.943]$	0,903	0,936	0,955	0,770

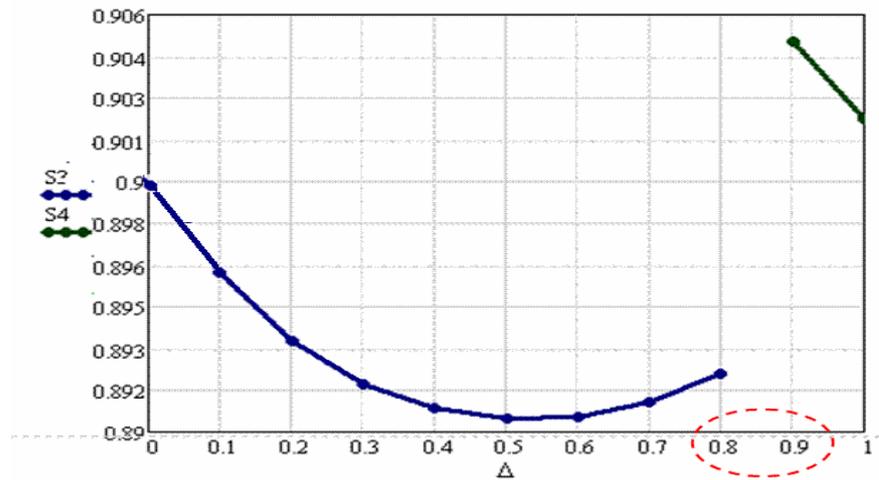


Figura 6.2 – Utilidade das respostas obtidas para diferentes percentuais de retorno ao fornecedor

Fonte: O autor

O fornecedor e o analista verificam que os resultados encontrados apresentam valores de utilidade esperada muito próximos, observando, todavia, que taxas de retorno em torno de 90% resultam em pedidos do revendedor ligeiramente mais atrativos para o fornecedor

(Tabela 6.3, linha 9), uma vez que o pedido original do primeiro lhe proporcionava uma utilidade de 0,900.

Verifica-se então, para cada opção de s_i , que a utilidade multiatributo do fornecedor decresce até certo ponto com o aumento de Δ . Embora o tamanho do lote do revendedor cresça à medida que Δ cresce (Figura 6.1), o aumento de desempenho no atributo *Lucro*, $U_{\pi}^F[s_i; Q]$, e em *Nível de Serviço* não compensa a queda associada de performance em *Impactos Ambientais*, $U_{IA}^F[s_i; Q]$. Em outras palavras, o ganho de lucro para o decisor do estágio fornecedor não compensa suficientemente os maiores riscos ambientais resultantes da coleta e descarte de um maior volume de materiais. Entretanto, ao observar-se uma mudança no esquema de ressuprimento s_i , o aumento no preço de *backorder* e a redução nos coeficientes do tempo de ressuprimento k_i (aumento do nível de serviço) mostram-se suficientes para este decisor abrir mão de um melhor desempenho ambiental, elevando a utilidade do fornecedor para acima dos valores obtidos com um s_i mais lento.

Nesse sentido, o fornecedor observa que dentre as opções de *buyback* inicialmente sondadas, um percentual de retorno de 90% fomentaria uma mudança na escolha de s_i pelo revendedor, apresentando o maior valor de utilidade para o fornecedor. Estes percentual, que levaria à contratação de $[s_4; 233.378]$ pelo revendedor (Tabela 6.3, linha 9), proporciona ao fornecedor a utilidade esperada de 0,905. Assim, seria possível obter um valor de utilidade esperada ainda superior ao obtido na ausência do mecanismo de coordenação.

Com o intuito de investigar a possibilidade de conseguir, no intervalo]80% ; 90%[valores de utilidade maiores que os até então obtidos, o estágio fornecedor resolve então realizar uma nova sondagem, refinando o levantamento inicialmente feito. Considerando agora as opções $\Delta = \{86\%, 88\%, 92\%, 94\%\}$ para retorno de itens não vendidos, o fornecedor submete nova consulta ao revendedor. Esclarecendo que as opções acima de 80% e abaixo de 100% se mostraram mais promissoras dentre as possibilidades de retorno inicialmente sondadas, o estágio fornecedor solicita ao revendedor que informe qual seria o seu pedido contratado para cada nova opção de recompra apresentada.

Após avaliação multiatributo das novas opções de *buyback* sondadas pelo fornecedor, o revendedor informa as respectivas soluções pretendidas para o SPP, representadas adiante juntamente com suas utilidades esperadas, não divulgadas ao primeiro (Tabela 6.4).

De posse deste novo conjunto de indicações de escolha enviado pelo revendedor, o decisor do elo fornecedor procede então à avaliação da utilidade dos novos pares $[s_i; Q]$ obtidos. Os resultados estão esquematizados na Tabela 6.5.

Tabela 6.4 – Refinamento da sondagem das soluções escolhidas pelo revendedor

Fonte: O autor

0.	Opção (Δ)	Escolha do Revendedor	$U^R(S_i; Q)$
1.	86%	[s ₃ ; 222.055]	0,893
2.	88%	[s ₄ ; 232.662]	0,849
3.	92%	[s ₄ ; 234.181]	0,853
4.	94%	[s ₄ ; 235.095]	0,856

Tabela 6.5 – Utilidade para o fornecedor das soluções escolhidas pelo revendedor na nova sondagem

Fonte: O autor

0.	Opção (Δ)	Escolha do Revendedor	$U^F[s_i; Q]$	$U_{\pi}^F[s_i; Q]$	$U_{NS}^F[s_i; Q]$	$U_{IA}^F[s_i; Q]$
1.	86%	[s ₃ ; 222.055]	0,893	0,903	0,927	0,838
2.	88%	[s ₄ ; 232.662]	0,904	0,928	0,949	0,803
3.	92%	[s ₄ ; 234.181]	0,904	0,931	0,950	0,794
4.	94%	[s ₄ ; 235.095]	0,804	0,932	0,951	0,789

Feita esta segunda sondagem, é possível constatar que a opção de retorno $\Delta=90\%$ proporcionou ao estágio fornecedor o maior valor de utilidade entre as opções propostas, conforme apresentado nas Tabelas 6.3 e 6.5. Considerando os resultados da sondagem satisfatórios após segunda consulta ao revendedor, a empresa fornecedora decide assim pela formalização de uma proposta de recompra de 90% das unidades não vendidas a um valor de \$20/unidade. Em face desta proposta, a empresa revendedora formaliza um pedido de contratação de um lote $Q^c = 233.378$ unidades e do esquema de ressuprimento emergencial s_4 ($k_i=0,5$) para contingência em um cenário de quebra de estoques. Assim, com a aplicação deste modelo de barganha, o estágio fornecedor da cadeia de suprimentos obtém uma utilidade esperada superior à obtida na ausência de coordenação. Por sua vez, o revendedor obtém uma utilidade esperada de 0,851, superior à utilidade esperada de 0,816 em um cenário de atuação desarticulada. O modelo se mostra, com isso, mutuamente atrativo para os dois estágios de uma cadeia de suprimentos operando sob uma abordagem multiatributo de SPP.

6.3 Análise de Sensibilidade

Para este modelo multiatributo de coordenação de uma CS descentralizada, a análise dos efeitos de mudanças de parâmetros sobre os resultados obtidos já se inicia no decurso da aplicação do modelo, dentro do processo de sondagem das respostas a diferentes valores de Δ realizado pelo fornecedor.

Adicionalmente, para a taxa de retorno de 90% encontrada pelo fornecedor, foram simulados os efeitos de perturbações no pedido $[s_4; Q^c]$ decorrentes de oscilações aleatórias no preço de recompra r oferecido pelo fornecedor. Foram simulados 10.000 casos de variação aleatória de r , de acordo com uma distribuição uniforme com limites $(1-25\%)r$ e $(1+25\%)r$, respectivamente.

