

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL

EDUARDO DE OLIVEIRA PACHECO

**UMA POLÍTICA DE CONTROLE DINÂMICO DE ESTOQUES EM
UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL COM INCERTEZA NA
DEMANDA DE MERCADO USANDO EVENTOS DISCRETOS**

TESE

CURITIBA

2017

EDUARDO DE OLIVEIRA PACHECO

**UMA POLÍTICA DE CONTROLE DINÂMICO DE ESTOQUES EM
UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL COM INCERTEZA NA
DEMANDA DE MERCADO USANDO EVENTOS DISCRETOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de “Doutor em Ciências” - Área de Concentração: Engenharia de Computação.

Orientador: Prof^o. Dr. Ricardo Lüders

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Pacheco, Eduardo de Oliveira
P116pUma política de controle dinâmico de estoques em um a
2017 cadeia de suprimentos serial com incerteza na demanda de
mercado usando eventos discretos / Eduardo de
OliveiraPacheco.-- 2017.
100 f.: il.; 30 cm

Texto em português com resumo em inglês
Disponível também via World Wide Web
Tese (Doutorado) – Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e
Informática Industrial, Curitiba, 2017
Bibliografia: f. 92-98

1. Logística empresarial. 2. Controle de estoque. 3.
Distribuição de mercadorias. 4. Simulação (Computadores). 5.
Métodos de simulação. 6. Engenharia elétrica – Teses. I.Lüders,
Ricardo. II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e
Informática Industrial. III. Título.

CDD: Ed. 22 – 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

TERMO DE APROVAÇÃO DE TESE Nº155

A Tese de Doutorado intitulada “**Uma Política de Controle Dinâmico de Estoques em uma Cadeia de Suprimentos Serial com Incerteza na Demanda de Mercado Usando Eventos Discretos**”, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Eduardo de Oliveira Pacheco**, no dia 29 de junho de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Doutor em Ciências, área de concentração Engenharia de Computação, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Ricardo Lüders - Presidente – (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Daniel Pacheco Lacerda – (UNISINOS)

Prof(a). Dr(a). Cassius Tadeu Scarpin– (UFPR)

Prof(a). Dr(a). Lúcia Valéria Ramos de Arruda– (UTFPR)

Prof(a). Dr(a). Leandro Magatão - (UTFPR)

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 29 de junho de 2017.

*Dedico este trabalho aos meus filhos Vinícius,
Otavio e Daniel pela paciência, carinho e confiança
nos momentos difíceis que passamos.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Lüders pela paciência, dedicação, amizade, confiança depositada e por tudo que com ele, pude aprender.

À Coordenadoria para Aperfeiçoamento do Ensino Superior (CAPES) e a UTFPR - CPGEI pelo apoio concedido no exterior, através do financiamento deste projeto (BEX 10445/14-5), sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, Aramis (*in memoriam*) e Nilza pela educação, carinho e formação proporcionada.

Aos meus colegas do doutorado UTFPR - CPGEI.

Aos professores que participaram da comissão examinadora. E também por dar oportunidade a uma nova forma de ver os fatos.

A Prof. Catedrática Dra. Ana Paula Barbosa Póvoa do Centro de Estudos de Gestão do Instituto Superior Técnico (IST) - Universidade de Lisboa. Pelos seus conselhos e contribuições em momentos importantes na condução deste estudo no exterior.

Da mesma forma agradeço ao Prof. Dr. Salvatore Cannella da Industrial Management & Business Administration Department I, School of Engineering, University of Seville - Seville, Spain. Pelas suas contribuições sobre métricas de desempenho e auxílio na estrutura do trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e ajuda.

Aqueles que afirmam descobrir tudo, mas não produzem provas de suas afirmações, podem estar enganados, fingindo descobrir o impossível.

*Arquimedes de Siracusa
287 a.C. - 212 a.C.*

RESUMO

PACHECO, Eduardo de Oliveira. UMA POLÍTICA DE CONTROLE DINÂMICO DE ESTOQUES EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL COM INCERTEZA NA DEMANDA DE MERCADO USANDO EVENTOS DISCRETOS. 100 f. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Um dos desafios na operação de uma cadeia de suprimentos é a definição de uma política de controle dos estoques de forma a manter a estabilidade dos estoques, evitando a amplificação da demanda ao longo da cadeia e atendendo adequadamente o cliente. A política de controle do estoque determina o momento (ponto de pedido) e a quantidade (tamanho do lote) adequada de reposição dos estoques nos diferentes elos da cadeia. Esta tese propõe um novo procedimento de atualização do ponto de pedido e do lote de reposição para uma política Order-Up-To-Level (OUTL) de controle dinâmico de estoques em sistemas de revisão contínua. Este procedimento altera a política OUTL clássica ao introduzir o conceito de estoque de absorção, caracterizado pela demanda de mercado e pelo lead time de cada elo da cadeia, que ajusta o ponto de pedido e o tamanho do lote a partir da ocorrência de eventos. Para tanto, uma cadeia de suprimentos mono-produto composta de três níveis produtivos (varejista, distribuidor e manufatura) é simulada por eventos discretos considerando incerteza na demanda. O desempenho da cadeia de suprimentos é avaliado por métricas para o efeito chicote, nível de serviço ao cliente, responsividade, nível e ruptura do estoque, tamanho do lote e ponto de reposição. Os resultados mostram redução do efeito chicote, melhora no nível de serviço, redução da variabilidade dos lotes e melhor estabilidade dos estoques quando comparados com a política OUTL clássica.

Palavras-Chave: Cadeia de suprimentos. Política de controle Order-Up-To-Level. Efeito chicote. Controle de estoque. Simulação de eventos discretos.

ABSTRACT

PACHECO, Eduardo de Oliveira. A DYNAMIC INVENTORY CONTROL POLICY IN A SERIAL SUPPLY CHAIN WITH MARKET DEMAND UNCERTAINTY USING DISCRETE EVENTS. 100 f. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The inventory control policy is a challenge in supply chain operation. It has to maintain inventory stability by avoiding amplification of the market demand in the supply chain levels while keeping good custom service. The inventory control policy determines the correct time (reorder point) and quantity (lot size) to fill inventories of the supply chain levels. This thesis proposes a new procedure to update both reorder points and lot sizes for an inventory control policy Order-Up-To-Level (OUTL) in continuous review systems. The new procedure modifies the classical OUTL policy by introducing the concept of absorption inventory characterized by the market demand and lead time in each chain level. This procedure updates order points and lot sizes when particular events have occurred. A mono-product supply chain composed by three levels (retailer, distribution, and manufacturing) is simulated by a discrete event simulation considering uncertainty in demand. The supply chain performance is evaluated by several metrics taking into account the bullwhip effect, customer service level, responsiveness, inventory level and stock out, and lot sizes and reorder points. The results show that the bullwhip effect and lot size variability are reduced, service level is improved, and inventories are stable when compared with the classical OUTL policy.

Keywords: Supply chain. Order-Up-To-Level policy. Bullwhip effect. Inventory control. Discrete event simulation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- SCN serial e SCN divergente.....	22
FIGURA 2	- Cadeia de suprimentos serial (SSC).....	23
FIGURA 3	- Diagrama de causa e efeito da cadeia de suprimentos serial com Três níveis produtivos.....	24
FIGURA 4	- Políticas de controle e suas adaptações.....	27
FIGURA 5	- Comportamento temporal da cadeia de suprimentos em tempo discreto.....	30
FIGURA 6	- Comportamento temporal da cadeia de suprimentos por eventos.....	31
FIGURA 7	- Dinâmica da absorção da demanda.....	35
FIGURA 8	- Dinâmica da absorção do lead time.....	37
FIGURA 9	- Diagrama de causa e efeito do estoque de absorção.....	40
FIGURA 10	- Políticas de controle e a política proposta (tracejado).....	42
FIGURA 11	- Amplificação da demanda na cadeia de suprimentos.....	45
FIGURA 12	- Diagrama de causa e efeito para uma Cadeia de Suprimentos Serial.....	57
FIGURA 13	- Histograma da demanda prevista.....	58
FIGURA 14	- Histograma da demanda real.....	58
FIGURA 15	- Histograma da demanda real e prevista.....	58
FIGURA 16	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (A) cenário I.....	59
FIGURA 17	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (B) cenário I.....	60
FIGURA 18	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (C) cenário I.....	60
FIGURA 19	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (A) cenário II.....	61
FIGURA 20	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (B) cenário II.....	61
FIGURA 21	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (C) cenário II.....	62
FIGURA 22	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (A) cenário III.....	62
FIGURA 23	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (B) cenário III.....	63
FIGURA 24	- Gráfico da demanda de mercado Grupo (C) cenário III.....	63
FIGURA 25	- Gráfico do nível dos estoques [Grupo (A) - política OUTL - C].....	66
FIGURA 26	- Gráfico do nível dos estoques [Grupo (C) - política OUTL - C].....	66
FIGURA 27	- Gráfico do nível dos estoques [Grupo (A) - política OUTL - P].....	67
FIGURA 28	- Gráfico do nível dos estoques [Grupo (C) - política OUTL - P].....	67
FIGURA 29	- Gráfico do ângulo de inclinação da métrica <i>InvInSl</i> [proposto e clássico] (Grupo (A)).....	69
FIGURA 30	- Gráfico do ângulo de inclinação da métrica <i>InvInSl</i> [proposto e clássico] (Grupo (B)).....	70
FIGURA 31	- Gráfico do ângulo de inclinação da métrica <i>InvInSl</i> [proposto e clássico] (Grupo (C)).....	70
FIGURA 32	- Gráfico do lote de reposição [Grupo (A) - política OUTL-C].....	72
FIGURA 33	- Gráfico do lote de reposição [Grupo (C) - política OUTL-C].....	72
FIGURA 34	- Gráfico do lote de reposição [Grupo (A) - política OUTL-P].....	73
FIGURA 35	- Gráfico do lote de reposição [Grupo (C) - política OUTL-P].....	73
FIGURA 36	- Gráfico do ângulo de inclinação da métrica <i>BwSl</i> [proposto e clássico] (Grupo (A)).....	75
FIGURA 37	- Gráfico do ângulo de inclinação da métrica <i>BwSl</i> [proposto e clássico] (Grupo (B)).....	76
FIGURA 38	- Gráfico do ângulo de inclinação da métrica <i>BwSl</i> [proposto e clássico] (Grupo (C))	76

FIGURA 39 - Gráfico da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupo (A), (B) e (C))	81
FIGURA 40 - Gráfico da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupo (A), (B) e (C))	81
FIGURA 41 - Gráfico da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupo (A), (B) e (C)).....	82
FIGURA 42 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica $BwSl$ para absorção da demanda (Δd^i) (Grupos (A), (B) e (C)).....	83
FIGURA 43 - Lead time estimado (Grupo (A)).....	86
FIGURA 44 - Lead time estimado (Grupo (B)).....	86
FIGURA 45 - Lead time estimado (Grupo (C)).....	86

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- Parâmetros e variáveis da política de controle.....	32
TABELA 2	- Notação das métricas de desempenho.....	44
TABELA 3	- Fenômenos do efeito chicote e seus custos.....	52
TABELA 4	- Métricas de desempenho para absorção.....	53
TABELA 5	- Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal (d, σ) para os cenários I, II e III do Grupo (A) com σ igual a 17619 unid./mês.....	59
TABELA 6	- Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal (d, σ) para os cenários I, II e III do Grupo (B) com σ igual a 20000 unid./mês.....	60
TABELA 7	- Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal (d, σ) para os cenários I, II e III do Grupo (C) com σ igual a 30000 unid./mês.....	62
TABELA 8	- Parâmetros para os três níveis da CSS	64
TABELA 9	- Parâmetros de simulação	64
TABELA 10	- Nível dos estoques (Grupos (A), (B) e (C)).....	65
TABELA 11	- Métrica $InvVrR$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	68
TABELA 12	- Métrica de inclinação $InvInSl$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	69
TABELA 13	- Lote de reposição (Grupos (A), (B) e (C)).....	71
TABELA 14	- Métrica $OrVrR$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	74
TABELA 15	- Métrica de inclinação $BwSl$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	75
TABELA 16	- Ponto de pedido (Grupos (A), (B) e (C)).....	77
TABELA 17	- Ruptura dos estoques (Grupos (A), (B) e (C)).....	78
TABELA 18	- Nível de serviço - $Fill Rate$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	78
TABELA 19	- Tempo médio mensal de ruptura do estoque (Grupos (A), (B) e (C)).....	79
TABELA 20	- Absorção da demanda (Grupos (A), (B) e (C)).....	80
TABELA 21	- Métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupos (A), (B) e (C))	80
TABELA 22	- Métrica $BwSl$ para absorção da demanda (Grupos (A), (B) e (C)).....	82
TABELA 23	- Métrica de absorção do $lead time$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	84
TABELA 24	- Métrica do $lead time$ estimado (Grupos (A), (B) e (C)).....	84
TABELA 25	- Métrica do $lead time$ estimado e do impacto de responsividade (Grupos (A), (B) e (C)).....	85
TABELA 26	- Estoque de absorção da demanda (Grupos (A), (B) e (C)).....	87
TABELA 27	- Estoque de absorção do $lead time$ (Grupos (A), (B) e (C)).....	88

LISTA DE SIGLAS

ATO	Assembly to Order
BWE	Bullwhip Effect
CS	Cadeia de Suprimentos
CSS	Cadeia de Suprimentos Serial
DTO	Design to Order
ETO	Engineering to Order
FR	Fill Rate
MTO	Make to Order
MTS	Make to Stock
OUTL-C	Política de Controle Clássica (Order-Up-To-Level)
OUTL-P	Política de Controle Proposta (Order-Up-To-Level) ajustável
SCN	Supply Chain Network

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivo Específico.....	16
1.2	Motivação e Justificativa.....	16
1.3	Contribuição.....	17
1.4	Organização do Trabalho.....	18
2	MODELAGEM DA POLÍTICA DE CONTROLE PROPOSTA.....	20
2.1	Preliminares.....	20
2.1.1	Estrutura da Cadeia de Suprimentos.....	21
2.1.2	Políticas de Controle de Estoque.....	25
2.1.3	Tempo Discreto vs. Evento Discreto.....	30
2.2	Absorção da Demanda.....	31
2.3	Absorção do Lead Time.....	35
2.4	Estoque de Absorção.....	38
2.4.1	Absorção nos Níveis a Montante da CSS.....	38
2.5	Diagrama de Causa e Efeito do Estoque de Absorção.....	39
2.6	Contextualização da Tese na Literatura.....	40
2.7	Conclusão do Capítulo.....	42
3	MÉTRICAS DE DESEMPENHO.....	43
3.1	Métricas de desempenho na Literatura.....	43
3.1.1	Efeito Chicote.....	45
3.1.2	Responsividade.....	49
3.1.3	Nível de Serviço.....	50
3.1.4	Estoque por Nível.....	51
3.2	Comportamento dos Níveis da Cadeia de Suprimentos.....	51
3.3	Métricas Propostas de Absorção.....	52
3.4	Conclusão do Capítulo.....	56
4	SIMULAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL.....	57
4.1	Parametrização da Cadeia de Suprimentos Serial com Três Níveis Produtivos.....	57
4.2	Pressupostos da Simulação.....	64
4.3	Experimentos e Resultados.....	65
4.4	Discussão.....	88
4.5	Conclusão do Capítulo.....	89
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
	APÊNDICES.....	99

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas de armazenagem tinham como objetivo garantir a sobrevivência das civilizações em épocas de escassez através da simples técnica de produzir alimentos, estocar e posteriormente consumir. Com o desenvolvimento das cidades e o crescimento da população foram adicionados ao problema: o transporte, o roubo e a rápida deterioração ou obsolescência dos produtos. Deste modo, os primeiros passos para o gerenciamento de estoques estavam sendo dados. Com o desenvolvimento da manufatura após o advento da revolução industrial no século XVIII, sistemas de estoques cada vez maiores se tornaram necessários para garantir o abastecimento dos centros consumidores e sua gestão tomou um impulso de grandes proporções. Neste contexto, pode-se destacar a relevância dada ao fluxo de materiais e a disponibilidade de produtos aos clientes como elemento principal na sua gestão.

Na atualidade, o conceito de produzir, estocar e consumir torna-se obsoleto e a gestão dos sistemas de armazenagens assume novos paradigmas através dos conceitos de gestão que englobam as organizações e suas cadeias de suprimentos Ballou (2001). Cadeia de Suprimentos (CS) pode ser definida como um conjunto de entidades diretamente envolvidas nos fluxos anteriores e posteriores dos produtos, serviços, finanças e/ou informações, desde o ponto de origem até o consumo do produto final nos centros consumidores (MENTZER et al., 2001).

Devido à sua complexidade e ao número de variáveis que podem ser envolvidas, o conceito de CS é estendido e assume um papel mais abrangente onde as organizações preocupam-se com as suas atividades (competências) e descentralizam através da utilização de parceiros as suas atividades relacionadas ao suprimento (gestão dos estoques), produção, gestão da demanda, vendas, distribuição de produtos, desenvolvimento de novos produtos entre outros. Isto se deve, principalmente, à internacionalização e globalização da economia onde cada vez mais, existe a necessidade de atender a demandas em diferentes países ou em localidades dentro do mesmo país. Deste modo, surgem novos desafios para o gerenciamento das CS e estes são relacionados com as incertezas na demanda, o tempo ideal de resposta, as métricas de desempenho, a construção do modelo estrutural adequado a realidade, a política de controle ideal para os estoques, o nível de serviço ao cliente, o lançamento e projeto de novos produtos entre outros.

Para atender a estes novos desafios a comunidade científica tem dado a sua parcela de contribuição, através dos estudos que envolvem modelos matemáticos, políticas de controle, otimização das cadeias de suprimentos e simulação, mais precisamente a utilização de técnicas de engenharia de controle que são abordadas com grande frequência na literatura acadêmica. Por exemplo, a técnica de Controle Nebuloso (*Fuzzy*) foi utilizada para solucionar problemas relacionados à política de controle de estoques e adaptação da manufatura a uma nova realidade produtiva, conforme discutido nos trabalhos de Buckley, Feuring e Hayashi (2001), Kumar; Ramakrishna (2011). A técnica de Controle Ótimo foi adaptada para analisar problemas relacionados a sistemas produtivos com níveis de estoques dependentes das características de demanda Khmelnitsky; Gerchak (2002). Já a técnica de Controle com Restrições, foi ajustada para estudar sistemas múltiplos-inventários sob ação da multiplicação das incertezas da demanda, ao longo dos níveis da cadeia de suprimentos considerando restrição de capacidade produtiva Blanchini; Pesenti (2001). Outras técnicas, por exemplo, a Programação Linear, abordando problemas de política de controle em cadeias de suprimentos através da simulação, de acordo com o estudo de Oliveira; Carvalho (2004) ou no trabalho de Villegas; Smith (2006) que analisa o comportamento de cadeias de suprimentos dinâmicas. Comparando o compromisso (*Trade-off*) entre o comportamento dinâmico dos estoques e a reposição dos estoques, utilizando ordens de produção variável. No contexto da otimização, destaca-se a Otimização com Simulação. No trabalho de April, Fu e Glover (2005), foi proposta uma pesquisa (*survey*) abordando os principais modelos de simulação, uma extensão deste trabalho é a proposta discutida nos trabalhos de April et al.(2006), Pessoa et al.(2010) através da implementação de um modelo de simulação com otimização para emergência médicas. O trabalho de Fu (2002) aborda o problema de simulação sob o ponto de vista da complexidade da simulação e Cigolini et al.(2014) um estudo mostra como a configuração estrutural de uma cadeia de suprimentos, pode impactar no seu desempenho e ser utilizada para otimizar modelos determinísticos ou estocásticos, através da técnica de Eventos Discretos. Seguindo esta linha de pensamento, muitos trabalhos analisam as estruturas das cadeias de suprimentos sob o enfoque dinâmico e geralmente estão baseados nos fluxos de informações e de materiais, ao longo dos seus níveis produtivos frente a incertezas, como a Dinâmica Industrial (*Industrial Dynamics*), por exemplo, discutida nos trabalhos de (FORRESTER, 1961; TOWILL; DEL VECCHIO, 1994; STERMAN, 2000; KHATOR; DESHMUKH, 2002; SARIMVEIS et al., 2008).

De um modo geral a simulação tem sido utilizada com grande frequência em sistemas dinâmicos a tempo discreto (*System Dynamics - SD*) ou por eventos discretos (*Discrete Event Simulation - DES*), para estudar o comportamento dinâmico e mensurar o desempenho da cadeia de suprimentos através de métricas de acordo com os trabalhos de Kleijnen; Smits (2003), Kleijnen (2005), Tako; Robinson (2012). As métricas mais estudadas são o efeito chicote (*Bullwhip Effect*), a taxa de entrega (*Fill Rate*), a ruptura de estoque (*Stock Out*), a instabilidade dos estoques (*Inventory Instability*) e foram discutidas nos trabalhos de Cannella et al.(2013), Tako; Robinson (2012). Por outro lado, as abordagens que tratam dos problemas que envolvem o controle dos níveis dos estoques na cadeia de suprimentos, ou seja, as políticas de controle são em maioria baseadas em modelos em tempo discreto, tendo como origem as políticas de controle clássicas e suas extensões, considerando os seus parâmetros invariantes no tempo (BABAI; DALLERY, 2009; BABAI et al., 2009).

Motivado por estas considerações, esta tese propõe uma política de controle dinâmico e investiga o desempenho dinâmico de uma cadeia de suprimentos serial, composta por três níveis produtivos quando comparada com a política de controle estático (clássico). A cadeia de suprimentos serial (CSS) é simulada usando eventos discretos não determinísticos de acordo com as considerações discutidas em Banks et al.(2004), Cigolini et al.(2014). Um procedimento de atualização capaz de ajustar a política de controle clássico (*Order-Up-To-Level, OUTL-C*) em sistema de revisão contínua é proposto, especificamente para o ponto de pedido e lote de reposição, de acordo com os parâmetros para a demanda e *lead time*. Com os ajustes dinâmicos nos parâmetros da CSS, espera-se mitigar o efeito das incertezas da demanda ao longo da cadeia de suprimentos serial. O desempenho dinâmico é avaliado em termos das métricas para o efeito chicote (*Bullwhip Effect - BWE*), nível de serviço ao cliente (*customer service level*), responsividade (*reponsiveness*), ruptura de estoque (*Stock Out*), nível de estoque (*Stock Level*), parâmetros para a demanda e *lead time*, e das reposições dos produtos no estoque (*replenishment*).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é investigar, através da simulação, o comportamento de uma política de controle dinâmico para a gestão da Cadeia de Suprimentos Serial (CSS) sob ação de incertezas do mercado consumidor frente à chegada de eventos de demanda não

determinísticos e propor um procedimento de ajuste do ponto de pedido e do lote de reposição.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- I. Modelar uma Cadeia de Suprimentos Serial (CSS) composta de três níveis produtivos baseado no fluxo de informações e de materiais.
- II. Identificar os principais aspectos que influenciam no desempenho da CSS.
- III. Propor uma política de controle dinâmico caracterizada pelo ponto de pedido e lote de reposição baseada nos parâmetros para demanda e *lead time*.
- IV. Propor métricas de desempenho para os parâmetros da demanda e *lead time*.
- V. Simular a CSS utilizando abordagem por eventos discretos e comparar o comportamento dinâmico da política de controle proposta com a política de controle clássica, através da avaliação de métricas de desempenho.

1.2 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Sistemas Dinâmicos (*SD*) e Simulação por Eventos Discretos (*DES*) são duas abordagens ideais para serem utilizadas na modelagem de cadeias de suprimentos sob ação de incertezas de acordo com o trabalho de Tako; Robinson (2012). Entretanto, o que se observa na literatura acadêmica, é que a grande maioria dos estudos está voltada para os aspectos estáticos, ou seja, com parâmetros da cadeia de suprimentos conhecidos e invariantes no tempo, utilizando a metodologia analítica. A política de controle (r, Q) e suas derivadas são largamente utilizadas em sistema de revisão contínua. A cadeia de suprimentos mais estudada é a serial com um ou dois níveis produtivos e poucos trabalhos estudam cadeia de suprimentos divergentes, considerando os trabalhos mais relevantes sobre o assunto, segundo Dominguez, Framinan e Cannella (2014). Os problemas analisados têm como principal contribuição a otimização com parâmetros constantes, onde se destacam o *lead time*, o ponto de pedido e o lote de reposição, tendo como base a redução dos custos de produção, dos estoques, de escassez de produtos e totais (SILVER; PETERSON, 1985; CHEN, 1998; TEMPELMEIER; FISCHER, 2010).

Os trabalhos que utilizam abordagem dinâmica concentram-se em modelos com parâmetros variáveis, os parâmetros mais estudados são o ponto de pedido, cuja variação está baseada na dinâmica da demanda prevista e no nível de serviço e para o lote de reposição, a variação está relacionada à redução dos custos totais dos estoques. A simulação é largamente

utilizada em tempo discreto, considerando a demanda estacionária com baixa variabilidade. Em escala reduzida têm-se trabalhos em simulação por eventos discretos com demanda estocástica, segundo os trabalhos de Babai; Dallery (2009), Babai et al.(2009). A política de controle dinâmico (*OUTL-C*) e suas extensões são muito utilizadas, mas geralmente é abordada em sistemas de revisão periódica de acordo com os trabalhos de Dominguez, Framinan e Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015). Poucos estudos tratam a política de controle dinâmico (*OUTL-C*) em sistema de revisão contínua e em alguns casos sob o ponto de vista de controle ótimo (CHEN; DISNEY, 2007).

Conforme discutido anteriormente, observam-se pontos ou questões relevantes na literatura acadêmica que podem ser considerados como lacunas (*gaps*) e são apresentadas a seguir:

- (i) Qual é a demanda de mercado?
- (ii) Qual à configuração e estrutura da cadeia de suprimentos ?
- (iii) Qual a modelagem mais apropriada ?
- (iv) Qual a política de controle a ser implementada ?
- (v) Qual é o ambiente de simulação ?
- (vi) Como mensurar o seu desempenho ?

Considerando o perfil das lacunas (*gaps*) conforme discutido, nesta tese, é proposta a construção de uma cadeia de suprimentos serial (CSS) composta de três níveis produtivos sob ação de incertezas do mercado consumidor. A CSS é modelada através do fluxo de informação e materiais. Uma política de controle dinâmico (*Order-Up-To-Level, OUTL-P*) é proposta tendo como base a política de controle clássico (*OUTL-C*) ajustada através dos parâmetros para a demanda e *lead time* em particular usando sistema de revisão contínua. A CSS é simulada através da simulação por eventos discretos não determinísticos e mensurada pelas métricas de desempenho por nível e global.

1.3 CONTRIBUIÇÃO

A principal contribuição desta tese é a proposta de uma política de controle dinâmica para gerenciar uma CSS sob ação de incertezas do mercado sujeita a eventos de demanda não determinísticos. A dinâmica do modelo proposto tem como base os parâmetros construídos para demanda e *lead time* que ajustam o ponto de pedido e o lote de reposição, levando a CSS

operar em níveis reduzidos de ruptura de estoque e garantia do nível de serviço. Diferentemente dos modelos discutidos na literatura, que em sua maioria tratam deste tipo de problema através de modelos de otimização com parâmetros constantes. Espera-se ainda contribuir para uma melhor caracterização das políticas de controle dinâmico frente a incertezas na demanda.

Esta tese deu origem às seguintes publicações:

- PACHECO, E. O.; LÜDERS R.; DELDAGO M. R. Using Discrete Event System Concepts in Supply Chain Management Composed by Three Production Levels Subject to Uncertainty. **22nd International Conference on Production Research - ICPR**, 2013.
- PACHECO, E. O.; LÜDERS R. **Dimensionamento do lote de reposição variável de uma cadeia de suprimentos composta de dois níveis produtivos baseado em eventos discretos não determinísticos**, 2014. Anais do XLV SBPO.
- PACHECO; E. O.; LÜDERS; R.; PÓVOA; A. P. B. Performance metrics for a supply chain subject to stochastic demand, 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM). p. 823-831, DOI: 10.1109/IESM.2015.7380251. **IEEE Conference Publications**, 2015.
- PACHECO; E. O.; LÜDERS; R.; PÓVOA; A. P. B.; CANNELLA; S. Supply chain inventory control policy with stochastic demand events, **5th International Conference on Engineering Optimization** - Iguassu Falls, Brazil, 19-23 June 2016.
- PACHECO; E. O.; LÜDERS; R.; PÓVOA; A. P. B.; CANNELLA; S. Order-up-to-level Policy Update Procedure for a Supply Chain Subject to Market Demand Uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**. v. 133, p. 347-355, 2017.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos.