A opção do tipo $[s_4; Q^c]$ permaneceu como a recomendada para todos os valores de r simulados. A distribuição dos tamanhos dos lotes de compra está graficamente representada no histograma da Figura 6.3:

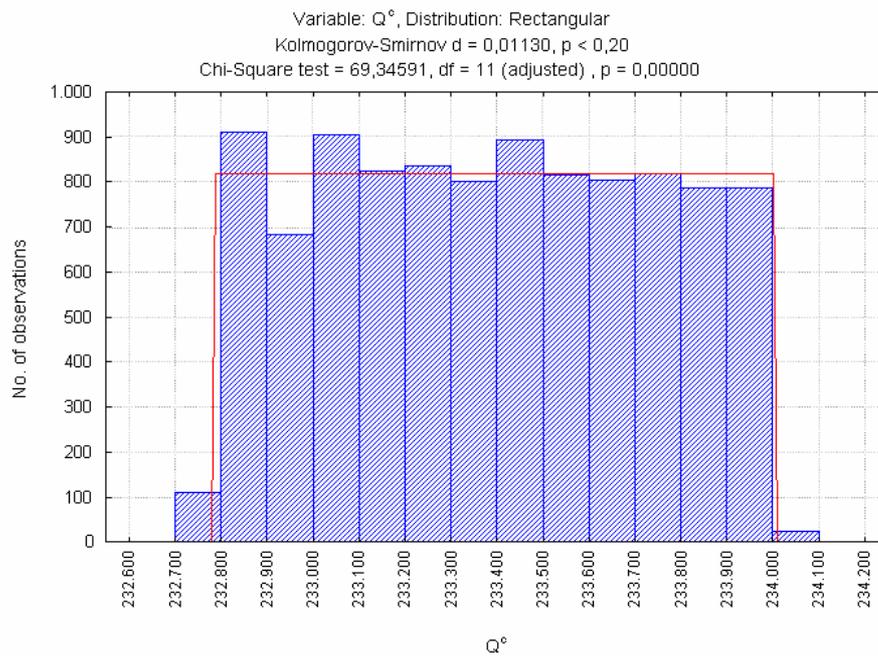


Figura 6.3– Histograma dos lotes de compra mediante oscilações no preço de buyback

Os dados apresentaram aderência a uma distribuição uniforme em teste de K-S para um nível de significância de 5%, sendo a hipótese rejeitada em teste Qui-Quadrado (Figura 6.3). Como se pode observar, os dados apresentaram um caráter multimodal, tendendo a seguir a aleatoriedade uniforme do preço de *buyback*. Para o intervalo $[15; 25]$, onde os valores de r foram aleatoriamente gerados, Q^c apresentou baixo coeficiente de variação (0,15%), com incremento máximo de 628 unidades e redução máxima de 592 unidades em relação ao lote de compromisso $Q^c = 233.378$ do revendedor.

Nesse sentido, dada a taxa de *buyback* de 90%, percebe-se que a natureza multiatributo das preferências do revendedor atua suavizando os efeitos que ruídos desta magnitude no preço de recompra podem causar sobre os resultados do modelo.

6.4 Discussão dos Resultados

Como afirmado no tópico 6.1.5, e exemplificado no experimento numérico apresentado, este modelo multiatributo de barganha para coordenação de uma CS descentralizada mostra-se mais complexo que os modelos monoatributo de maximização do lucro até então desenvolvidos. Isto decorre da natureza multidimensional das preferências dos decisores de cada elo da cadeia de suprimentos, bem como do caráter privativo (particular) não apenas das informações de custos operacionais, mas também da própria estrutura de preferências que rege as decisões de cada estágio.

Em virtude do caráter privado das preferências do revendedor, e da natureza mista das alternativas de decisão, compostas por um tamanho de lote Q^c contínuo e um esquema de contingência s_i discreto, não se torna possível a construção pelo fornecedor de uma função algébrica do percentual de recompra Δ a ser maximizada. Como visto na aplicação do modelo, mudanças no esquema de ressuprimento emergencial escolhido pelo revendedor causam descontinuidades em sua curva do lote de compra. Nesse sentido, a fim de negociar uma solução mais desejável que a escolhida pelo revendedor na ausência de coordenação, o fornecedor precisa realizar uma análise exploratória de opções discretas de Δ junto ao primeiro. O grau de refinamento desta análise e o sucesso do processo de barganha certamente dependerão da boa-vontade do revendedor em cooperar, de sua disponibilidade de tempo em analisar e responder às sondagens realizadas, bem como da percepção que este terá dos benefícios que podem ser advindos do mecanismo de coordenação via contratos com cláusulas de *buyback*.

Como pode ser visto na Tabela 6.2, as soluções escolhidas pelo revendedor mediante o mecanismo de *buyback*, para todos os percentuais de retorno propostos, proporcionaram-lhe um nível de utilidade multiatributo superior à solução de compromisso [s_3 ; 205.405] inicialmente pretendida. Isto se deveu ao fato de o retorno de produtos reduzir os prejuízos financeiros em um cenário de super-estocagem, elevando assim o lucro esperado e a utilidade esperada neste atributo para o revendedor. O aumento do lucro esperado fomentou-lhe um aumento no tamanho do lote, o que proporcionou também melhor nível de serviço pela redução do valor esperado da proporção de vendas perdidas. Adicionalmente, os efeitos do aumento no tamanho do lote, que produziria resultados de menor utilidade quanto a *Impactos Ambientais*, foram suficientemente compensados, para este decisor, pelo retorno de uma parte do possível excesso de estoques ao fornecedor, reduzindo-se com isso o risco ambiental com o descarte de produtos pelo revendedor.

Embora seja vantajoso para o revendedor, o mecanismo de retorno de produtos sob uma modelagem multiatributo nem sempre se mostra vantajoso para o fornecedor. Isto decorre do fato de que o presente modelo incorpora as preferências do fornecedor por outros objetivos, além do lucro, também impactados pelo aumento do pedido inicial. Dessa forma, o benefício de uma dada taxa de retorno de produtos para o fornecedor dependerá de suas preferências em cada atributo, bem como dos *trade-offs* estabelecidos entre estes. Como se pode observar nos resultados da Tabela 6.3, há para o fornecedor um aumento de utilidade no atributo *Lucro* à medida que o lote de compra do revendedor cresce com Δ , o que se alinha aos resultados encontrados nos modelos mono-objetivo de maximização do lucro esperado. Cresce também o desempenho das opções de Δ quanto ao *Nível de Serviço*, refletindo as preocupações com o atendimento ao cliente final (e a conseqüente longevidade do negócio) que também permeiam o fornecedor. Entretanto, uma vez que este estágio passa a ser envolvido na coleta de parte dos produtos não vendidos, e no descarte dos resíduos de materiais que ele não consegue reaproveitar, os impactos ambientais para o fornecedor crescem com o tamanho do lote Q^c . Com isso, reduz-se a utilidade esperada das alternativas, neste atributo, à medida que Δ aumenta, como pode ser observado na última coluna das Tabelas 6.3 e 6.5. A combinação e a compensação dos desempenhos em cada atributo, resultando uma utilidade global, fazem com que nem todos os percentuais de recompra Δ sejam preferíveis, para o fornecedor, a um cenário de cadeia desprovida de coordenação.

Dessa forma, é possível encontrar um mecanismo de *buyback* que também seja preferível, para o fornecedor, a atuar na cadeia de suprimentos de forma descoordenada, mas isto dependerá essencialmente dos balanços de desempenho que as opções de retorno terão frente aos múltiplos critérios de decisão. Estas compensações, que naturalmente não ocorrem nos modelos mono-atributo, incorporam uma maior complexidade dos problemas reais de decisão, mas amenizam as diferenças nos desempenhos globais das opções de retorno sondadas, o que leva a resultados de utilidade multiatributo mais próximos, conforme resultados da Tabela 6.3 e 6.5. Estes resultados corroboram a importância, observada nos dois modelos anteriores, de um cuidadoso processo de reflexão dos decisores sobre suas preferências, e de eliciação destas preferências para uma confiável tomada de decisão na coordenação de cadeias de suprimentos sob uma perspectiva multiatributo.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

7.1 Conclusões

O *single period problem* ou problema do jornaleiro permanece, para acadêmicos e profissionais do mercado, como um importante tema de pesquisa e uma útil ferramenta teórica para estudo de decisões de quanto pedir/produzir, assim como para análise de iniciativas de coordenação entre estágios de cadeias de suprimentos. Um dos motivos para o desenvolvimento de novos estudos neste tema, já amplamente estudado, é o desenvolvimento de produtos em mercados de rápido avanço tecnológico, onde os ciclos de vida de produtos tornam-se cada vez mais curtos e a gestão de estoques na cadeia de suprimentos torna-se cada vez mais complexa.

Neste trabalho, foi proposta e desenvolvida uma abordagem multiatributo para tratamento do *SPP*. Foi discutido que os modelos tradicionais de *SPP* são em sua maioria focados em objetivos de maximização do lucro ou minimização do custo, e portanto os mesmos se deparam com duas principais limitações: primeiramente, os custos de falta devido a vendas perdidas e à perda da boa-vontade dos clientes são difíceis de serem estimados em situações práticas. Em segundo lugar, os modelos mono-objetivo não abordam adequadamente os julgamentos de tomada de decisão sobre conseqüências não-monetárias tais como boa vontade dos clientes, imagem corporativa, e impactos ambientais das atividades do *newsvendor*. Nos dias atuais, para companhias atuando em mercados maduros ou altamente competitivos, o processo de tomada de decisão precisa refletir comprometimento com os clientes e responsabilidade ambiental nas atividades do negócio. Estes são importantes fatores para diferenciação competitiva de empresas e cadeias de suprimentos, melhorando a imagem corporativa e beneficiando o relacionamento com autoridades governamentais, regulatórias e comunidades locais.