No Capítulo 2, faz-se uma revisão da literatura abordando a gestão da cadeia de suprimentos, considerando a estrutura e a configuração da cadeia de suprimentos serial e divergente. As políticas de controle estático e dinâmico são discutidas e identificam-se as lacunas existentes na literatura, com relação às políticas de controle aplicadas nas cadeias de suprimentos. Faz-se uma breve revisão sobre sistemas de tempo discreto e a evento discreto. Um modelo para atualização do ponto de pedido e do lote de reposição em sistema de revisão contínua é proposto. As variáveis de absorção da demanda e do *lead time* são caracterizadas,

bem como os estoques de absorção. Um modelo de causa e efeito mostra a dinâmica do estoque de absorção. Além disso, contextualiza-se a tese em relação à literatura acadêmica.

No Capítulo 3, faz-se uma discussão sobre as métricas apresentadas na literatura acadêmica. Caracteriza-se o comportamento do efeito chicote (*bullwhip effect*), responsividade (*responsiveness*) e discutem-se as possíveis soluções apresentadas na literatura para a sua redução. Modelos matemáticos relacionados às métricas de desempenho são apresentados. Métricas de desempenho para cadeia de suprimentos serial são propostas para mensurar o efeito chicote da absorção da demanda e a responsividade, mensurada através da variável de absorção do *lead time*.

No Capítulo 4, faz-se uma análise do comportamento dinâmico da CS sob ação de incertezas composta por três níveis produtivos (varejista, distribuidor e manufatura) considerando a chegada de eventos não determinísticos e incertezas na demanda. Uma análise comparativa de desempenho utilizando simulação por eventos discretos é realizada entre a política de controle clássica (*OUTL-C*) e a política de controle dinâmico proposta (*OUTL-P* como uma variante da *OUTL-C*). Além disso, são discutidos os resultados das métricas de desempenho do efeito chicote, da inclinação e ângulo de inclinação, da ruptura de estoque, da taxa de entrega, do nível de serviço, e da responsividade da CSS, fornecendo resultados para o ponto de pedido ajustado, lote de reposição ajustado, nível de estoque e variáveis de absorção da demanda, *lead time* e estoque de absorção. O diagrama de causa e efeito é construído para ilustrar como as ordens são solicitadas, ajustadas e entregues aos estoques.

No Capítulo 5, encontram-se as conclusões da tese e propostas de trabalhos futuros.

2 MODELAGEM DA POLÍTICA DE CONTROLE PROPOSTA

Neste capítulo faz-se uma revisão bibliográfica sobre a dinâmica das CS e um modelo para atualização do ponto de pedido e do lote de reposição em sistema de revisão contínua é proposto. Na subseção 2.1.1 apresentam-se duas estruturas para cadeias de suprimentos. Na subseção 2.1.2, define-se o que é política de controle estático e dinâmico. Na subseção 2.1.3 faz-se uma breve revisão sobre tempo discreto e evento discreto. Na seção 2.2 é caracterizada a variável de absorção da demanda. Na seção 2.3 é estendida a ideia de absorção e caracteriza-se a variável de absorção do *lead time*. Na seção 2.4 caracteriza-se o estoque de absorção. Na seção 2.5 é construído o diagrama de causa e efeito do estoque de absorção. Na seção 2.6 a contextualização da tese e a conclusão do capítulo na seção 2.7.

2.1 PRELIMINARES

Na atualidade, o aumento do consumo e de uma maior oferta de produtos disponíveis aos clientes nos centros consumidores tem obrigado as organizações a se prepararem melhor para o crescimento da concorrência. Um fator preponderante neste caso seria a obtenção da vantagem competitiva através de uma boa gestão de sua cadeia de suprimentos. Esta vantagem seria obtida através da dinâmica (comportamento) do mercado consumidor que aborda problemas, por exemplo, de lançamento e projetos de novos produtos, de volatilidade do mercado, do gerenciamento dos estoques, das políticas de controle, dos tempos de entrega, de localização dos centros consumidores e fornecedores, do ciclo de vida dos produtos, de sustentabilidade, da capacidade de reação, do lucro das organizações, de integração entre as cadeias de suprimentos e seus fornecedores, do fluxo de informação e de materiais dentre outros. Neste sentido, trabalhos apresentados na literatura nas últimas décadas têm destacado o estudo da dinâmica e a integração entre os membros participantes das cadeias de suprimentos como elementos fundamentais para obtenção da vantagem competitiva. Com objetivo de produzir e distribuir no momento certo, na quantidade certa e no local certo, com atendimento ao cliente e redução de custos de acordo com os trabalhos de Ballou (2001), Mentzer et al.(2001), Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2000). Na avaliação de Beamon (1998) a obtenção da vantagem competitiva deve contemplar também avaliação e desenvolvimento de novos indicadores de desempenho, a definição das variáveis para medida de desempenho e análise dos aspectos que afetam a modelagem e a estrutura da cadeia de suprimentos. Regras foram sugeridas, para tornar mais amigável a construção, o projeto e

análise de desempenho da manufatura, ou seja, está visão adiciona a métrica de desempenho na estrutura da cadeia de suprimentos como ferramenta fundamental para obtenção da vantagem competitividade.

Indo além do trabalho de Beamon (1998), o trabalho de Cigolini et al.(2014) estende as ideias de Beamon (1998), Ballou (2001), Mentzer et al.(2001), Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2000) e amplia o horizonte de estudo incorporando as políticas de controle a configuração das cadeias de suprimentos. Englobando os elos, instalações, distância entre os elos e níveis produtivos. Analisa também como as políticas de controle impactam no desempenho da cadeia de suprimentos através da simulação por eventos discretos.

2.1.1 A ESTRUTURA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS (CS)

As Cadeias de suprimentos (CS) na atualidade têm sido estudadas e analisadas considerando os critérios estruturais como redes de distribuição de itens ou produtos que podem alcançar uma infinidade de pontos de vendas (varejos), conhecida pelo jargão de *Supply Chain Network (SCN)*. De acordo com os trabalhos de Dominguez, Framinan e Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015), as *SCNs* são comumente abordadas pela política de controle *OUTL (Order-up-to-level)* clássica, com estrutura de um único nível (*mono-echelon*) ou serial (só existe um único elo entre cada nível da cadeia de suprimentos) com tipologia de colaboração da informação tradicional (somente o varejo tem acesso a demanda do mercado consumidor) e poucos estudos abordam a estrutura divergente (existe mais de um elo entre cada nível da cadeia de suprimentos) com tipologia da informação compartilhada (todos os níveis da cadeia de suprimentos possuem acesso a informação do mercado consumidor e de seus participantes). Uma *SCN* serial também é conhecida pelas denominações de cadeia de suprimentos tradicional, cadeia de suprimentos linear ou cadeia de suprimentos serial, nesta tese a cadeia de suprimentos estudada é a serial (CSS).

A Figura 1 mostra as configurações estruturais das *SCN* serial e divergente.

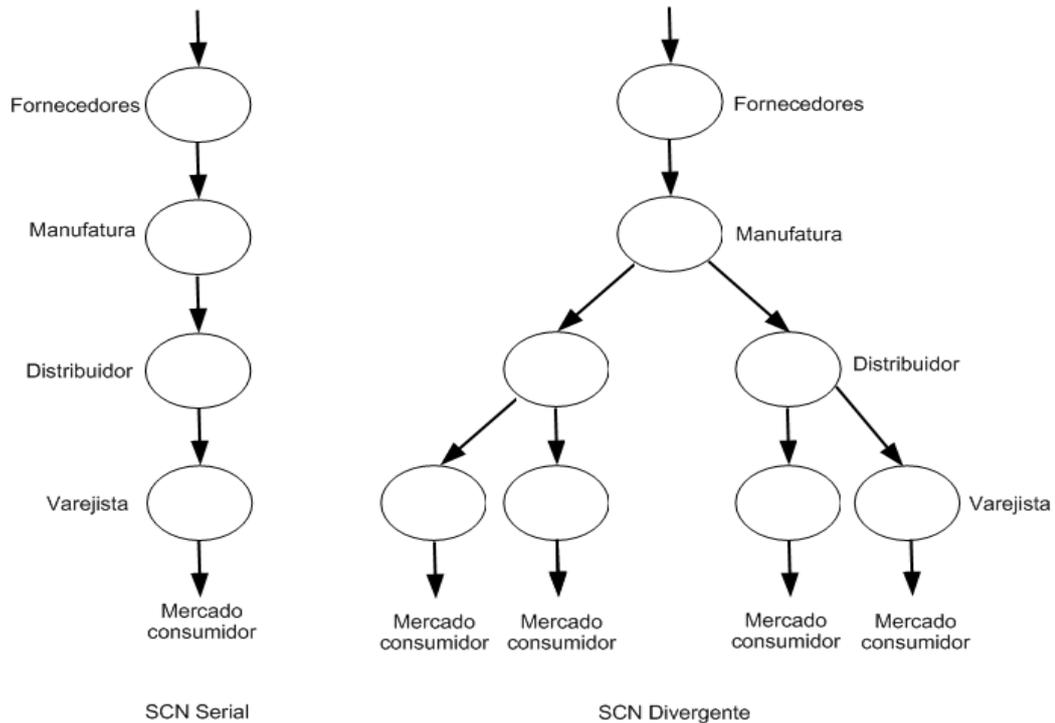


Figura 1 - SCN serial e SCN divergente

Fonte: Autoria própria

A estrutura de uma CSS também pode ser representada através da composição de vários ambientes produtivos seguidos por um sistema de estoques ou armazenagens, interligados através da demanda entre os elos (pedido de reposição de produtos no estoque, veja o trabalho de Towill (1982)) para o nível a montante da CSS. Por exemplo, o nível de mercado representado pelo cliente, retira os produtos do estoque varejista (através da demanda), um pedido de reposição (informação) ocorre entre os níveis à jusante e a montante da CSS. Por exemplo, entre o varejista e o distribuidor, determinando a dinâmica do nível da cadeia de suprimentos. Esta técnica é vastamente utilizada devido a sua flexibilidade, facilidade de compreensão, construção e simulação do modelo matemático e sendo capaz de atender a qualquer estratégia de gestão da demanda. Conforme discutido nos trabalhos de (TOWILL; DEL VECCHIO, 1994; KHATOR; DESHMUKH, 2002; TAKO; ROBINSON, 2012).

A gestão da demanda pode ser entendida como um processo que procura alinhar a capacidade da cadeia de suprimentos com as necessidades dos clientes, para tanto, é necessário utilizar a estratégia produtiva adequada para cada demanda, por exemplo, *MTS* (*Make To Stock*) representa fabricação para estoque de produto final, *ATO* (*Assembly To Order*) significa a montagem do produto final sob encomenda, *DTO* (*Design To Order*) ou *MTO* (*Make To Order*) caracteriza a fabricação por projeto ou sob encomenda e *ETO*

(*Engineering to Order*) é uma extensão da estratégia *MTO*, com o projeto totalmente baseado nas especificações do cliente, para maiores esclarecimentos veja (BREMER; LENZA, 2000).

A Figura 2 ilustra uma cadeia de suprimentos serial (CSS) composta de três níveis produtivos e dois níveis de fornecedores. O fornecedor primário é localizado no primeiro nível de abastecimento e ligado diretamente a manufatura. O secundário localizado no segundo nível de abastecimento ligado ao fornecedor primário. O fluxo de informação representa a demanda e as ordens de reposição solicitada pelo nível à jusante ao nível a montante (por exemplo, varejista → distribuidor → manufatura), flui entre os elos chegando os fornecedores. Por outro lado, o fluxo de materiais é caracterizado pela transformação da matéria prima entre os níveis produtivos, até a concepção do produto final e posteriormente a disponibilidade aos centros consumidores.

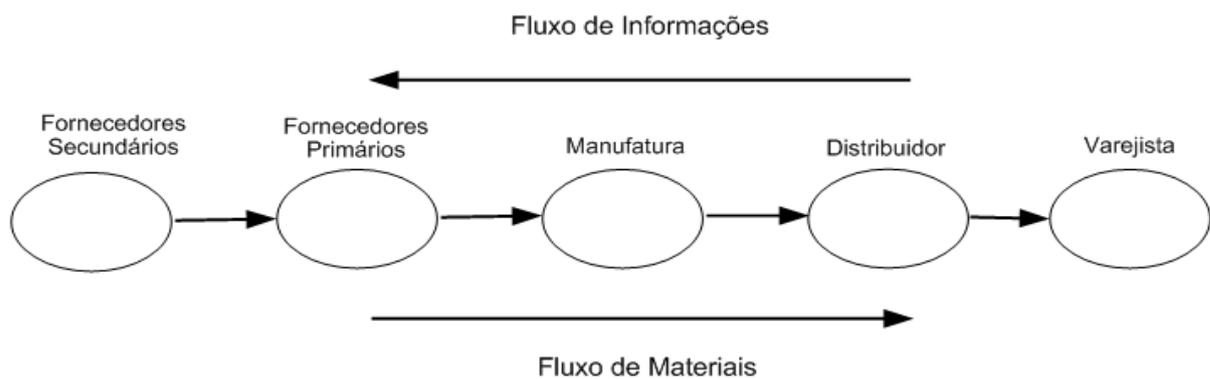


Figura 2 - Cadeia de suprimentos serial (CSS)

Fonte: Autoria própria

Assume-se nesta tese que um nível produtivo representado pelo varejista, distribuidor ou manufatura, torna-se um subproblema de uma cadeia de suprimentos composta por vários níveis produtivos. Deste modo, pode-se construir um nível produtivo e posteriormente replicar a configuração estrutural para os outros níveis subseqüentes (à montante), sem que haja perda da generalidade de acordo com os pressupostos de Towill (1982), Towill (1996). O modelo construído apresenta características que facilitam a sua representação através do diagrama de causa e efeito para uma CSS conforme apresentado na Figura 3.