Os modelos multiatributo de *SPP* propostos neste trabalho contribuem para superar estas limitações e explorar o problema do *newsvendor* sob um ponto de vista mais amplo de tomada de decisão. A seleção de um tamanho de lote e de um esquema de ressuprimento emergencial foi modelada considerando o lucro, os impactos do nível de serviço sobre o relacionamento e boa vontade dos clientes, e os impactos ambientais que podem ocorrer com o descarte de itens não vendidos. Estes atributos representam três diferentes dimensões de conseqüências que decisões envolvendo estoques podem causar em um contexto de *SPP*,

sendo tratados com uso de Teoria da Utilidade Multiatributo – MAUT (Keeney and Raiffa, 1976). Embora o uso de MAUT demande com frequência o auxílio de um analista de decisão para clarificar conceitos e auxiliar os decisores a serem consistentes em seus julgamentos, MAUT proporcionou uma sólida base teórica para traduzir as preferências dos decisores e os seus comportamentos em relação ao risco envolvendo os múltiplos critérios considerados.

Com base no *framework* de MAUT e de Análise da Decisão, os modelos apresentados nesta tese foram capazes não apenas de traduzir, por meio de funções utilidade, as preferências dos *newsvendors* e os seus comportamentos em relação ao risco. Os modelos também permitiram que a natureza conflitante de diferentes critérios de decisão fosse incorporada em funções utilidade aditivas utilizadas para avaliações individuais do *single period problem*. Pela aplicação de procedimentos de elicitação, *trade-offs* entre conseqüências de *Lucro*, *Nível de Serviço* e *Impactos Ambientais* puderam ser expressos pelos decisores de forma a obter soluções globais de compromisso entre os múltiplos atributos, o que não era visualizado nos modelos até então desenvolvidos.

Nestes modelos, foi considerada uma condição de *partial backlogging* ou retenção parcial de demanda em um cenário de quebra de estoques. Uma curva exponencial negativa foi assumida para a demanda em espera. Os resultados obtidos com a aplicação do primeiro modelo (Cap. 4) indicam que as soluções de compromisso proporcionam resultados mais desejáveis (maiores valores de utilidade) que as soluções de maximização de lucro. Considerando o problema do jornaleiro sob um ponto de vista multiatributo, estas soluções de compromisso representam um melhor equilíbrio entre as preocupações do decisor sobre lucro, nível de serviço e aspectos ambientais. Elas apresentam um melhor desempenho tendo como base os julgamentos de valor do decisor, expressos em uma medida de utilidade que traduz suas preferências multidimensionais.

Além disso, a aplicação do primeiro modelo também permite concluir que o comportamento de propensão/aversão ao risco sobre resultados monetários não é o único fator a aumentar ou reduzir o tamanho de lote Q em relação à formulação clássica do *critical fractile*. Aspectos não monetários, como critérios de nível de serviço e preocupações ambientais, podem também influenciar significativamente a avaliação subjetiva de um decisor quanto ao lote Q , assim como sua escolha sobre ações de ressuprimento emergencial.

No segundo modelo proposto, foi apresentada uma abordagem multiatributo para tratamento do *SPP* no contexto de uma cadeia de suprimentos de dois estágios verticalmente integrada. Nesta, tanto o estágio fornecedor como o estágio revendedor pertencem a uma

mesma corporação interessada na obtenção de uma solução de compromisso entre os distintos estágios da cadeia de suprimentos. Para este tipo de cadeia, o modelo foi desenvolvido com base na hipótese Bayesiana de grupo (Keeney & Kirkwood, 1975), realizando a agregação de preferências e atitudes em relação ao risco dos decisores representando os dois estágios da cadeia de suprimentos. Os resultados apontaram que o modelo proposto proporcionou aos decisores um valor de utilidade maior que o obtido caso agissem isoladamente e fossem consideradas apenas as escolhas do outro estágio da cadeia.

O terceiro modelo foi desenvolvido para o contexto de uma cadeia descentralizada com informações assimétricas, onde a estrutura de custos e a estrutura de preferências de cada estágio são informações reservadas aos mesmos. Neste modelo, a empresa revendedora deteve autonomia para escolher o tamanho do lote e o esquema de ressuprimento de seu interesse, contratando-o junto ao fornecedor. Por meio de um esquema de recompra (*buyback*) de uma fração dos itens não vendidos, o fornecedor é capaz de induzir o estágio revendedor/varejista a solicitar um vetor $[s_i, Q^c]$ que lhe proporcione maior grau de utilidade, ao passo que particularmente proporciona uma solução mais atrativa para o próprio revendedor. Resultados numéricos mostraram que as soluções escolhidas pelo revendedor, para todos os percentuais de retorno propostos pelo fornecedor, proporcionaram a este um nível de utilidade superior à sua solução de compromisso em um cenário de cadeia descoordenada. Entretanto, para o fornecedor, nem todas as opções de retorno se mostram preferíveis sob uma abordagem multiatributo, pois isto depende da combinação de desempenhos das opções de *buyback* frente às suas preferências entre os atributos *Lucro, Nível de Serviço e Impactos Ambientais*.

Como as análises de sensibilidade conduzidas para os modelos propostos indicaram, variações nos parâmetros envolvendo as constantes de escala e o preço de recompra refletem-se em mudanças no vetor solução $[s_i, Q^c]$ para estes modelos de *newsvendor*. Dessa forma, destaca-se a importância da realização cuidadosa dos procedimentos de elicitação de preferências de forma a se obter resultados que reflitam consistentemente as preferências e *trade-offs* dos agentes de decisão em um *SPP*.

7.2 Trabalhos Futuros

Diante dessas considerações, sugestões para futuros trabalhos podem ser feitas, destacando-se algumas:

- Sugere-se o desenvolvimento de um modelo multiatributo de decisão em grupo para cadeias formadas por três ou mais estágios que operem em *SPP*, envolvendo outros

agentes além de um fornecedor e de um revendedor em contato direto com o mercado consumidor;

- Recomenda-se também o desenvolvimento de modelos de *newsvendor* para tempos e tamanhos de lote discretos, bem como a consideração de outras formas para as funções utilidade além das adotadas neste texto.
- Sugere-se o estudo de novas e mais complexas hipóteses associadas ao *partial backlogging* em um cenário de quebra de estoques, com o uso de tempos de ressurgimento emergencial não lineares, estocásticos e o possível uso de distribuições de probabilidade para a taxa de retenção de demanda.
- Como oportunidade de desenvolvimentos adicionais dos modelos apresentados, pode-se modelar os impactos ambientais incorporando incerteza no parâmetro w_d (equações 4.9, 5.3, 6.3 e 6.6), para o qual uma abordagem bayesiana pode ser aplicada a fim de se obter distribuições de probabilidade com base no conhecimento de especialistas.
- Outros trabalhos podem ser desenvolvidos, para estudo de modelos multiatributo de coordenação de cadeias descentralizadas, explorando outros mecanismos de coordenação além dos contratos de *buyback*, tais como contratos de compartilhamento de receitas, descontos sobre preços, quantidades flexíveis etc.
- Por fim, sugere-se também o desenvolvimento de trabalhos que estudem a incorporação de novos atributos, além dos apresentados nesta tese, ao processo de decisão em estoques para cadeias de suprimento do tipo *SPP* inseridas em contextos distintos aos explorados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, P. L. Optimal price and order size for a reseller under partial backordering. *Computers & Operations Research*, v.28, p. 53-65, 2001.
- AGRAWAL, V.; SESHADRI, S. Impact of uncertainty and risk aversion on price and order quantity in the newsvendor problem. *Manufacturing & Service Operations Management*, v. 2 (4), p. 410-423, 2000.
- AGRELL, P. J. A multicriteria framework for inventory control. *International Journal of Production Economics*, v. 41, p. 59-70, 1995.
- ALFARES, H. K.; ELMORRA, H. H. The distribution-free newsboy problem: Extension to the shortages penalty case. *International Journal of Production Economics*, v. 93-94, p. 465-477, 2005.
- ALMEIDA, A. T. Multicriteria modelling of repair contract based on utility and ELECTRE I method with dependability and service quality criteria. *Annals of Operations Research*, v. 138, p. 113-126, 2005
- ALMEIDA, A. T. *O Conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. 2ª Edição. Recife: Editora Universitária, 2011.
- ALMEIDA, A. T; BOHORIS, G. A. Decision theory in the maintenance strategy of a standby system with gamma distribution repair time. *IEEE Transactions on Reliability*, v. 45(2), p. 216-219, 1996.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão*. Recife: Editora Universitária, 2003.
- ANVARI, M. Optimality criteria and risk in inventory models: the case of the newsboy problem. *Journal of the Operational Research Society*, v. 38(7), p. 625-632, 1987.
- ARSHINDER; KANDA, A; DESHMUKHS, S. G. Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *International Journal of Production Economics*, v. 115, p. 316-335, 2008
- _____. A framework for evaluation of coordination by contracts: A case of two-level supply chains. *Computers & Industrial Engineering*, v. 56, p. 1177-1191, 2009.
- AVIV, Y. The effect of collaborative forecasting on supply chain performance. *Management Science*, v. 47 (10), p. 1326–1343, 2001.
- AXSATER, S. A framework for decentralized multi-echelon inventory control. *IIE Transactions*, v. 33, p. 91–97, 2001.
- BADINELLI, R.D. A model for continuous-review pull policies in serial inventory systems. *Operations Research*, v. 40 (1), p. 142–156, 1992.

- BAKER, R.C.; URBAN, T.L. Single-period inventory dependent demand models. *Omega*, v. 16(6), p. 605–607, 1988.
- BALLOU, R.H. *Logística Empresarial: Transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas, 1993.
- BALLOU, R.H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial*. Porto Alegre,: Bookman, 5ª ed, 2006.
- BANDEIRA, R.A.; MELLO, L.C.; MAÇADA, A.C. Relacionamento interorganizacional na cadeia de suprimentos: um estudo de caso na indústria de construção civil. *Produção*, v. 19 (2), p. 376–387, 2009.
- BANERJEE, A. A joint economic lot size model for purchaser and vendor. *Decision Science*, v. 17 (3), p. 292–311, 1986a.
- BANERJEE, A. A quantity discount pricing model to increase vendor profits. *Management Science* v. 32 (8), p. 1513–1517, 1986b.
- BEN-DAYA, M.; DARWISH, M.; ERTOGRAL, K. The Joint Economic Lot Sizing Problem: Review and Extensions. *European Journal of Operational Research*, v. 185, p. 726-742, 2008.
- BENTON, W.C.; PARK, S. A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts. *European Journal of Operational Research*, v. 92, p. 219-238, 1996.
- BERGER, J.O. *Statistical decision theory and Bayesian analysis*. New York: Springer, 1985.
- BERNSTEIN, F.; FEDERGRUEN, A. Decentralized supply chains with competing retailers under demand uncertainty, *Management Science*, v. 51 (1), 18–29, 2005.
- BHATTACHARYA, C.B.; SEN, S. Doing better at doing good: When, why, and how consumers respond to corporate social initiatives. *California Management Review*, v. 47 (1), p. 9-24, 2004.
- BICHESCU, B. C.; FRY, M.J. A numerical analysis of supply chain performance under split decision rights. *Omega*, v. 37 (2), p. 358-379, 2009.
- BOUAKIZ, M.; SOBEL, M.J. Inventory control with an exponential utility criterion. *Operations Research*, v. 40(3), p. 603–608, 1992.
- BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J. *Logística empresarial: O processo de integração da caeia de suprimento*. São Paulo: Atlas, 2001.
- BRASIL. Lei nº 12.305: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 01/09/2011.
- BRITO, A.J; ALMEIDA, A.T. Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. *Reliability Engineering & Systems Safety*, v. 94, p. 187-198, 2009.

- BRITO, A.J; ALMEIDA FILHO, A.T.; ALMEIDA, A.T. Multi-criteria decision model for selecting repair contracts by applying Utility Theory and Variable Interdependent Parameters. *IMA Journal of Management Mathematics*, v. 21, p. 349-361, 2010.
- BRITO, M.P.; CARBONE, V.; BLANQUART, C.M. Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: Organization and Performance. *International Journal of Production Economics*, v. 114, 534-553, 2008.
- CACHON, G.P; LARIVIERE, M.A. Supply Chain Coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management Science*, v. 51(1), p. 30-34, 2005.
- CACHON, G.P.; ZIPKIN, P.H. Competitive and cooperative inventory policies in a two-stage supply chain. *Management Science*, v. 45 (7), p. 936–953, 1999.
- CAMPELLO DE SOUZA, F.M. *Decisões racionais em situações de incerteza*. 1ª Edição. Recife: Ed. Universitária, 2002.
- CHAABANE, A.; RAMUDHIN, A.; PAQUET, M. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, 2010, doi: 10.1016/j.ijpe.2010.10.025.
- CHANG, C.; LO, T. On the inventory model with continuous and discrete lead time, backorders and lost sales. *Applied Mathematical Modelling*, v. 33, 2196-2206, 2009.
- CHECKLAND P. B. *Soft Systems Methodology in Action*. Chichester: John Wiley and Sons, 1999.
- CHEN, F.Y. 94%-effective policies for a two-stage serial inventory system with stochastic demand. *Management Science*, v. 45 (12), p. 1679–1696, 1999.
- _____. Information sharing and supply chain coordination In: KOK, A.G.; GRAVES, CS (eds) *Handbooks in OR & MS*, v.11, p. 341-421, 2003.
- CHEN, F.Y.; KRASS, D. Inventory models with minimal service level constraints. *European Journal of Operational Research*, v. 134, p. 120-140, 2001.
- CHEN, F.Y.;YAN, H.; YAO, L. A newsvendor pricing game. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, V. 34(4), p. 450 – 456, 2004.
- CHEN, F.Y.; DREZNER, Z.; RYAN, J.K.; LEVI, D.S. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, v. 46 (3), p. 436–443, 2000.
- CHEN, T.H.; CHEN, J.M. Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination. *Transportation Research Part E*, v. 41 (4), p. 261–285, 2005.
- CHEN, S-P.; HO, Y-H. Analysis of the newsboy problem with fuzzy demands and incremental discounts. *International Journal of Production Economics*, v. 129, 169-177, 2011.

- CHEN, X.; SIM, M.; SIMCHI-LEVI, D. ; SUN, P. Risk aversion in inventory management. *Operations Research*, v. 55(5), 828-842, 2007.
- CHOI, T-M.; CHIU, C-H. Mean-downside-risk and mean-variance newsvendor models: Implications for sustainable fashion retailing. *International Journal of Production Economics*, 2010, doi: 10.1016/j.ijpe.2010.10.004.
- CHRISTENSEN, J.B. ; JENSEN, D.L. ; GRON, C.; FILIP, Z.; CHRISTENSEN, T.H. Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate-polluted groundwater. *Water Research*, v. 32 (1), 125-135, 1998.
- CHRISTENSEN, T.H. ; KJELDSSEN, P. BJERG, P.L.; JENSEN, D.L. ; CHRISTENSEN, J.B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H. , HERON, G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, v. 16 , 659-718, 2011.
- CLARK, A.; SCARF, H. Optimal policies for a multiechelon inventory problem. *Management Science*, v. 6 (4), p. 475–490, 1960.
- CLIFT, R.; WRIGHT, L. Relationships between environmental impacts and added value along the supply chain. *Technological Forecasting and Social Change*,v.65, p. 281-295, 2000.
- CORRÊA, H. L. *Gestão de redes de suprimento: Integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado*. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- CROWTHER, J.F. Rationale for quantity discounts. *Harvard Business Review*, v. 42, p. 121-127, 1967.
- CRUZ, J.M. Dynamics of supply chain networks with corporate social responsibility through integrated environmental decision-making. *European Journal of Operational Research*, v. 184, p. 1005-1031, 2008.
- _____. The impact of corporate social responsibility in supply chain management: Multicriteria decision-making approach. *Decision Support Systems*, v. 48, p. 224-236, 2009.
- CUNHA, V.; ZWICKER, R. Antecedentes do relacionamento e da performance em empresas da cadeia de suprimentos: estruturação e aplicação de modelos de equações estruturais. *RAE*, v. 49 (2), p. 147-161, 2009.
- DIAS, L.C.; CLÍMACO, J.N. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software. *Journal of Operational Research Society*, v. 51(9), 1070-1082, 2000.
- DOLAN, R.J. A normative model of industrial buyer response to quantity discounts. In: JAIN, S.C. (ed) *Research Frontiers in Marketing: Dialogues and Directions*. American Marketing Association, Educators Series, v. 43, 121-125, 1978.
- DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. Preference disaggregation and statistical learning for multicriteria decision support: A review. *European Journal of Operational Research*, v. 209, 203-214, 2011.