Na Figura 3, a dinâmica da CSS é composta de três níveis produtivos (varejista, distribuidor e manufatura) é descrita a seguir. O evento de demanda que representa a demanda de mercado (é composto pela demanda prevista adicionada à incerteza do mercado) atua diretamente no estoque do varejista, retirando produtos do estoque e definindo a dinâmica da

CSS. O nível atual de estoque do varejista é menor ou igual ao nível do ponto de pedido, uma solicitação de reposição de produtos no estoque é ordenada ao estoque do distribuidor. O nível distribuidor atende o nível varejista no *lead time* entre o varejista e o distribuidor, com um lote de reposição solicitado pelo varejista. Assim o fluxo de informação é caracterizado pela dinâmica da demanda do mercado e o fluxo de materiais é dimensionado, através da reposição de produtos no estoque. A política de controle é definida pelo ponto de pedido e lote de reposição em sistema de revisão contínua, utilizada por nível.

Assim a dinâmica do nível varejista pode ser estendida aos níveis do distribuidor e manufatura sem a perda de generalidade. Neste tipo de construção observa-se a presença de três ciclos fechados (ciclos produtivos), que ocorrem entre a solicitação de ordem e a efetiva reposição do produto no estoque, o que define um ciclo produtivo.

O comportamento dinâmico da CSS também pode ser representado por sinais que definem a retirada de produtos do estoque, atribuindo o sinal (-), a reposição de produtos com o sinal (+) e as setas definem a direção do fluxo de informação ou de materiais, conforme discutido nos trabalhos de (TOWILL, 1982; TOWILL, 1996; TOWILL; DEL VECCHIO, 1994; KHATOR; DESHMUKH, 2002).

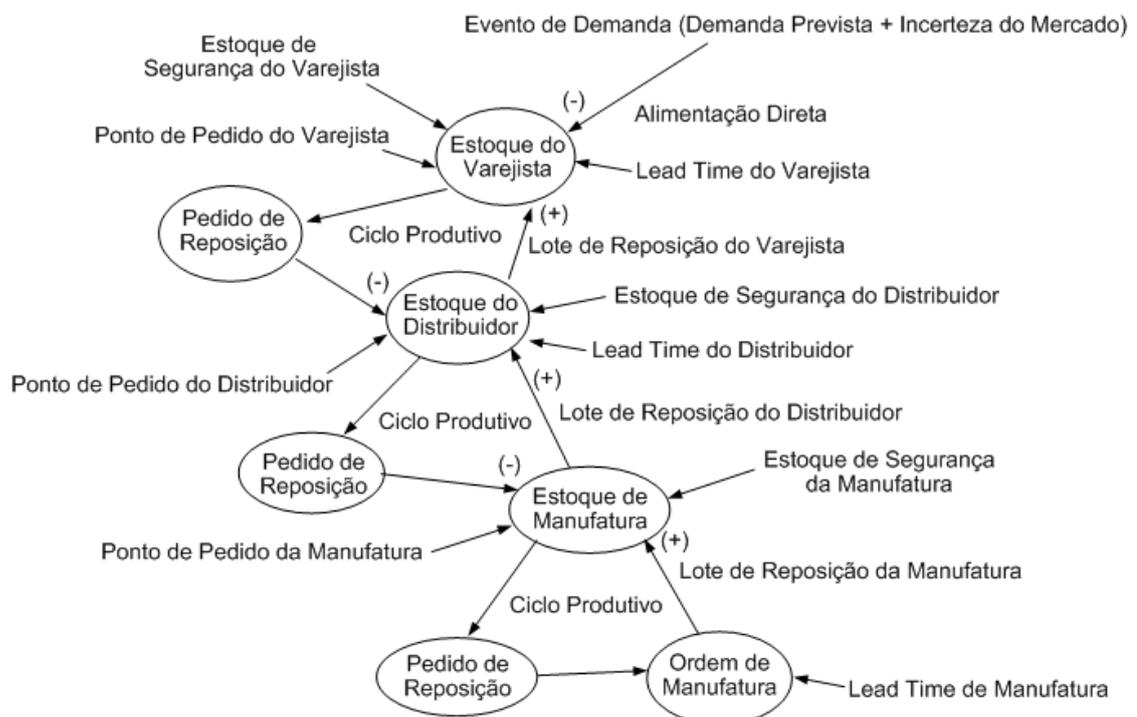


Figura 3 - Diagrama de causa e efeito da cadeia de suprimentos serial com três níveis produtivos

Fonte: Autoria própria

Neste tipo de problema o *lead time* pode ser considerado como a junção dos tempos de colocação do pedido, de preparação do pedido na manufatura (*setup*), de finalização do produto (por exemplo, tempo de envase ou de empacotamento) e do tempo de logística (transporte e distribuição). Nesta tese, em cada nível da CSS o *lead time* assume os pressupostos descritos a seguir.

- (i) No nível varejista é o tempo de colocação do pedido + tempo de consolidação do pedido + tempo de logística;
- (ii) No nível distribuidor é o tempo de colocação do pedido + tempo de consolidação do pedido + tempo de logística;
- (iii) No nível da manufatura é o tempo de colocação do pedido + tempo de manufatura + tempo de logística.

2.1.2 POLÍTICAS DE CONTROLE DE ESTOQUE

Políticas de controle têm sido estudadas desde os anos 30's na literatura acadêmica e avanços significativos têm sido observados. Inicialmente as políticas de controle foram formalizadas em Wilson (1934) e baseadas nos estudos iniciais de Harris (1915) nestes trabalhos os parâmetros foram considerados constantes ao longo do período de análise e tinham a denominação de política de controle estático (*Static Control Policy*) posteriormente foram divididas em sistema de revisão contínua (*Continouos Review System*) e sistema de revisão periódica (*Periodic Review System*) (BABAI et al., 2009).

No sistema de revisão contínuam, a política de controle estático (r, Q) é caracterizada pela observação constante do nível atual do estoque, e está baseada em ponto de pedido (r) e lote econômico (Q) constantes, ou seja, o ponto de pedido define um nível operacional do estoque e serve como nível de referência para solicitação de ordens de reposição. O lote econômico (Q) representa a quantidade a ser reposta, tendo como base um modelo de otimização total de custos que garante o melhor lote de reposição, também é conhecido como lote ótimo de reposição. No sistema de revisão periódica, a política de controle estático (T, S) é identificada pela revisão dos estoques em intervalos de tempo (T) e nível de ressuprimento (S) ambos constantes Silver; Peterson (1985), Zipkin (2000). Conceitualmente a política de controle (T, S) é conhecida também como (*Order-Up-To-Level - OUTL*) e de fácil compreensão, “*Order*” corresponde a solicitar um pedido de reposição, cujo objetivo é levar o

estoque para o seu nível adequado de operação e “*Up-To-Level*” significa até um nível máximo, ou seja, solicitar uma ordem de reposição até o nível máximo de ressuprimento (JOHNSON; THOMSON, 1975; CHEN; DISNEY, 2015).

As abordagens para as políticas de controle estático, discutidas nos trabalhos de Silver; Peterson (1985), Zipkin (2000) tornam-se inadequadas para tratar problemas que envolvem incertezas, mas servem como ponto de partida para a construção de políticas de controle dinâmico. Assim, uma abordagem que tem se destacado na literatura acadêmica e incorpora as variações do ponto de pedido e do tamanho do lote de reposição, é denominada de política de controle dinâmico, por exemplo, (r_k, Q) , (r_k, Q_k) e (T, S_k) . O (r_k) representa o ponto de pedido variável, (Q_k) o lote de reposição variável e (S_k) representa o nível de ressuprimento variável. O tempo discreto é identificado pela variável $k = 0, 1, 2, \dots, N$ com intervalos fixos e conhecidos a priori, e N o final do horizonte de planejamento produtivo (BABAI; DALLERY, 2006; BABAI; SYNTETOS, 2007; BABAI et al., 2009).

No trabalho de Babai; Dallery (2006) é abordado o problema de um sistema de controle de estoque mono-nível (*single-echelon*) e mono-produto (*single-product*). A política de controle dinâmico (r_k, Q) considera o ponto de pedido variável e lote econômico, com variabilidade na demanda, no *lead time* e na produtividade. Um parâmetro de ajuste denominado de Nível de Serviço Cíclico (*Cycle Service Level*) é utilizado na redução dos efeitos da variabilidade. Um exemplo numérico mostrou a principal diferença entre o nível de serviço cíclico e a taxa de entrega (*Fill Rate - FR*). Além disso, foi observado que as variações de produtividade impactam diretamente nas quantidades solicitadas, enquanto as variações do *lead time* afetavam o comportamento do ponto de pedido. Uma extensão desta abordagem foi apresentada em Babai; Syntetos (2007), através da construção de um experimento empírico considerando as políticas (r, Q) e (r_k, Q) . Os resultados mostram similar desempenho para ambas as políticas em relação ao nível de serviço, entretanto uma redução nos custos de estoque foi observada para a política (r_k, Q) . Posteriormente em Babai et al. (2009) o estudo de Babai; Syntetos (2007) é aprofundado e incorporado ao modelo a variabilidade do *lead time*. Uma análise comparativa entre a política (r, Q) e a política (r_k, Q) mostrou que os resultados apresentam similar comportamento para o nível de serviço e uma redução significativa nos custos dos estoques para a política (r_k, Q) foi observado. Em trabalhos futuros, foi sugerido considerar o lote de reposição variável na política (*Order-Up-To-Level - OUTL*) em sistema de revisão periódica. Assim o trabalho de Babai; Dallery (2009) segue a sugestão e amplia o estudo feito em Babai et al. (2009) adicionando as políticas (r_k, Q_k) , (T, S) e sua extensão (T, S_k) ,

e o estoque de segurança variável. Na simulação duas análises comparativas foram feitas, uma para as políticas (r, Q) , (r_k, Q) e (r_k, Q_k) e outra para as políticas (T, S) e (T, S_k) em ambas análises é destacada a evolução nos resultados, quando se utiliza a política de controle dinâmico frente a política de controle estático. O trabalho de Babai, Jemai e Dallery (2011) analisa um sistema de estoque mono-nível e mono-produto, considerando a demanda e *lead time* estocásticos e controlados pela política *OUTL*. Foi proposto um método para determinar a política *OUTL* ótima direcionada para a redução de custo do estoque, onde as demandas não atendidas são novamente solicitadas (*backordered*). Uma investigação numérica mostrou que o método proposto obteve resultados satisfatórios, foi sugerido que o próximo passo seria a investigação numérica com dados reais.

As políticas de controle estático ainda continuam sendo a base para o desenvolvimento de novas políticas em qualquer abordagem. No sistema de revisão contínua, por exemplo, a política de controle estático (r, Q) serve de base para construção ou adaptação de outras políticas, por exemplo, (s, S) , (r, S) , (s, Q) , (s, nQ) e (r, s, Q) Silver; Peterson (1985), Zipkin (2000), Chen (1998), Babai; Dallery (2009), Tempelmeier; Fischer (2010). Analogamente as políticas híbridas de revisão periódicas (T, r, Q) e (T, r, S) são derivadas das políticas de controle estático (T, S) e (r, Q) . Por outro lado, as políticas de controle dinâmico são caracterizadas pelas variações dos parâmetros (ponto de pedido e quantidade pedida) ao longo do período em análise e são as mais adequadas para tratar de problemas estocásticos. Por exemplo, as políticas em tempo discreto que derivam das políticas tradicionais foram discutidas em (BABAI; DALLERY, 2006; BABAI; DALLERY, 2009).

A figura 4 mostra as políticas de controle mais estudadas na literatura e suas adaptações.

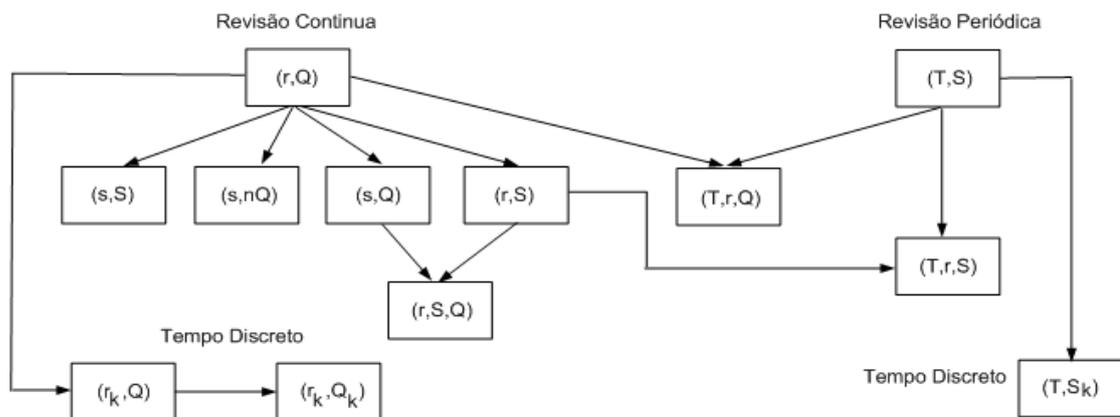


Figura 4 - Políticas de controle e suas adaptações

Fonte: Autoria própria

De acordo com a discussão, as políticas de controle de um modo geral estão voltadas para análise dos estoques em sistemas mono-nível e mono-produto, uma extensão destas ideias é discutir quais são as políticas de controle mais estudadas para as cadeias de suprimentos.

O trabalho de Johansen; Thorstenson (1993) desenvolveu um algoritmo denominado de política iterativa (*Policy Iterative Algorithm - PIA*). Este algoritmo mostrou ser mais eficiente que as heurísticas HW e EQO para análise de problemas que apresentam variação do *lead time* e escassez de produtos. Por outro lado, o trabalho de Lee; Chuang (2009) demonstra os impactos causados sobre as políticas de controle de estoque quando são considerados nos modelos, ordens atrasadas (*backorders*) e vendas perdidas (*lost sales*), e no trabalho de Radhamani, Sivakumar e Lawrence (2015) o problema de postergação da demanda (refere-se a um termo em que as atividades da cadeia de suprimentos, são adiadas até que a demanda seja solicitada pelo cliente, com objetivo de redução de custos e incertezas) foi analisado.

Uma evolução dos conceitos da política (r, Q) , foi implementada no trabalho de Axsäter (1990) onde o problema de sistemas de estoque, composto com dois varejistas e um centro de distribuição com restrição foi analisado. Posteriormente, o trabalho de Forsberg (1996) estende os conceitos de Axsäter (1990) e implementa uma estrutura composta de um distribuidor com n-varejistas (*n-retailers*) e encontra uma solução exata para o problema. Em Axsäter (1999) o sistema de n-varejistas de Forsberg (1996), foi analisado utilizando diferentes políticas de controle. Dos resultados encontrados foi concluído, que para demandas com baixa variabilidade é melhor utilizar a política (r, Q) e para grandes variações de demanda é mais conveniente usar a política (T, S) . Seguindo a mesma linha de pensamento Chen; Li (2015) apresentou as vantagens de utilizar sistemas multi-níveis (*multi-echelon*) de estoques através da metodologia denominada de abordagem por garantia de atendimento (*Garantee Service Approach - GSA*) em política de revisão contínua (r, Q) considerando custo fixo de pedido e custos flexíveis das operações. Para trabalhos futuros, foi sugerida a implementação desta abordagem para linhas de montagens e sistemas de distribuição, onde seriam os maiores desafios de implementação.

O trabalho de Wadhwa, Bibhushan e Chan (2009) sugere modelar sistemas de estoques através de uma rede com quatro elos e um único produto (similar a uma CS com quatro-níveis (*four-echelon*)) utilizando diferentes políticas de controle (r, Q) e (T, S) . Os resultados demonstram a relevância do estudo para demanda constante com incertezas. Além disso, o estudo apresentou uma motivação adicional para a implementação de políticas de

controle de estoques entre os elos das CS. O trabalho de Chaharsooghi, Heydari e Kamalabadi (2011) analisa uma CS composta por dois níveis (*two-echelon*) em sistema de revisão contínua. Foi proposto um modelo que coordena simultaneamente o ponto de pedido e o tamanho do lote. Resultados numéricos demonstraram que a metodologia proposta foi capaz de aumentar a lucratividade e o nível de serviço. Uma extensão para CS multi-níveis (*multi-echelon*) foi proposta em Chen (1998) e um eficiente algoritmo, denominado de Informação centralizada da demanda (*Centralized Demand Information - CDI*), foi desenvolvido para determinar o ponto ótimo do ponto de pedido e do lote variável para a política de controle (r,nQ) em cada nível da CS. Os resultados de simulação demonstram que o algoritmo apresentou desempenho relevante para altas variações de demanda, onde o valor do *CDI* é reduzido e para os valores extremos dos níveis de serviço, o valor do *CDI* é incrementado. Por outro lado, para incrementos do *lead time*, do número de níveis e das ordens de reposição de produtos no estoque, o valor do *CDI* também aumenta. No trabalho ainda conclui-se que, o *CDI* é o mais indicado para políticas de controle dos estoques de níveis (*echelon stock*) e para políticas de controle dos estoques das instalações (*installation stock*) usa-se a informação local. Os trabalhos de Sana (2015), Hsien (2015) analisam uma CS composta de dois níveis utilizando políticas de controle ótima (r,Q) em sistemas de estoques com demanda estocástica. Os resultados obtidos mostram que os modelos propostos conseguem se aproximar da realidade do mercado e que ainda não haviam sido estudados na literatura acadêmica.

As abordagens de Tempelmeier (2013), Grewal, Enns e Rogers (2014) analisam as políticas de controle através de métodos de simulação. O trabalho de Tempelmeier (2013) simula o comportamento dinâmico de uma rede de suprimentos similar a uma CS com dois níveis e política de controle (s,nQ) em sistema de revisão contínua. A rede de suprimentos estudada foi decomposta em estágios reduzidos para facilitar a compreensão do problema. Como resultado, foi destacado a capacidade de calcular a distribuição de probabilidade do *lead time* das fábricas e dos estoques, que estão conectados em diferentes níveis da rede de suprimentos. Em Grewal, Enns e Rogers (2014) foi proposto o desenvolvimento de uma metodologia para otimização da política de controle (r,Q) sob demanda sazonal. Nesta abordagem, foram estudados os impactos do ajuste dinâmico sobre a média e comportamento transitórios dos índices de desempenho. Mensurados pelo ponto de pedido constante e variável, tamanho do lote de reposição, comportamento dos níveis de estoque e nível de serviço ao cliente.

De um modo geral o que se observa na discussão sobre a utilização de políticas de controle em cadeias de suprimentos. A grade parcela dos estudos, está voltada para políticas de controle, tendo como base os modelos de otimização e como resultado procuram reduzir os custos de estoques, de produção, de escassez de produtos e global. Uma parcela reduzida dos trabalhos analisados estuda o comportamento dinâmico dos parâmetros das cadeias de suprimentos com demanda estocástica. Por outro lado, nas políticas de controle clássico e dinâmico, o que se observa na abordagem sobre cadeia de suprimentos, está relacionado aos modelos com um ou dois níveis em sistemas de estoques. A otimização é utilizada para dimensionar o tamanho do lote de reposição e o ponto de pedido é ajustado, considerando a demanda do passado e um componente relacionado ao nível de serviço. Tendo como parâmetro as abordagens relevantes para efeito de estudo.

2.1.3 TEMPO DISCRETO VS. EVENTO DISCRETO

Cadeias de suprimentos abordadas sob o ponto de vista de tempo discreto têm sido estudadas com frequência na literatura acadêmica, geralmente para descrever a dinâmica de ambientes produtivos, construir políticas de controle, quantificar o desempenho através de métricas, ou analisar o comportamento de suas variáveis (CHEN; DISNEY, 2007; BABAI; DALLERY, 2009; BABAI et al., 2009; TAKO; ROBINSON, 2012; SONIA et al., 2013; ALOULOU; DOLGUI; KOVALYOV, 2014; CIGOLINI et al., 2014).

O tempo discreto é caracterizado por um intervalo de tempo constante, conforme apresentado na Figura 5. Por exemplo, a retirada de produtos do estoque ocorre uma única vez no mês, o que determina a dinâmica do estoque e um comportamento discreto mensal conhecido a priori (determinístico). O tempo t_0 pode representar o mês de janeiro, t_1 o mês de fevereiro, t_2 o mês de março e assim sucessivamente.

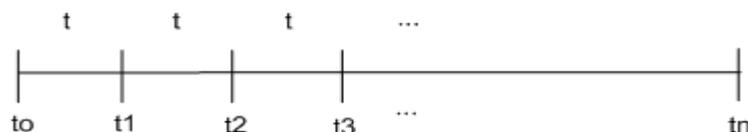


Figura 5 - Comportamento temporal da cadeia de suprimentos em tempo discreto

Fonte: Autoria própria

Em sistemas a eventos discretos, a chegada de um evento em um determinado instante de tempo altera o comportamento de uma variável que pode ser, por exemplo, o nível de estoque, a liberação de ordem, ou a reposição do estoque. Conforme ilustrado na Figura 6,

a dinâmica do estoque é caracterizada pela ocorrência do evento, sendo que o tempo é uma informação adicional. Os eventos podem ocorrer de modo não determinístico, ou seja, o intervalo entre a chegada de dois eventos consecutivos não é constante. Assim, o evento e_0 ocorre no tempo t_0 , e_1 em t_1 , e_2 em t_2 e assim sucessivamente até n , criando uma dinâmica temporal para o nível de estoque. Note que nenhuma mudança ocorre no nível do estoque entre dois eventos consecutivos. A chegada de um evento (e_i) altera o estado do sistema, por exemplo, o nível do estoque, os eventos (e_0), (e_1) e (e_3) poderiam ser considerados como eventos de reposição de produtos no estoque e o evento (e_2) um evento de demanda.

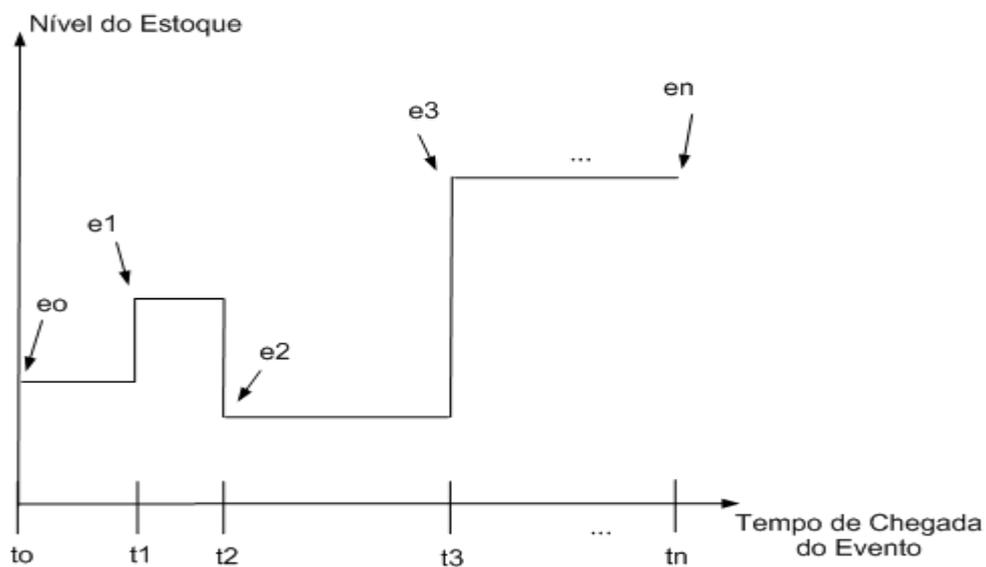


Figura 6 - Comportamento temporal da cadeia de suprimentos por eventos

Fonte: Autoria própria

2.2 ABSORÇÃO DA DEMANDA

A absorção da demanda é um conceito desenvolvido nesta tese, cujo objetivo é quantificar o estoque consumido pela chegada de um evento de demanda em relação a uma referência que neste caso é o ponto de pedido. Em outras palavras é a parcela do estoque que foi consumida pela incerteza da demanda que a CSS é capaz de absorver, de modo a reduzir ou evitar a ruptura do estoque varejista, e posteriormente será utilizada para ajustar o ponto de pedido e o lote de reposição. A abordagem proposta tem como referência a política de controle estático (r,S) na construção dos parâmetros constantes da CSS. Na política de controle dinâmico proposta (e_i, r^j, S) , as variáveis definem o comportamento dinâmico, caracterizado através da demanda e do *lead time*. Na Tabela 1, apresentam-se os parâmetros

comumente usados na política de controle estático e as variáveis da política de controle dinâmico *OUTL-P*.

A característica da proposta é solicitar a ordem de reposição até o nível máximo de ressurgimento, definido na literatura como *OUTL (Order-Up-To-Level)* em sistema de revisão contínua, o que difere da maioria dos estudos que utilizam a política *OUTL* em sistemas de revisão periódica (DOMINGUEZ; FRAMINAN; CANNELLA, 2014; CANNELLA et al., 2015; DOMINGUEZ; CANNELLA; FRAMINAN, 2015).

Tabela 1 - Parâmetros e variáveis da política de controle

Política de Controle			
Estático (<i>OUTL-C</i>)		Dinâmico (<i>OUTL-P</i>)	
Parâmetros	Nomenclatura	Variáveis	Nomenclatura
d	Demanda prevista	d^i	Demanda real
S	Nível de reposição	d_e^i	Demanda entre os elos
E_s	Estoque de segurança	d_e	Demanda constante entre os elos
L	Lead time nominal	Δd_e^i	Absorção da demanda entre os elos
r	Ponto de pedido	L^i	Lead time estimado
Q	Lote de reposição	r^i	Ponto de pedido ajustado
		Q^i	Lote de reposição ajustado
		Δd^i	Absorção da demanda
		ΔL^i	Absorção do lead time
		ΔE^i	Estoque de absorção
		Pe^i	Posição do estoque atual

Fonte: Autoria própria

Na política de controle estático (r, S) as equações (1) e (2) compõem o modelo clássico de parametrização e as equações (3), (4) e (5) compõem o modelo por eventos (e_i, r^i, S), onde o índice $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ representa a chegada do evento. A relação entre os parâmetros e as variáveis ocorre da seguinte forma.