- DUTTA, P.; CHAKRABORTY, D. ROY, A.R. A single period inventory model with fuzzy random variable demand. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 41, p. 915-922, 2005.
- DYER, J.H.; CHO, D.S.; CHU, W.J. Strategic supplier segmentation: the next best practice in supply chain management. *California Management Review*, v. 40 (2), p. 57, 1998.
- EDEN, C.; ACKERMANN, F. 'SODA - The Principles', in Rosenhead, J.; Mingers, J. (ed.), *Rational Analysis in a Problematic World Revisited*. pp.21-42. London: Wiley, 2001.
- ECKHOUDT, L.; GOLLIER, C.; SCHLESINGER, H. The risk averse (and prudent) newsboy. *Management Science*, v. 1995 (41), p. 786-794, 1995.
- EPPEN, G.D.; IYER, A.V. Backup agreements in fashion buying – The value of upstream flexibility. *Management Science*, v.43, p. 1469-1484, 1997.
- FABIAN, T. Supply chain management in an era of social and environmental accountability. *Sustainable Development International*, v. 2, p. 27-30, 2000.
- FATHI, Y.; NUTTLE, H.L.W. Maximin vs. expected profit and the faithful newsboy problem.. *IIE Transactions*, v.19 (2) , p. 238-240, 1987.
- FEDERGRUEN, A.; ZHENG, Y. The joint replenishment problem with general joint cost structures. *Operations Research*, v. 40 (2), p. 384–403, 1992.
- FELDMAN, S.,J.; SOYKA, P.A.; AMEER, P. Does improving a firm's environmental management system and environmental performance result in a higher stock price? *The Journal of Investing*, v.6 (4), p. 87-97, 1997.
- FIALA, P. Information sharing in supply chains. *Omega*, v 33, 419-423, 2005.
- FIANI, R. *Teoria dos Jogos para cursos de administração e economia*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- FISHER, M.L.; RAMAN, A.; MCCLELLAND, A.S. 1994. Rocket science retailing is almost here: Are you ready? *Harvard Business Review* v. 72 (3), p. 83–93, 1994.
- FISHMAN, G.S. *Monte Carlo: Concepts, algorithms and applications*. New York: Springer-Verlang, 1996.
- GALLEGO, G.; MOON, I. The distribution free newsboy problem: review and extensions. *Journal of the Operational Research Society*, v. 44(8), 824-834, 1993.
- GIANNOCARO, I; PONTRANDOLFO, P. Supply Chain coordination by revenue sharing contracts. *International Journal of Production Economics*, v. 89, 131-139, 2004.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. Rio de Janeiro: Atlas, 3a Edição, 2009.
- GOMEZ_PADILLA, A.; MISHINA, T. Supply contract with options. *International Journal of Production Economics*, v. 122, p. 312-318, 2009.

- GOYAL, S.K. An integrated inventory model for a single supplier single customer problem. *International Journal of Production Research* v.15 (1), p. 107–111, 1976.
- _____. Comment on: A generalized quantity discount pricing model to increase supplier's profits. *Management Science* v. 33 (12), p. 1635–1636, 1987a.
- _____. Determination of a supplier's economic ordering policy. *Journal of Operational Research Society*, v. 38, 853-857, 1987b.
- _____. An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem. *International Journal of Production Research*, v. 15, 107-111, 1977
- _____. Determination of economic packaging frequency for items jointly replenished. *Management Science*, v.20 (2), p. 232–235, 1973.
- GOYAL, S.K; GUPTA, Y.P. Integrated Inventory models: The buyer-vendor coordination. *European Journal of Operational Research*, v.41, 261-269, 1989.
- GURNANI, H. A study of quantity discount pricing models with different ordering structures: order coordination, order consolidation and multi tier ordering hierarchy. *International Journal of Production Economics* v. 72 (3), p. 203–225, 2001.
- HANDFIELD, R.B.; NICHOLS, E.L. *Introduction to Supply Chain Management*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1999.
- HAU, A. Comparative statics of changes in risk on monotonically and partially responsive kinked payoffs. *European Journal of Operational Research*, v. 201, p. 267-276, 2010.
- HILL, R.M. The single vendor, single buyer integrated production inventory model with a generalized policy. *European Journal of Operational Research* ,v. 97 (3), p. 493–499, 1997.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. *Introduction to Operations Research*. New York: McGraw Hill, 8th ed., 2005.
- HSIEH. C-C; WU, C-H.; HUANG, Y-J. Ordering and pricing decisions in a two-echelon supply chain with asymmetric demand information. *European Journal of Operational Research*, v. 190, p. 509-525, 2008.
- HSIEH. C-C; LU, Y-T. Manufacturer's return policy in a two-stage supply chain with two risk-averse retailers and random demand. *European Journal of Operational Research*, v. 207, p. 514-523, 2010.
- HU, W.; KIM, S.; BARNEJEE, A. An inventory model with partial backordering and unit backorder cost linearly increasing with the waiting time. *European Journal of Operational Research*, v.197, 581-587, 2009.
- ILGIN, M.A.; GUPTA, S.M. Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. *Journal of Environmental Management* v. 91, p. 563–591, 2010.

- JABER, M.Y; GOYAL, S.K. Coordinating a three-level supply chain with multiple suppliers, a vendor e multiple buyers. *International Journal of Production Economics*, v. 116, p. 95-103, 2008.
- JACQUET-LAGRÈZE, E.; SISKOS, Y. Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European Journal of Operational Research*, v. 10 (2), 151-164, 1982.
- _____. Preference disaggregation: 20 years of MCDA experience. *European Journal of Operational Research*, v.130 (2), 233-245, 2001.
- JEULAND, A.P.; SHUGAN, S.M. Managing channel profits. *Marketing Science*, v.2., p. 239-272, 1983.
- JHA, J.K; SHANKER, K. Two-echelon supply chain inventory model with controllable lead time and service level constraint. *Computers & Industrial Engineering*, v.57, p. 1096-1104, 2009.
- JIMÉNEZ, J.B; LORENTE, J.J.C. Environmental performance as an operations objective. *International Journal of Operations & Production Management*, v.21 (12), p. 1553-1572, 2001.
- JOGLEKAR, P.N. Comments on “A quantity discount pricing model to increase vendor profits. *Management Science*, v. 34 (11), p. 1391-1398, 1988.
- JUCKER, J.V.; ROSENBLATT M.J. Single period inventory models with demand uncertainty and quantity discounts: behavioral implications and a new solution procedure. *Naval Research Logistics Quarterly*, v. 32, p. 537-550, 1985.
- KABAK, I.; SCHIFF, A. Inventory models and management objectives. *Sloan Management Review*, v. 10, p. 53-59, 1978.
- KAINUMA, Y.; TAWARA, N. A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management. *International Journal of Production Economics*, v. 101, p. 99-108, 2006.
- KANDEL, E. The right to return. *Journal of Law and Economics*, v. 39, p. 329-356, 1996.
- KAO, C.; HSU, W-K. A single-period inventory model with fuzzy demand. *Computers & Mathematic with Applications*, v. 43, p. 841-848, 2002.
- KARLIN, S.; CARR, C.R. Prices and optimal inventory policy. In: SCARF, H.; ARROW, K.; KARLIM, S. (eds). *Studies in Applied Probability and Management Science*. Stanford, CA.: Stanford University Press, 1962.
- KEENEY, R. L.; KIRKWOOD, C.W. Group decision making using cardinal social welfare functions. *Management Science*, v. 22 (4), p. 430-437, 1975.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. New York: John Wiley & Sons, 1976.

- KEENEY, R. L. The art of assessing multiattribute utility functions. *Organizational Behavior and Human Performance*, v. 19, p. 267-310, 1977.
- KEREN, B.; PLISKIN, J.S. A benchmark solution for the risk-averse newsvendor problem. *European Journal of Operational Research*, v. 174, p. 1643-1650, 2006.
- KHOUJA, M. The newsboy problem under progressive multiple discounts. *European Journal of Operational Research*, v. 84, p. 458-466, 1995.
- _____. A note on the newsboy problem with an emergency supply option. *Journal of Operational Research Society*, v. 47, p. 1530-1534, 1996.
- _____. The single-period (newsvendor) problem: literature review and suggestions for future research. *Omega*, v. 27 (2), p. 537-553, 1999.
- _____. Optimal ordering, discounting, and pricing in the single-period problem. *International Journal of Production Economics*, v. 65, p. 201-216, 2000.
- KOHLI, R., PARK, H. A cooperative game theory model of quantity discounts. *Management Science* v. 35 (6), p. 693–707, 1989.
- KUMAR, G.S. Newsboy problem revisited. *Production Engineer*, 67, 22-23, 1988.
- LAL, R.; STAELIN, R. An approach for developing an optimal discount pricing policy. *Management Science*, v. 30 (12), p. 1524–1539, 1984.
- LAM, S.M; WONG, D.S. A fuzzy mathematical model for the joint economic lot size problem with multiple price breaks. *European Journal of Operational Research*, v. 95, p. 611-622, 1996.
- LARIVIERE, M; PORTEUS, E. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts. *Manufacturing & Service Operations Management*, v. 3 (4), 293–305, 2001.
- LAU, A. H. L. The newsboy problem under alternative optimization objectives. *Journal of Operational Research Society*, v. 31, p. 525-535, 1980.
- LAU, A. H. L; LAU, H.S. The newsboy problem with price-dependent demand distribution. *IIE Transactions*, v. 20(2), p. 168–175, 1988.
- LAU, A. H. L; LAU, H.S.; WANG, J.C. How a dominant retailer might design a purchase contract for a newsvendor-type product with a price-sensitive demand. *European Journal of Operational Research*, v. 190, p. 443–458, 2008.
- LEE, H.L.; LODREE JR., E.J. Modeling customer impatience in a newsboy problem with time-sensitive shortages. *European Journal of Operational Research*, v. 205, p. 595-603, 2010.
- LEE,C.C.; CHU, W.H.J. Who should control inventory in supply chain? *European Journal of Operational Research*, v. 164, p. 158-172, 2005.
- LEE, H.L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management Science*, v. 43 (4), p. 546–558, 1997.

- LEE, H. L.; PADMANABHAN, V; WHANG, S. The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, v. 38 (3), p. 93–102, 1997.
- LEE, H.L.; ROSENBLATT, M.J. A generalized quantity discount pricing model to increase supplier profits. *Management Science* v. 32 (9), p. 1177-1185, 1986.
- LEE, H.L., SO, K.C., TANG, CS The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science*, v. 46 (5), p. 626–643, 2000.
- LEE, H.L.; WHANG, S. Decentralized Multi-Echelon Supply Chains: Incentives and Information. *Management Science*, v. 45 (5), p. 633-640, 1999.
- LEE, H.L; WU, J.C. A study on inventory replenishment policies in a two-echelon supply chain system. *Computers & Industrial Engineering*, v. 51, p.257–263, 2006.
- LENARD, J.D.; ROY, B. Multi-item inventory control: A multicriteria view. *European Journal of Operational Research*, v. 87, p. 685-692, 1995.
- LENG, M.; ZHU, A. Side-payment contracts in two-person nonzero-sum supply chain games: Review, discussion and applications. *European Journal of Operational Research*, v. 196, p. 600-618, 2009.
- LEUNG, K.F. A generalization of sensitivity of the inventor model with partial backorders. *European Journal of Operational Research*, v.196, 554-562, 2009.
- LEYVA-LÓPEZ, J.C.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, E. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. *European Journal of Operational Research*, v. 148, p. 14-27, 2003.
- LI, J.; LIU, L. Supply chain coordination with quantity discount policy. *International Journal of Production Economics*, v. 101, p. 89-98, 2006.
- _____. Supply chain coordination with manufacturer's limited reverse capacity: An extended newsboy problem. *International Journal of Production Economics*, v. 112, p. 860-868, 2008.
- LI, S.; HUANG, Z.; ASHLEY, A. Improving buyer seller system cooperation through inventory control. *International Journal of Production Economics* v. 43 (1), p. 37–46, 1996.
- LI, X.; WANG, Q. Coordination mechanisms of supply chain systems. *European Journal of Operational Research*, v. 179, p. 1-16, 2007.
- LI, Y.; RICHARDSON, J.B.; BRICKA, R.M.; NIU, X.; YANG, H.; LIN, L.; JIMENEZ, A. Leaching of heavy metals from E-waste in simulated landfill columns. *Waste Management*, v.29, p. 2147-2150, 2009.
- LIAO, Y.; BARNEJEE, A.; YAN, C. A distribution-free newsvendor model with balking and lost sales penalty. *International Journal of Production Economics*, 2010, doi: 10.1016/j.ijpe.2010.04.024.

- LIM, S-R.; SCHOENUNG, J.M. Human health and ecological toxicity potentials due to heavy metal contents in waste electronic devices with flat panel displays *Journal of Hazardous Materials*, v. 177, p. 251-259, 2010.
- LIN, C.; KROLL, D.E. The single-item newsboy problem with dual performance measures and quantity discounts. *M. Journal of Operational Research Society*, v. 100, p. 562-565, 1997.
- LIU, J.; ZHANG, S.; HU, J. A case study of an inter-enterprise workflow-supported supply chain management system. *Information and Management* v. 42 (3), p. 441–454, 2005.
- LODREE JR., E.J. Advanced supply chain planning with mixtures of backorders, lost sales and lost contract. *European Journal of Operational Research*, v. 181, p. 168-183, 2007.
- LODREE JR, E.J.; KIM, Y.; JANG, W. Time and quantity dependent waiting costs in a newsvendor problem with backlogged shortages. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 47, p. 60-71, 2008.
- MANTRALA, M.K; RAMAN, K. Demand uncertainty and supplier's returns policies for a multi-store style-good retailer. *European Journal of Operational Research*, v. 115, p. 270-284, 1999.
- MARKOWITZ, H.M. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment*. New York : John Wiley & Sons, 1959.
- METROPOLIS, N.; ULAM, S. The Monte Carlo Method. *Journal of the American Statistical Association*, v. 44, p. 335-341, 1949.
- MILLS, E.S. Uncertainty and price theory. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 73(1), p. 116–130, 1959
- MONAHAN, J.P. A quantity discount pricing model to increase vendor profits. *Management Science* v. 30 (6), p. 720–726, 1984.
- MONTGOMERY, D.C., BAZARAA, M.S.; KESWANI, A.K. Inventory models with a mixture of backorders and lost sales. *Naval Research Logistics Quarterly*, v. 20, 255-263, 1973.
- MOON, I.; CHOI, S. The distribution free continuous review inventory system with a service level constraint. *Computers & Industrial Engineering*, v. 27 (1-4), p. 209–212, 1994.
- MOREIRA, D.A. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Pioneira, 5^a ed., 2000.
- MOSES, M.; SESHADRI, S. Policy mechanisms for supply chain coordination. *IIE Transactions*, v. 32, p. 245-262, 2000.
- MOSTARD, J.; KOSTER, R.; TEUNTER, R. The distribution free newsboy problem with resalable returns. *International Journal of Production Economics*, v. 97, p. 329-342, 2005.
- MOSTARD, J.; TEUNTER, R. The newsboy problem with resalable returns: A single period model and case study. *European Journal of Operational Research*, v. 169, p. 81–96, 2006.

- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. *Journal of Global Optimization*, v.12, 157-174, 1998.
- MOUSSEAU, V. ; FIGUEIRA, J.; NAUX, J. Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: some experimental results. *European Journal of Operational Research*, v.130, 263-275, 2001.
- NAGURNEY, A.; TOYASAKI, F. Supply chain supernetworks and environmental criteria. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v.8 (3), 185–213, 2003.
- NEUMAN, J.; SAMUELS, C. Supply chain integration: vision or reality? *Supply Chain Management*, v.1 (2), p. 7-10, 1996.
- PADMANABHAN, V.; PNG, I.P.L. Manufacturer's returns policies and retailer's competition. *Marketing Science*, v. 16 (1), p. 81–94, 1997.
- PASTERNAK, B.A. Optimal pricing and return policies for perishable commodities. *Marketing Science*, v.4 (2), p. 166–176, 1985.
- PENTICO, D.W.; DRAKE, M. J.; TOEWS, C. The deterministic EPQ with partial backordering: A new approach. *Omega* v. 37, 624-636, 2009.
- PETROVIC, D; PETROVIC, R. VUJOSEVIC, M. Fuzzy models for the newsboy problem. *International Journal of Production Economics*, v. 45, p. 435-441, 1996.
- PISTIKOPOULOS, E.N.; HUGO, A. Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, v. 13(15), 1428–1448, 2005.
- POWER, D. Supply chain management integration and implementation: a literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 10 (4), p. 252-263, 2005.
- PYKE, D.F.; COHEN, M.A. Performance characteristics of stochastic integrated production distribution systems. *European Journal of Operational Research* v. 68 (1), p. 23–48, 1993.
- QIN, Y.; WANG, R.; VAKHARIA, A.J.; CHEN, Y.; SEREF, M.M. The newsvendor problem: Review and directions for future research. *European Journal of Operational Research* , 2010, DOI 10.1016/j.ejor.2010.11.024.
- RAIFFA, H. *Decision analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1970.
- RAO, P.; HOLT, D. Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Operations and Production Management*, v. 25 (9), p. 898-916, 2005.
- REID, R. D.; SANDERS, N. R. *Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- RIORDAN, M. H. Uncertainty asymmetric information and bilateral contracts, *The Review of Economic Studies* v. 51 (1) p. 83–93, 1984.