O ponto de pedido e a quantidade solicitada para abastecimento do estoque são parâmetros iniciais definidos pela chegada do evento (e_0) e ajustados após a chegada do primeiro evento (e_1) no tempo t_1 . Novos eventos são sequencialmente numerados por i conforme lista de variáveis. O nível de reposição assume o seu valor máximo em S . Considerando a demanda prevista (d) e o *lead time* nominal (L) como constante, o ponto de pedido (r) e o lote de reposição (Q) são determinados de acordo com as equações (1) e (2).

$$r = d \times L + E_s \quad (1)$$

$$Q = S - r \quad (2)$$

A demanda real d^i é definida para cada evento i e o estoque é consumido considerando uma incerteza em torno da demanda prevista d conforme equação (3).

$$d^i = d + \Delta d^i \quad (3)$$

Cada d^i consome produtos do estoque quando a posição do estoque atual (Pe^i) é menor ou igual ao nível do ponto de pedido (r). Uma quantidade de reposição (Q^i) é solicitada e um novo ponto de pedido (r^i) é quantificado para o evento i como definido na equação (4). Então é necessário ajustar o ponto de pedido (r) para o novo ponto de pedido (r^i) no evento i de acordo com a equação (5) (veja a Figura 7).

$$Q^i = S - r^i \quad (4)$$

$$r^i = d^i \times L + E_s \quad (5)$$

Substituindo a equação (3) na equação (4) o ponto de pedido (r^i) é quantificado na equação (6).

$$r^i = d \times L + \Delta d^i \times L + E_s \quad (6)$$

Substituindo a equação (1) na equação (6) é obtido o valor do ponto de pedido ajustado, de acordo com a equação (7), o ponto de pedido é composto por uma constante obtida da parametrização do ponto de pedido (r) adicionado a um desvio associado à variável de absorção da demanda (Δd^i).

$$r^i = r + \Delta d^i \times L \quad (7)$$

Após a caracterização do comportamento dinâmico do ponto de pedido conforme equação (7) existe a necessidade de quantificar o lote de reposição, já que a condição de operação da política de controle proposta é ponto de pedido e lote de reposição ajustados dinamicamente. Para tanto, é necessário substituir a equação (7) na equação (4) e em seguida utilizar a equação (2) conforme apresentado nas equações (8), (9) e (10).

$$Q^i = S - (r + \Delta d^i \times L) \quad (8)$$

$$Q^i = S - r - \Delta d^i \times L \quad (9)$$

$$Q^i = Q - \Delta d^i \times L \quad (10)$$

Deste modo a equação (10) representa o lote de reposição ajustado, composto pela parametrização do lote de reposição, subtraído de um desvio associado à variável de absorção da demanda (Δd^i) semelhante ao último termo da equação (7). As equações (7) ou (10) mostram que a política de controle dinâmico *OUTL-P* é uma extensão da política de controle estático (r, S) ajustada pela variável estocástica, que tem sua origem na incerteza da demanda. Portanto, a variável de absorção da demanda é quantificada através das equações (7) ou (10), é escrita para o evento i conforme a equação (11).

$$\Delta d^i = (r^i - r)/L \quad (11)$$

A diferença entre a posição do estoque atual (Pe^i) e o ponto de pedido (r) representa a quantidade do estoque absorvido pela incerteza da demanda, nesta tese é denominado de estoque de absorção (ΔE^i). Igualando-se as equações (7) e (10) tem-se o estoque de absorção relacionado à variável de absorção da demanda conforme equação (12) (veja a Figura 7).

$$\Delta E^i = (r^i - r) = (Q - Q^i) = \Delta d^i \times L \quad (12)$$

A Figura 7 mostra a dinâmica para a quantificação da variável de absorção da demanda. Os eventos de demanda consomem o estoque, quando a posição do estoque atual (Pe^i) é menor ou igual ao nível do ponto de pedido (r), o tempo de operação da cadeia de suprimentos (t_i) é determinado, por exemplo, o evento de demanda (e_i) determina o tempo t_i e assim sucessivamente para cada chegada do evento i . Então a variável de absorção da demanda é quantificada e por conseqüência, o estoque de absorção é dimensionado conforme equação (12), o lote de reposição (Q^i) é quantificado de acordo com a equação (4) e ajustado conforme equação (10), o ponto de pedido (r^i) é ajustado conforme equação (7) e posicionado para o início do próximo período de análise.

$$r^i = d \times L^i + E_s \quad (14)$$

Substituindo a equação (13) na equação (14) e posteriormente, utilizando a equação (1) têm-se as equações (15), (16) e (17) como resultados.

$$r^i = d \times (L + \Delta L^i) + E_s \quad (15)$$

$$r^i = d \times L + d \times \Delta L^i + E_s \quad (16)$$

$$r^i = r + \Delta L^i \times d \quad (17)$$

Conforme discutido anteriormente na seção 2.2, a condição de operação da política de controle dinâmico proposta é ponto de pedido e lote de reposição ajustados dinamicamente. Logo, existe a necessidade de quantificar o lote de reposição (Q^i) para a abordagem usando o *lead time* estimado. Para tanto, é necessário substituir a equação (17) na equação (4) e em seguida utilizar a equação (2) na equação (19), conforme apresentado nas equações (18), (19) e (20).

$$Q^i = S - (r + \Delta L^i \times d) \quad (18)$$

$$Q^i = S - r - \Delta L^i \times d \quad (19)$$

$$Q^i = Q - \Delta L^i \times d \quad (20)$$

Assim a equação (20) representa o lote de reposição ajustado (pela política de controle dinâmico proposta *OUTL-P*), é composto pelo lote de reposição representando pela política de controle estático (r, S), subtraído de um desvio associado à variável de absorção do *lead time* (ΔL^i), de forma similar ao encontrado na absorção da demanda (veja seção 2.2 equação (10)). A variável de absorção do *lead time* é quantificada para o evento i conforme equação (21).

$$\Delta L^i = (r^i - r) / d \quad (21)$$

A diferença entre a posição do estoque atual (Pe^i) e o ponto de pedido (r) representa a quantidade de estoque absorvida pela incerteza do *lead time*, denominado estoque de

absorção (ΔE^i). Deste modo, igualando-se as equações (17) e (20) tem-se o estoque de absorção relacionado à variável de absorção do *lead time* de acordo com a equação (22) (veja a Figura 8).

$$\Delta E^i = (r^i - r) = (Q - Q^i) = \Delta L^i \times d \quad (22)$$

Na Figura 8, mostra-se a dinâmica da variável de absorção do *lead time*, similar à dinâmica da variável de absorção da demanda (veja Figura 7). Se a posição do estoque atual (Pe^i) é menor ou igual ao nível do ponto de pedido (r) uma parcela do *lead time* nominal (L) é consumido e quantifica a variável de absorção do *lead time*. O que impõe a CSS responder em um tempo menor que o previsto inicialmente, ou seja, a CSS se torna mais responsiva. Deste modo o estoque de absorção é dimensionado conforme equação (22). O lote de reposição (Q^i) é quantificado na equação (10) e ajustado na equação (20), o ponto de pedido (r) é ajustado e posicionado conforme equação (17). Para o início do próximo período de análise e o *lead time* estimado (L^i) é então redimensionado conforme equação (13).

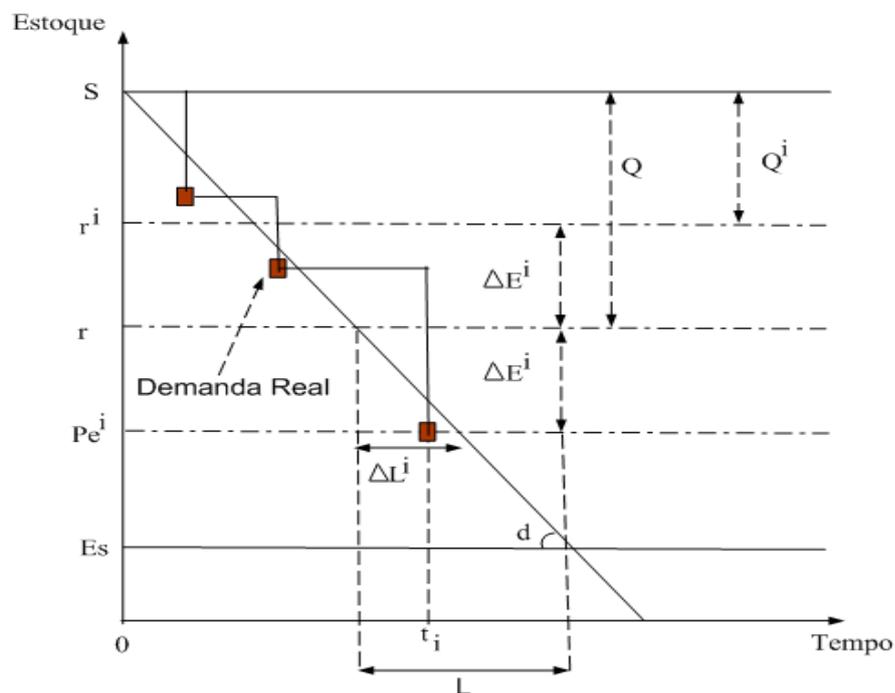


Figura 8 - Dinâmica da absorção do lead time

Fonte: Autoria própria

2.4 ESTOQUE DE ABSORÇÃO

O estoque de absorção foi caracterizado nesta tese com o intuito de dimensionar a parcela de estoque da CSS, que será absorvida pela variação da demanda de mercado e pela variação do *lead time*. Este estoque é quantificado para ajustar o lote de reposição (Q^i) e o ponto de pedido (r). Conforme equações (12) e (22), o estoque de absorção é função da diferença entre o ponto de pedido ajustado e o ponto de pedido ou do lote de reposição e do lote de reposição ajustado. Portanto, as equações (12) e (22) são similares o que demonstra a igualdade dos estoques de absorção, ou seja, existe uma proporcionalidade causada pela chegada de um evento de demanda sobre o estoque do varejo. Caracterizado pelas variáveis de absorção de demanda e do *lead time*. A equação (23) apresenta a relação constante entre estas variáveis do nível varejista.

$$(\Delta d^i / \Delta L^i) = (d/L) \quad (23)$$

2.4.1 ABSORÇÃO NOS NÍVEIS A MONTANTE DA CSS

Segundo os conceitos da dinâmica discutidos anteriormente a construção de um nível pode ser expandida para os níveis a montante da CSS sem a perda da generalidade, mas preservando as particularidades de cada elo ou nível. Deste modo a política de controle dinâmico proposta baseada nos parâmetros para demanda e *lead time* para o nível varejista, pode ser estendida para os níveis a montante da CSS. Preservando os argumentos utilizados sobre a demanda, ponto de pedido e lote de reposição ajustados dinamicamente, absorção da demanda e do *lead time*, e estoques de absorção da demanda e do *lead time*, conforme equações (3), (7) e (17), (10) e (20), (11) e (21), (12) e (22). Entretanto, a demanda que chega ao elo ($d_e^i = d_e + \Delta d_e^i$) similar a construção da demanda de mercado (d^i) (veja equação (3)). Assumindo o pressuposto que ($\Delta d_e^i = 0$), ou seja, não há absorção entre os elos, pois é característica única do estoque. Por exemplo, entre o nível varejista e distribuidor a demanda no elo é caracterizada pela solicitação de reposição e consome o estoque do distribuidor de uma única vez, então ($d_e^i = d_e = Q^i$).

A demanda (d) é conhecida a priori, pois é utilizada na parametrização dos estoques da CSS, mas não compõe a dinâmica da demanda entre os elos a montante (varejista → distribuidor e distribuidor → manufatura) conforme discutido anteriormente. Entretanto, a

quantificação das variáveis de absorção da demanda e do *lead time* para os níveis a montante utilizam as equações (11) e (21) respectivamente, similar aos estoques de absorção que utilizam as equações (12) e (22). Então na equação (21) utiliza-se a demanda (d_e) ao invés da demanda (d) para os níveis a montante da CSS de acordo com a equação (24).

$$\Delta L^i = (r^i - r)/d_e \quad (24)$$

Por outro lado, a equação (11) de absorção da demanda não sofre alterações, pois é função da variabilidade do ponto de pedido e do *lead time* nominal, o mesmo raciocínio é estendido para o estoque de absorção da demanda (veja equação (12)).

Em relação ao estoque de absorção do *lead time*, a equação (22) relativa à parcela da variável de absorção do *lead time* é reescrita como ($\Delta E^i = \Delta L^i \times d_e$).

Dá equação de igualdade dos estoques de absorção, relativa à equação (23) tem-se ($\Delta d^i \times L = \Delta L^i \times d_e$). Assim a equação (23) mostra a relação de proporcionalidade entre as variáveis de absorção do nível varejista, e pode ser reescrita para o nível distribuidor e manufatura de acordo com a equação (25).

$$(\Delta d^i / \Delta L^i) = (d_e / L) \quad (25)$$

De um modo geral, os pressupostos assumidos sobre a igualdade para os estoques de absorção da demanda e do *lead time* admitida na equação (23), têm validade somente para o nível varejista. Enquanto que para os níveis a montante do varejista a equação (25) é a mais adequada. Observa-se que a relação entre a demanda e o *lead time* é diferente para cada elo da CSS conforme equação (26). O comportamento dinâmico das políticas de controle *OUTL-C* e *OUTL-P*, serão validados durante o processo de simulação e podem retratar a realidade de uma CSS o que corrobora com a proposta desta tese.

$$(d_e / L) \neq (d / L) \quad (26)$$

2.5 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO DO ESTOQUE DE ABSORÇÃO

Devido a sua facilidade de construção o fluxo de informação do estoque de absorção pode ser representado através do diagrama de causa e efeito de acordo com a Figura 9. O fluxo do estoque de absorção é descrito a seguir. A absorção da demanda (Δd^i) recebe as

informações do *lead time* nominal (L), do ponto de pedido (r) e do ponto de pedido ajustado (r^j), e atualiza a sua informação no estoque de absorção (ΔE^i). A absorção do *lead time* (ΔL^i) recebe as informações da demanda prevista (d), do ponto de pedido (r) e do ponto de pedido ajustado (r^j), e atualiza o estoque de absorção (ΔE^i). Com as informações atualizadas o estoque de absorção ajusta o ponto de pedido e o lote de reposição. Posteriormente, as variáveis ajustadas retornam para quantificar novamente as variáveis de absorção da demanda e do *lead time* para o próximo período produtivo, determinando um ciclo de ajustes para cada nível da CSS. Este procedimento de atualização tem como objetivo reduzir os impactos das incertezas sobre os estoques, ajustar o ponto de pedido para um nível mais adequado de operação e as ordens Q^j (*OUTL-P*), por isso deve ser incorporado em cada nível da CSS.

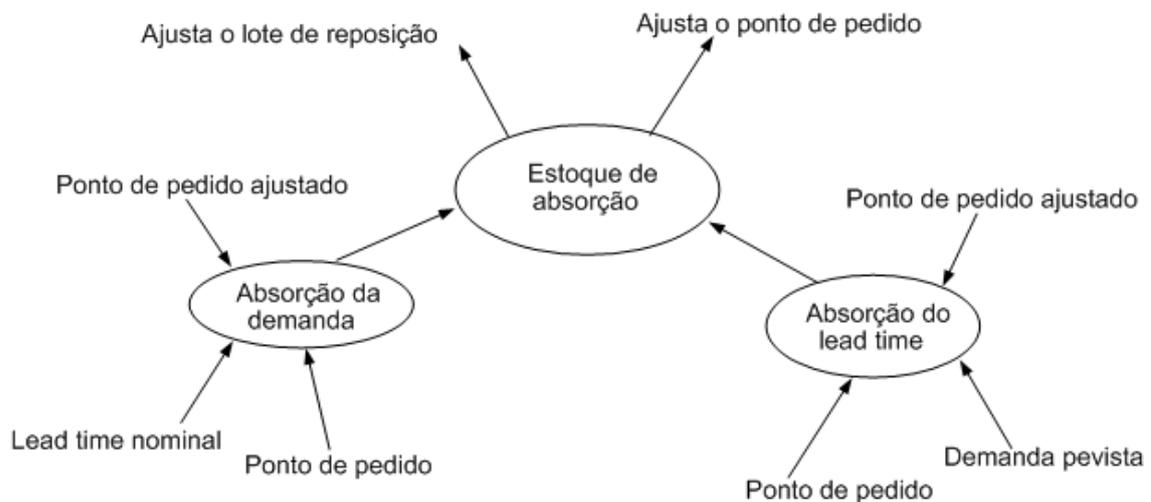


Figura 9 - Diagrama de causa e efeito do estoque de absorção

Fonte: Autoria própria

2.6 CONTEXTUALIZAÇÃO DA TESE NA LITERATURA

De acordo com a tendência dos estudos na literatura as cadeias de suprimentos em geral abordam problemas com um nível, dois níveis, redes de cadeias de suprimentos (*Supply Chain Network - SCN*) ou sistemas de estoques em série (*Serial Inventory Systems - SIS*). A política de controle mais estudada é o sistema de revisão contínua (*Continuous Review System*) enquanto alguns estudos analisam o sistema de revisão periódica (*Periodic Review System*). Entre estas políticas os estudos estão direcionados para modelos de otimização que abordam custo para manter os estoques (*holding costs*), custo de escassez (*shortage costs*), custos de ordens (*ordering costs*), perda de vendas (*lost sales*), custo total (*total cost*) entre outros.

A principal metodologia é analítica com parâmetros constantes e demanda determinística, por outro lado para demandas estocásticas os parâmetros são conhecidos antecipadamente e constantes em cada período de tempo. Os impactos são medidos em sua maioria através do efeito chicote, nível de serviço, variância das ordens e dos estoques. Em menor número os estudos mostram incertezas na demanda ou políticas dinâmicas de estoques que ajustam os seus parâmetros em simulação por eventos discretos.

Motivado por estas considerações, seria relevante explorar uma nova proposta que abordasse o problema da dinâmica de cadeia de suprimentos serial (CSS), tendo como base um modelo adaptado da política de controle estática.

Nesta tese é proposta uma nova política de controle dinâmico em sistemas de revisão contínua, dirigido a evento de demanda e ajustado dinamicamente. O modelo proposto (e_i, r^i, S) é uma extensão da política de controle (r, S) para eventos de demanda e a sua dinâmica é descrita a seguir. Eventos de demanda (e_i) consomem o estoque de varejo até atingir o nível do ponto de pedido, um lote de reposição é solicitado, e quantificado pela diferença entre o nível do estoque atual e o nível de ressuprimento (S) considerado constante, ou seja, considera-se a política de ordem *Order-Up-To-Level (OUTL-C)* e o i representa o índice de chegada do evento de demanda. Posteriormente, o estoque de absorção ajusta simultaneamente o ponto de pedido para (r^i) e o lote de reposição para (Q^i) (política de controle dinâmico *OUTL-P*), posicionando o nível da cadeia de suprimentos serial para o próximo período de análise. Segundo Chen; Disney (2015) tem sido observado que a política *OUTL* combinada com mecanismos de ajuste é adequada para minimizar custos totais dos estoques e atenuar o efeito chicote. Tipicamente as políticas de controle dinâmico são modeladas em tempo discreto com intervalos conhecidos e fixos no tempo, entretanto, não é uma política adequada para lidar com incertezas no tempo (intervalos de tempo desconhecidos e não previstos). Geralmente o problema de incerteza no tempo é tratado através da simulação de sistemas dinâmicos por eventos discretos (*Discrete Events Dynamics Simulation - DEDES*) de acordo com Kleijnen; Smits (2003), Kleijnen (2005), Tako; Robinson (2012). A figura 10 mostra o contexto em que a política de controle dinâmico proposta está inserida.

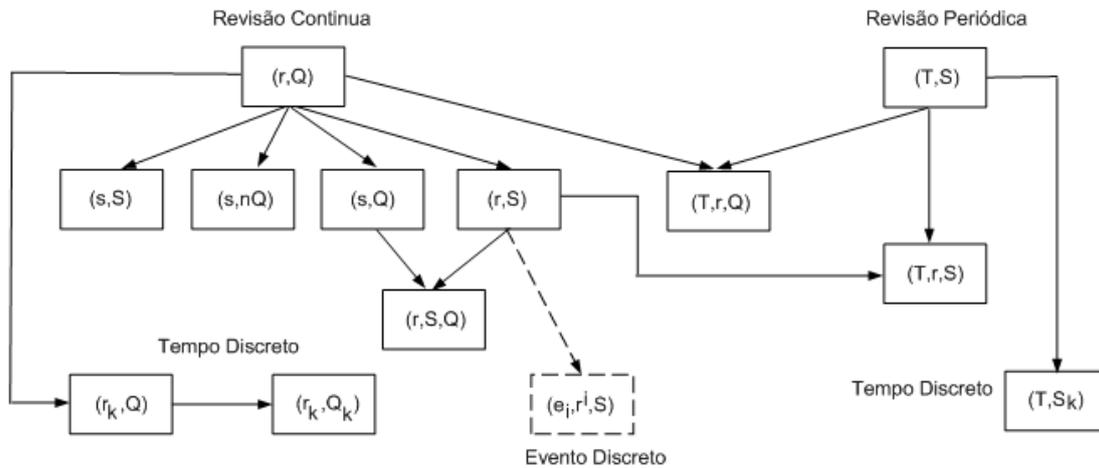


Figura 10 - Políticas de controle e a política proposta (tracejado)

Fonte: Autoria própria

2.7 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesta seção foi apresentada a estrutura de uma cadeia de suprimentos como uma rede de distribuição serial e divergente, uma cadeia de suprimentos serial (CSS) foi construída com base no fluxo de informações e de materiais. Uma revisão bibliográfica contendo as principais políticas de controle de estoque estáticas e dinâmicas, abordando sistemas de estoques mono-nível e mono-produto foi discutida, posteriormente esta discussão foi estendida para sistemas de estoques, redes de distribuição e cadeia de suprimentos tendo como base os modelos de otimização de custos. Para finalizar, uma nova proposta para política de controle dinâmico com base na chegada de eventos de demanda foi sugerida, em sistema de revisão contínua na política de controle *OUTL-P*.

3 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

Neste capítulo, apresentam-se as métricas de desempenho em destaque na literatura atual, tais como: efeito chicote (*Bullwhip effect*), nível de serviço ao cliente (*customer service level*), responsividade (*responsiveness*), as inclinações (*Slope*) do efeito chicote e dos estoques e agilidade (*agility*).

Na seção 3.1 uma revisão dos trabalhos relevantes sobre métricas é apresentada. Na subseção 3.1.1 discute-se o efeito chicote e seus impactos sobre a CSS. Na subseção 3.1.2 aborda-se o problema de responsividade e agilidade. Na subseção 3.1.3 o nível de serviço ao cliente é apresentado e na subseção 3.1.4 analisa-se o comportamento dos estoques e suas métricas mais usuais. Na seção 3.2 apresentam-se as métricas de inclinação para a CSS. Na seção 3.3 são discutidas as métricas de absorção, e propostas duas métricas para mensurar o efeito chicote e a responsividade da CSS e na seção 3.4 a conclusão do capítulo.

3.1 MÉTRICAS DE DESEMPENHO NA LITERATURA

Nas últimas décadas o estudo sobre o desempenho das cadeias de suprimentos tem se intensificado e são geralmente utilizados para detectar problemas que ocorrem nos níveis ou entre os seus elos. Inicialmente, os estudos abordavam o desempenho através da otimização considerando custo de estoque, perda de vendas, escassez de produtos, custos totais, entre outros. Posteriormente, com os estudos dos modelos dinâmicos, variáveis são incorporadas aos modelos e métricas para monitorar o desempenho dinâmico das variáveis, e indicadores para comparar as métricas de desempenho com os valores desejados são formalizadas. Por exemplo, o efeito chicote e a sua tendência de crescimento entre os níveis (inclinação), taxa de entrega, nível de serviço ao cliente, variabilidade dos estoques e das ordens de reposição, variabilidade dos estoques por nível (instabilidade dos estoques), ciclo de vida de produtos, entre outros. De acordo com as discussões geradas pelos trabalhos de Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997), Chen, Drezner e Ryan (2000), Disney; Towill (2003), Miragliotta (2006), Tako; Robinson (2012), Sonia et al. (2013), Aloulou, Dolgui e Kovalyov (2014), Cigolini et al.(2014). Nestes estudos, destacam-se as incertezas de demanda e do *lead time*, como as variáveis que têm maior impacto sobre o desempenho das cadeias de suprimentos. No estudo publicado por Disney; Lambrecht (2008) o desempenho das CS foi mensurado através do efeito chicote e três hipóteses para explicar o seu comportamento entre os elos da CS foram apresentados, as equações que validam estas hipóteses serão apresentadas na seção 3.2.

- (i) Se o valor do efeito chicote mensurado for superior a unidade, assume-se amplificação entre os elos, ou seja, existe um crescimento do efeito que se propaga sobre cada nível da cadeia de suprimentos. Causando a instabilidade nos estoques e nas ordens solicitadas, impactando no aumento do custo de estoque e incremento na variabilidade no lote de reposição;
- (ii) Se o valor do efeito chicote mensurado for inferior a unidade admite-se amortecimento entre os elos e não existe amplificação;
- (iii) Se o valor do efeito chicote mensurado for igual à unidade, a variabilidade da demanda é igual à variabilidade do lote de reposição, ou seja, não existe amplificação.

Em trabalhos recentes, o efeito chicote é utilizado para estudar o desempenho de cadeias de suprimentos incluindo novos aspectos, tais como: volatilidade do mercado, *lead time* estocástico, diferentes estruturas e configurações, sistemas de políticas de controle híbridas, políticas de estoque, nível de serviço, modelos estruturais, entre outros de acordo com os trabalhos publicados por Cannella; Ciancimino (2010), Cannella et al.(2013), Dominguez, Framinan e Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015). A Tabela 2 apresenta a notação das métricas de desempenho.

Tabela 2 - Notação das métricas de desempenho

Estatísticas			
σ_d^2	Variância da demanda de mercado	μ_d	Média da demanda de mercado
σ_E^2	Variância do estoque	μ_Q	Média do lote de reposição
σ_Q^2	Variância do lote de reposição	μ_E	Média do estoque
$\partial OrVrR$	Ângulo de inclinação do <i>BwSl</i>	$\partial InvVrR$	Ângulo de inclinação do <i>InvInSl</i>
Métricas			
<i>Bw</i>	Bullwhip	<i>BwSl</i>	Bullwhip Slope
<i>OrVrR</i>	Order rate variance ratio	<i>InvVrR</i>	Inventory variance ratio
<i>InvInSl</i>	Inventory Instability Slope	<i>FR</i>	Fill Rate
<i>B_{LOG}</i>	BackLog		
Variáveis			
<i>d</i>	Demanda real	<i>O_E</i>	Ordens entregues
<i>L</i>	Lead time nominal		

Fonte: Cannella et al.(2013)

3.1.1 EFEITO CHICOTE

Um problema que tem sido abordado com frequência nas políticas de controle dinâmico está relacionado com a distorção da propagação da demanda entre os elos da CS e foi denominado de Efeito de Amplificação da Demanda, Efeito Chicote, Efeito Forrester, *Whiplash*, *Whipsaw* ou *Bullwhip Effect* Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997). O efeito chicote é ilustrado na Figura 11, para uma cadeia de suprimentos composta de três níveis produtivos (varejista, distribuição e fabricação) bem como a direção do fluxo de informação e de materiais. Observa-se que a amplificação da demanda é incrementada a cada elo produtivo (passagem do nível produtivo) e há um fluxo de informação no sentido consumidor para o nível de fabricação e um fluxo de materiais no sentido nível de fabricação para consumidor.

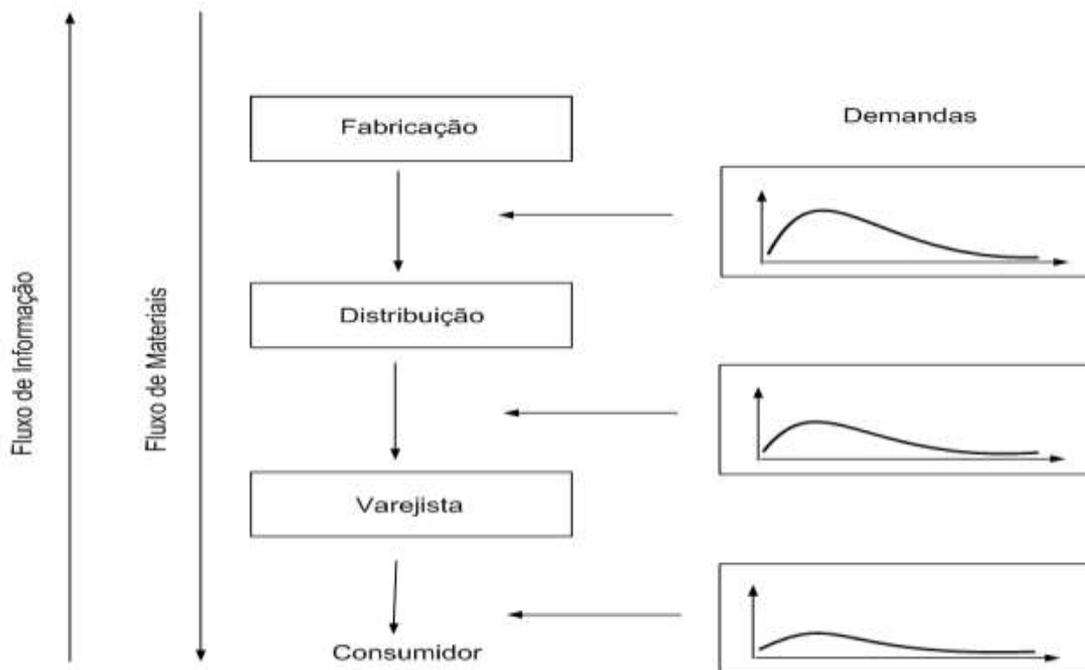


Figura 11 - Amplificação da Demanda na Cadeia de Suprimentos

Fonte: Autoria própria

Este tipo de problema foi observado nas indústrias (Procter & Gamble - P&G) e os seus efeitos vão desde o aumento de custo, redução do nível de serviço, perda nas vendas, escassez de produtos, atrasos nas entregas até a paralisação total da CS de acordo com Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997). Assim soluções para quantificar, eliminar ou reduzir o efeito chicote sobre a CS tem sido propostas em Chen, Drezner e Ryan (2000), Diaz; Pires (2003), Vieira, Barbosa e Conceição (2003), Fiorioli; Fogliatto (2007), Fiorioli; Fogliatto

(2009), Cannella; Ciancimino (2010), Cannella et al.(2013). Nestes trabalhos apresentam-se também as principais causas do efeito chicote conforme discutidas a seguir.