- ROSENBLATT, M.J.; LEE, H.L. Improving profitability with quantity discounts under fixed demand. *IIE Transaction* v. 17 (4), p. 388–395, 1985.
- ROSLING, K., 1989. Optimal inventory policies for assembly systems under random demands. *Operations Research*, v. 37 (4), p. 565–579, 1989.
- ROY, B. *Methodologie Multicritère d'aide à la Decision*. Paris: Económica, 1995.
- ROY, B. *Multicriteria methodology for Decision Aiding*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- RUSHTON, A.; OXLEY, J.; CROUCHER, P. *The Handbook of Logistics Distribution Management*. London: Kogan Page, 2000.
- RYU, K.; YÜCESAN, E. A fuzzy newsvendor approach to supply chain coordination. *European Journal of Operational Research*, v. 200, p. 421-438, 2010.
- SAAB JUNIOR, J.Y.; CORRÊA, H.L. Cadeia de abastecimento: Gestão de estoque pelo distribuidor. *RAE*, v. 48 (1), p. 48-62, 2008.
- SANDERS, N.R. Pattern of information technology use: The impact on buyer–supplier coordination and performance. *Journal of Operations Management* v. 26 (3), p. 349–367, 2008.
- SAN JOSÉ, L.A.; SICILIA, J. GARCÍA-LAGUNA, J. Analysis of an inventory system with exponential partial backordering. *International Journal of Production Economics*, v. 100, p. 76-86, 2006.
- SARMAH, S.P; ACHARYA, D.; GOYAL, S.K. Buyer vendor coordination models in supply chain management. *European Journal of Operational Research*, v. 175, p. 1-15, 2006.
- SCHWARZ, L.B. A simple continuous review deterministic one-warehouse n-retailer inventory problem. *Management Science*, v. 19 (5), p. 555–566, 1973.
- SEURING, S. Integrated chain management and supply chain management comparative analysis and illustrative cases. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, p. 1059–1071, 2004.
- SILVER, E.A. A simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand. *Management Science*, v.22 (12), p. 1351–1361, 1976.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. *Designing and Managing the Supply Chain*. London: McGraw-Hill, 1999.
- SUCKY, E. A bargaining model with asymmetric information for a single supplier–single buyer problem. *European Journal of Operational Research*, v. 171, p. 516-535, 2006.
- SVORONOS, A.; ZIPKIN, P. Estimating the performance of multi-level inventory systems. *Operations Research*, v. 36 (1), p. 57–72, 1988.
- TAYLOR, A.T. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. *Management Science*, v.48 (8), p. 992–1007, 2002.

- TEMPELMEIER, H. On the stochastic uncapacitated dynamic single-item lotsizing problem with service level constraints. *European Journal of Operational Research*, v. 181, p. 184-194, 2007.
- THAKKARM R.B.; FINLEY, D.R.; LIAO, W.M. A stochastic demand CVP model with return on investment criterion. *Contemporary Accounting Research*, v. 1, p. 77-86, 1983.
- THOMAS, D.J.; GRIFFIN, P.M. Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, v. 94, p. 1-15, 1996.
- TSAY, A.A.; LOVEJOY, W.S. Quantity flexibility contracts and supply chain performance. *Manufacturing and Service Operations Management*, v.1 (2), p. 89-111, 1999.
- URBAN, T.L. The interdependence of inventory management and retail shelf management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 32(1), p. 41-58, 2002.
- URBAN, T.L.; BAKER, R.C. Optimal ordering and pricing policies in a single-period environment with multivariate demand and markdowns. *European Journal of Operational Research*, v.103(3), p. 573-583, 1997.
- VIJAYAN, T.; KUMARAN, M. Inventory models with a mixture of backorders and lost sales under fuzzy cost. *European Journal of Operational Research* v. 189, p. 105-119, 2008.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. Bruxelles: Wiley, 1992.
- VISWANATHAN, S.; WANG, Q. Discount pricing decisions in distribution channels with price sensitive demand. *European Journal of Operational Research* v. 149 (3), p. 571-587, 2003.
- VON NEUMANN, J; MORGENSTERN, O. *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1944.
- WAGNER, H.M.; WHITIN, T. Dynamic version of the economic lot size model. *Management Science*, v. 5 (1), p. 89-96, 1958.
- WALKER, H.; DI SISTO, L.; McBAIN, D. Drivers and barriers to environmental supply chain management. *Journal of Purchasing & Supply Management*, v.14, p. 69-85, 2008.
- WANDERLEY, A. L. A educação da função utilidade multiatributo. Recife, 2008. 91p. (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica/ UFPE).
- WANG, C.X. A general framework of supply chain contract models. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 7 (5), p. 302-310, 2002b.
- WANG, C.X.; WEBSTER, S. The loss-averse newsvendor problem. *Omega*, v. 37, p. 93-105, 2009.
- WANG, F.; XIAOFAN, L.; SHI, N. A Multi-objective Optimization for Green Supply Chain Network Design. *Decision Support Systems*, v.51, p. 262-269, 2011.

- WANG, Q. Determination of supplier's optimal quantity discount schedules with heterogeneous buyers. *Naval Research Logistics*, v. 49 (1), p. 46–59, 2002a.
- WANG, Q.; CHAY, Y.; WU, Z. A simple coordination strategy for a decentralized supply chain. Working Paper, Nanyang Business School, Nanyang Technological University, Singapore, 2006.
- WANG, Q.; TSAO, D-B. Supply contract with bidirectional options: The buyer's perspective. *International Journal of Production Economics*, v. 101, p. 30-52, 2006.
- WANG, X.; LIU, L. Coordination in a retailer-led supply chain through option contract. *International Journal of Production Economics*, v. 110, p. 115-127, 2007.
- WANKE, P. *Gestão de Estoques na cadeia de suprimentos*. São Paulo: Atlas, 2008.
- WENG, Z.K. Channel coordination and quantity discounts. *Management Science*, v. 41 (9), p. 1509–1522, 1995.
- _____. Pricing and ordering strategies in manufacturing and distribution alliances. *IIE Transactions*, v. 29(8), p.681–692, 1997.
- _____. Coordinating order quantities between the manufacturer and the buyer: A generalized newsvendor model. *European Journal of Operational Research*, v. 156, p. 148-161, 2004.
- WENG, Z.K.; MCCLURG, T. Coordinated ordering decisions for short life cycle products with uncertainty in delivery time and demand. *European Journal of Operational Research*, v. 151, p. 12-24, 2003.
- WENG, Z.K.; WONG, R.T. General models for the supplier's all unit quantity discount policy. *Naval Research Logistics*, v. 40 (7), p. 971–991, 1993.
- WHITIN, T.M. Inventory control and price theory. *Management Science*, v. 2, p. 61-68, 1955.
- WONG, W.K.; QI, J.; LEUNG, S.Y.S. Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor managed inventory. *International Journal of Production Economics*, v. 120, p. 151-161, 2009.
- WU, Z.; PAGELL, M. Balancing priorities: Decision-making in sustainable supply chain management. *Journal of Operations Management*, v.29, p. 577-590, 2011.
- YANG, S.; SHI, C.V.; ZHAO, X. Optimal ordering and pricing decisions for a target oriented newsvendor. *Omega*, v. 39, p. 110–115, 2011.
- YAO, M.J.; CHIOU, C.C. On a replenishment coordination model in an integrated supply chain with one vendor and multiple buyers. *European Journal of Operational Research*, v. 159 (2), p. 406–419, 2004.
- YUE, J.; WANG, M-C.; CHEN, B. Mean-range based distribution-free procedures to minimize “overage” and “underage” costs. *European Journal of Operational Research*, v. 176, p. 1103–1116, 2007.

- ZELENEY, M. *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill, 1982.
- ZHAO, X.; XIE, J.; ZHANG, W.J. The impact of information sharing and ordering coordination on supply chain performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 7 (1), p. 24–40, 2002.
- ZHAO, Y.; WANG, S.; CHENG, T.C.E.; YANG, X.; HUANG, Z. Coordination of supply chains by option contracts; A cooperative game theory approach. *European Journal of Operational Research*, v. 207, p. 668–675, 2010.
- ZHENG, Y.; ZIPKIN, P. A queuing model to analyze the value of centralized inventory information. *Operations Research* v. 38 (2), p. 296–307, 1990.
- ZHOU, Y-W.; LAU, H.S.; YANG, S-L. A finite horizon lot-sizing problem with time-varying demand and waiting-time-dependent partial backlogging. *International Journal of Production Economics*, v. 91, p. 109-119, 2004.
- ZHOU, Y-W.; WANG, S-D. Manufacturer-buyer coordination for newsvendor-type-products with two ordering opportunities and partial backorders. *European Journal of Operational Research*, v. 198, p. 958-974, 2009.
- ZOPOUNIDIS C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*, v.138, p. 229-246, 2002.

ANEXO 1

Considerando a independência em utilidade dos dois agentes de decisão do modelo fornecedor-revendedor de cadeia de suprimentos centralizada (Seção 5.1), a função utilidade do grupo W^{CS} assume a forma já apresentada na equação 5.5:

$$W^{CS}(\hat{c}) = \gamma^F U^F(\hat{c}) + \gamma^R U^R(\hat{c}) + \gamma^{FR} U^F(\hat{c}) U^R(\hat{c}) \quad (5.5)$$

Calculando analiticamente o valor esperado de 5.5, e considerando sua propriedade estatística de aditividade, verifica-se que:

$$\begin{aligned} \underset{s_i, Q}{Max} E[W^{CS}(\hat{c})] &= E\{\gamma^F U^F(\hat{c}) + \gamma^R U^R(\hat{c}) + \gamma^{FR} U^F(\hat{c}) U^R(\hat{c})\} \\ &= E[\gamma^F U^F(\hat{c})] + E[\gamma^R U^R(\hat{c})] + E[\gamma^{FR} U^F(\hat{c}) U^R(\hat{c})] \\ &= \gamma^F E[U^F(\hat{c})] + \gamma^R E[U^R(\hat{c})] + \gamma^{FR} E[U^F(\hat{c}) U^R(\hat{c})] \end{aligned} \quad (A.1)$$

Por sua vez, ao apresentarem a propriedade de independência aditiva, as funções utilidade multiatributo U^F e U^R assumem as seguintes formas:

$$U^F(c) = U^F[c(s_i; Q)] = \lambda_1^F u_\pi^F(s_i; Q) + \lambda_2^F u_{NS}^F(s_i; Q) + \lambda_3^F u_{IA}^F(s_i; Q) \quad (A.2)$$

$$U^R(c) = U^R[c(s_i; Q)] = \lambda_1^R u_\pi^R(s_i; Q) + \lambda_2^R u_{NS}^R(s_i; Q) + \lambda_3^R u_{IA}^R(s_i; Q) \quad (A.3)$$

Substituindo estas expressões em A.1, obtem-se:

$$\begin{aligned} \underset{s_i, Q}{Max} E[W^{CS}(s_i; Q)] &= \\ &= \gamma^F E[\lambda_1^F \cdot u_\pi^F(s_i; Q) + \lambda_2^F u_{NS}^F(s_i; Q) + \lambda_3^F u_{IA}^F(s_i; Q)] + \gamma^R E[\lambda_1^R u_\pi^R(s_i; Q) + \lambda_2^R u_{NS}^R(s_i; Q) + \lambda_3^R u_{IA}^R(s_i; Q)] \\ &+ \gamma^{FR} E\{[\lambda_1^F u_\pi^F(s_i; Q) + \lambda_2^F u_{NS}^F(s_i; Q) + \lambda_3^F u_{IA}^F(s_i; Q)] \cdot [\lambda_1^R u_\pi^R(s_i; Q) + \lambda_2^R u_{NS}^R(s_i; Q) + \lambda_3^R u_{IA}^R(s_i; Q)]\} \end{aligned} \quad (A.4)$$

Aplicando novamente a propriedade aditiva do valor esperado nas expressões entre colchetes, obtem-se:

$$\begin{aligned} \underset{s_i, Q}{Max} E[W^{CS}(c)] &= \gamma^F \{ \lambda_1^F E[u_\pi^F(s_i; Q)] + \lambda_2^F E[u_{NS}^F(s_i; Q)] + \lambda_3^F E[u_{IA}^F(s_i; Q)] \} \\ &+ \gamma^R \{ \lambda_1^R E[u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \\ &+ \gamma^{FR} \lambda_1^F \{ \lambda_1^R E[u_\pi^F(s_i; Q) u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_\pi^F(s_i; Q) u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_\pi^F(s_i; Q) u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \\ &+ \gamma^{FR} \lambda_2^F \{ \lambda_1^R E[u_{NS}^F(s_i; Q) u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_{NS}^F(s_i; Q) u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_{NS}^F(s_i; Q) u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \\ &+ \gamma^{FR} \lambda_3^F \{ \lambda_1^R E[u_{IA}^F(s_i; Q) u_\pi^R(s_i; Q)] + \lambda_2^R E[u_{IA}^F(s_i; Q) u_{NS}^R(s_i; Q)] + \lambda_3^R E[u_{IA}^F(s_i; Q) u_{IA}^R(s_i; Q)] \} \end{aligned} \quad (5.9)$$

Substituindo acima os operadores E por suas respectivas expressões de cálculo (equações 5.10 a 5.12), obtem-se por fim a seguinte expressão a ser numericamente maximizada:

$$\begin{aligned}
& \underset{s_i, Q}{\text{Max}} E[W^{CS}(s_i; Q)] = \\
& \left. \left. \left. \left. \lambda_1^F \left[\int_0^Q u_{\pi}^F [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] f(x) dx \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. + \int_Q^{\infty} u_{\pi}^F \{ (p - c)Q + (p - c'_i)(x - Q) e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x - Q)(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} f(x) dx \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. \lambda_2^F \left[\int_0^Q u_{NS}^F(0) f(x) dx + \int_Q^{\infty} u_{NS}^F \left[\frac{(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x - Q)}{x} \right] f(x) dx \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. \lambda_3^F \left[\int_0^Q \int_0^L u_{IA}^F(y) j(y | Q, x) f(x) dy dx + \int_Q^{\infty} u_{IA}^F(0) f(x) dx \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. \lambda_1^R \left[\int_0^Q u_{\pi}^R [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] f(x) dx \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. + \int_Q^{\infty} u_{\pi}^R \{ (p - c)Q + (p - c'_i)(x - Q) e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x - Q)(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} f(x) dx \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. \lambda_2^R \left[\int_0^Q u_{NS}^R(0) f(x) dx + \int_Q^{\infty} u_{NS}^R \left[\frac{(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x - Q)}{x} \right] f(x) dx \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \left. \lambda_3^R \left[\int_0^Q \int_0^L u_{IA}^R(y) j(y | Q, x) f(x) dy dx + \int_Q^{\infty} u_{IA}^R(0) f(x) dx \right. \right. \right. \right. \\
& + \dots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left. \begin{aligned}
& \lambda_1^R \left[\int_0^Q u_\pi^F [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] \cdot u_\pi^R [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] f(x) dx \right. \\
& \left. + \int_Q^\infty u_\pi^F \{ (p-c)Q + (p-c'_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x-Q)(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} u_\pi^R \{ (p-c)Q + (p-c'_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x-Q)(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} f(x) dx \right] \\
& + \gamma^{FR} \lambda_1^F \cdot \left[\int_0^Q u_\pi^F [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] \cdot u_{NS}^R(0) f(x) dx \right. \\
& \left. + \int_Q^\infty u_\pi^F \{ (p-c)Q + (p-c'_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x-Q)(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} \cdot u_{NS}^R \left[\frac{(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] f(x) dx \right] \\
& + \lambda_3^R \left[\int_0^Q \int_0^L u_\pi^F [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] \cdot u_{IA}^R(y) j(y|Q, x) f(x) dy dx \right. \\
& \left. + \int_Q^\infty u_\pi^F \{ (p-c)Q + (p-c'_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x-Q)(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} \cdot u_{IA}^R(0) f(x) dx \right] \\
& \left. \lambda_1^R \left[\int_0^Q u_{NS}^F(0) \cdot u_\pi^R [(h_{CS} - v'\phi + p)x - (c + h_{CS} - v'\phi)Q] f(x) dx \right. \right. \\
& \left. \left. + \int_Q^\infty u_{NS}^F \left[\frac{(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] \cdot u_\pi^R \{ (p-c)Q + (p-c'_i)(x-Q)e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x-Q)(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} f(x) dx \right] \right] \\
& + \gamma^{FR} \lambda_2^F \cdot \left[\int_0^Q u_{NS}^F(0) \cdot u_{NS}^R(0) f(x) dx \right. \\
& \left. + \int_Q^\infty u_{NS}^F \left[\frac{(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] \cdot u_{NS}^R \left[\frac{(1-e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] f(x) dx \right] \\
& + \dots
\end{aligned}
\right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \gamma^{FR} \lambda_2^F \cdot \left\{ \lambda_3^R \left[\int_0^Q \int_0^L u_{NS}^F(0) u_{IA}^R(y) j(y|Q, x) f(x) dy dx \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \int_Q^\infty u_{NS}^F \left[\frac{(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] \cdot u_{IA}^R(0) f(x) dx \right] \right\} \\
& + \gamma^{FR} \lambda_3^F \cdot \left\{ \lambda_1^R \left[\int_0^Q \int_0^L u_{IA}^F(y) \cdot u_{\pi}^R [(h_{CS} - v' \phi + p)x - (c + h_{CS} - v' \phi)Q] j(y|Q, x) f(x) dy dx \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \int_Q^\infty u_{IA}^F(0) \cdot u_{\pi}^R \{ (p-c)Q + (p-c'_i)(x-Q) e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)} - l_{CS}(x-Q)(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)}) \} f(x) dx \right] \right. \\
& \quad \left. + \lambda_2^R \left[\int_0^Q \int_0^L u_{IA}^F(y) u_{NS}^R(0) j(y|Q, x) f(x) dy dx \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \int_Q^\infty u_{IA}^F(0) \cdot u_{NS}^R \left[\frac{(1 - e^{-\alpha k_i \kappa(x-Q)})(x-Q)}{x} \right] f(x) dx \right] \right. \\
& \quad \left. + \lambda_3^R \left[\int_0^Q \int_0^L u_{IA}^F(y) \cdot u_{IA}^R(y) j(y|Q, x) f(x) dy dx \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \int_Q^\infty u_{IA}^F(0) \cdot u_{IA}^R(0) f(x) dx \right] \right\}
\end{aligned}$$

Onde $L = (1 - \Phi) \delta_d(Q - x)$