- (i) **Atualização constante da previsão de demanda:** esse efeito surge quando o varejista emite um pedido baseado na sua previsão atualizada da demanda. Como resultado, o fabricante perde a verdadeira visão da demanda do mercado. O planejamento da produção baseado na incerteza da demanda é inevitavelmente ineficiente. O efeito da incerteza é ampliado com o aumento do número de intermediários no canal de distribuição;
- (ii) **O Lote de pedidos:** é colocado segundo uma política de reposição periódica de estoque. Entretanto, quando esta política mostra-se não adequada, os pedidos são colocados de forma aleatória causando dificuldades aos fornecedores em avaliarem as suas previsões de demanda futura e com isto, os lotes de pedidos podem ser superdimensionados;
- (iii) **O Jogo de Racionamento:** está relacionado à prevenção dos varejistas contra a escassez dos produtos, por isso, pedidos podem ser solicitados pelo varejista ao fabricante sem a necessidade imediata de consumo do varejo;
- (iv) **A flutuação dos preços:** ocorre quando os fabricantes e distribuidores fazem promoções com descontos em preços e quantidades. Todas as promoções direcionam para a flutuação de preço, levando os clientes a comprarem quantidades que não refletem as suas necessidades imediatas. Tendo como consequência a quantidade comprada é maior que a necessária. Encerrada as promoções, a tendência é uma paralisação nas compras por um período, causando grandes flutuações na produção e nos estoques distribuídos ao longo da CS Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997), Chen, Drezner e Ryan (2000).

No trabalho de Cannella et al.(2013) são estabelecidos critérios para avaliação do nível, utiliza-se o termo eficiência dos processos internos (*single member*) e da cadeia de suprimentos como um todo (*Whole/Global Supply Chain*). Para mensurar a eficiência dos processos internos é sugerido utilizar as métricas: $OrVrR$, $InvVrR$, a taxa de variação do estoque em processo (*Wip Variance Ratio - WipVrR*) e a média dos estoque (*Average*

Inventory - AInv). Na satisfação do cliente são sugeridas as métricas entre os elos, para taxa de entrega (*Fill Rate node-by-node*) e as ordens não entregues no tempo (*Backlog node-by-node*), ou seja, prevalece na análise o elo de fornecimento do produto. Em contra partida, para análise da cadeia de suprimentos global é sugerido analisar a inclinação através das métricas: inclinação do efeito chicote (*BullWhip Slope - BwSI*), inclinação da instabilidade dos estoques (*Inventory Instability Slope - InvInSI*), inclinação da variação do estoque em processo (*Wip Variance Ratio Slope - WipInSI*) e o estoque médio global (*Systemic Average Inventory - SAI*).

De todas as métricas discutidas, a mais estudada é o efeito chicote, deve ser mensurado por nível da cadeia de suprimentos, através da métrica (*OrVrR*) das ordens solicitadas em conjunto com a métrica para os estoques (*InvVrR*). Posteriormente, deve-se quantificar a inclinação do efeito chicote através da métrica (*BwSI*) e dos estoques, através da métrica (*InvInSI*) de acordo com as sugestões apresentadas nos trabalhos de Miragliotta (2006), Cannella et al.(2013). Uma análise comparativa com o trabalho de Barlas; Gunduz (2011) também foi apresentada. De um modo geral o trabalho de Cannella destaca o problema do efeito chicote nas CS e direciona futuras pesquisas acadêmicas, já que o termo efeito chicote e a importância dada ao nível de serviço ao cliente na CS têm sido constantemente estudados na literatura. No trabalho de Cannella et al.(2013) métricas para CS são abordadas e destacados três pontos, que representam *gaps* na análise do efeito chicote e são discutidos a seguir:

- (i) **Foco no cliente:** Muitos estudos estão direcionados para as consequências do efeito chicote, somente em termos de amplificação da demanda e instabilidade dos estoques mensurados através das métricas *OrVrR* e *InvVrR*. Estas métricas abordam o problema sob o ponto de vista do nível da cadeia de suprimento, sem analisar a efetividade do impacto sobre os clientes. Este tipo de *gap* é conhecido na literatura como “*insufficient focus on customer*” Beamon (1999);
- (ii) **Responsividade operacional:** Similarmente, muitos estudos sobre o efeito chicote fornecem informações reduzidas, sobre as consequências do fenômeno nos termos de ordens generalizadas (*lumpy orders*). Ordens intermitentes têm como origem, a demanda ocasional em intervalos de tempo intercalados, no qual nenhuma demanda ocorre. Este fenômeno pode estar relacionado ao efeito chicote, pois pode ser produzido por excessivos erros de dimensionamento de ordens anteriores, devido à ocorrência da distorção da informação ao longo da

cadeia de suprimentos Cannella; Ciancimino (2010). Reduzindo as ordens generalizadas significa melhorar a capacidade de resposta. Este *gap* mostra a necessidade de adaptar métricas que sejam capazes de mensurar a responsividade das cadeias de suprimentos Akyuz; Erkan (2010);

- (iii) **Desempenho global da cadeia de suprimentos:** As organizações de um modo geral tendem a estudar as suas cadeias de suprimentos, considerando todos os participantes, desde os fornecedores até o consumidor final. A questão que se colocada neste contexto, é como observar a ocorrência de um fenômeno global, observado somente os níveis (uma parcela) da cadeia de suprimentos separadamente. Isto pode levar a informações distorcidas sobre a ocorrência de algum fenômeno, impactando na tomada de decisão e na perda da vantagem competitiva, pois não é vista como uma entidade global. Este *gap* é conhecido na literatura como “critério de falta de validade de medição”.

Destaca-se também a apresentação de duas métricas para mensurar o efeito chicote tendo como base o lote de reposição e a demanda de mercado, a primeira considera a razão entre a variância do lote de reposição para cada nível da CS e a variância da demanda de mercado conforme discutido em Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997), Chen, Drezner e Ryan (2000) de acordo com a equação (27).

$$Bw = (\sigma_Q^2)/(\sigma_d^2) \quad (27)$$

A segunda métrica é denominada de razão da variação da taxa de pedidos (*Order Rate Variance Ratio - OrVrR*) mensurado pela razão entre a variância do lote de reposição normalizado pela sua média para cada nível da CS, e a variância da demanda de mercado normalizado pela sua média. Conforme destacado nos trabalhos de Disney; Towill (2002), Disney; Towill (2006); Hosoda; Disney (2006), Miragliotta (2006), Cannella et al.(2013) e se torna a métrica mais adequada para mensurar o efeito chicote em cada nível da cadeia de suprimentos, de acordo com a equação (28).

$$OrVrR = \left(\frac{\sigma_Q^2}{\mu_Q} \right) / \left(\frac{\sigma_d^2}{\mu_d} \right) \quad (28)$$

3.1.2 RESPONSABILIDADE

A responsividade (*responsiveness* or *reactivity*) pode ser definida como uma CS é capaz de responder rapidamente as alterações na demanda de mercado, considerando tanto o volume como o mix de produtos. Por outro lado, agilidade (*agility*) pode ser definida como, fazer um produto em um período de tempo útil.

Por apresentarem definições qualitativas, surge a necessidade do desenvolvimento de modelos quantitativos que sejam capazes de dimensionar ou capturar a medida de responsividade e de agilidade de uma CS conforme discutido nos trabalhos de (CHRISTOPHER, 2000; KHATOR; DESHMUKH, 2002; YOU; GROSSMANN, 2008).

Para You & Grossmann, o conceito de responsividade é estendido e analisa-se qual deve ser o seu valor no futuro de tal modo que a CS torne-se altamente responsiva. Neste caso o *lead time* é utilizado como parâmetro de ajuste e a seguinte questão é colocada: qual deverá ser o seu valor esperado no futuro de modo que a CS seja capaz de responder em tempo hábil a variações da demanda dos seus clientes. Os autores destacam a importância desta visão, que pode abordar o problema em CS composta de vários ambientes produtivos de dois modos diferentes, por exemplo, para o pior caso o tempo de resposta seria para o ambiente produtivo que opera na estratégia sem estoque, ou seja, no sistema puxado (*pull or make to order*) e para o melhor caso de resposta seria o ambiente produtivo que opera na estratégia com estoque de produtos em todo o sistema, ou seja, sistema empurrado (*push or make to stock*). Outro ponto importante destacado seria incluir no modelo quantitativo, as incertezas da demanda, o estoque de segurança e o valor futuro esperado para o *lead time*. Este valor futuro seria modelado por distribuições de probabilidade, neste caso foram escolhidas as distribuições Normal e Triangular, por serem as distribuições que mais se aproximam da realidade da CS (YOU; GROSSMANN, 2008).

Sob o ponto de vista de um novo paradigma que engloba a velocidade com que as CS tendem a responder as incertezas do mercado, o trabalho de Kumar; Ramakrishna (2011) aborda o problema de resposta da CS sob o ponto de vista de Manufatura Ágil (*Agile Manufacturing*). Segundo o autor, as CS contemporâneas tendem a adquirir características ágeis, representadas, por exemplo, pela volatilidade da procura de mercado, através da alta variedade de produtos, pela alta margem de lucro, pelo curto ciclo de vida do produto, etc. Assim, a medida da agilidade da CS ganha destaque, uma vez que indica a posição estratégica

de uma organização ágil do ponto de vista da CS e pouco tem sido feito para estudar, analisar e avaliar a agilidade das CS já que o tema é de grande importância na atualidade.

A responsividade geralmente possui caráter qualitativo e os modelos quantitativos discutidos, representam uma linha de pesquisa característica de uma área ou uma nova abordagem sobre o assunto. Nesta tese é proposta uma métrica para responsividade para cada nível da CSS tendo como base o *lead time* estimado (veja equação (13)), que foi discutido no capítulo 2.

3.1.3 NÍVEL DE SERVIÇO

O nível de atendimento ao cliente segundo a definição clássica é uma medida de entrega em forma de porcentagem. Representa geralmente a relação entre a quantidade de itens ou produtos que constam no pedido do cliente durante período de avaliação, que pode ser atendido pelo estoque. Por outro lado, no trabalho de Cannella et al.(2013) o nível de serviço ao cliente (*customer service level*) é mensurado pela razão entre as ordens entregues no tempo e a quantidade de pedidos solicitados (demanda) é denominado de *Fill Rate - FR*. Sendo a métrica mais adequada para quantificar as vendas perdidas, em sistemas de produção em massa e na estratégia de gestão de demanda para estoque (*Make-To-Stock - MTS*) de acordo com a equação (29).

$$FR = (O_E)/(d) \quad (29)$$

Para sistemas de produção que atende a gestão de demanda *Build-To-Order - BTO*, o mais adequado para mensurar o nível de serviço, seria utilizar a métrica que representa o acúmulo dos produtos finais não entregues no tempo, para o cliente final (*Backlog*). A estratégia *BTO* tem como característica, produzir o produto final personalizado para um cliente específico. Geralmente excedem as especificações padrão de um produto e são projetados para atender aos requisitos de design de um indivíduo, organização ou empresa de acordo com o pedido do cliente e suas especificações técnicas, são semelhantes às estratégias *MTO* e *DTO*. A equação (30) representa a métrica *Backlog*.

$$B_{LOG} = \int_0^t d dt - \int_0^t O_E dt \quad (30)$$

3.1.4 ESTOQUE POR NÍVEL

Entretanto, para os níveis dos estoques a métrica razão de variação do estoque (*Inventory Variance Ratio - InvVrR*) conhecido também como medidor de magnitude dos estoques por nível, é ideal para mensurar a amplificação dos estoques e mostrar como o efeito chicote influencia nos estoques da CS. Mensurado conjuntamente com o efeito chicote é uma métrica ideal para determinar o impacto de variabilidade da demanda, mostrando se existe amplificação ou atenuação da variabilidade no mercado de acordo com a h. A média dos estoques (*Average Inventory - AvInv*) é uma métrica muito utilizada em sistemas de produção e distribuição, para avaliar as informações sobre os estoques. Também é considerada como uma métrica complementar para avaliação do *InvVrR* de acordo com as discussões de (DISNEY; TOWILL, 2002; DISNEY; TOWILL, 2006; HOSODA; DISNEY, 2006; CANNELLA; CIANCIMINO, 2010; CANNELLA et al., 2013).

$$InvVrR = \left(\frac{\sigma_E^2}{\mu_E} \right) / \left(\frac{\sigma_d^2}{\mu_d} \right) \quad (31)$$

3.2 COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A inclinação ou análise de tendência de uma CS é mensurada através do desempenho de cada nível como uma variável independente representada pela tangente (tg) do ângulo (∂). O mais comum é mensurar a inclinação de toda a CS, considerando o efeito chicote através da métrica (*Bullwhip Slope - BwSl*) de acordo com a equação (32) conforme discutido nos trabalhos de Dejonckheere et al.(2003), Dejonckheere et al.(2004). A técnica mais adequada para determinar a inclinação da CS, segundo Cannella et al.(2013) é análise de tendência, que pode detectar alta ou a baixa propagação do efeito chicote através do comportamento da métrica *OrVrR* para cada nível da CS. Por outro lado, a inclinação também pode mensurar o nível de instabilidade dos estoques (*Inventory Instability Slope - InvInSl*) através da métrica *InvVrR* para cada nível da CS de acordo com a equação (33).

$$BwSl = tg\partial OrVrR \quad (32)$$

$$InvInSl = tg\partial InvVrR \quad (33)$$

A Tabela 3 fornece as informações para cada métrica discutida até o momento, e as suas implicações na gestão da cadeia de suprimentos em termos de custos. A última coluna da tabela serve de referência para orientar estudos futuros, sobre as métricas e os seus respectivos custos associados.

Tabela 3 - Fenômenos do Efeito Chicote e seus Custos

Fenômenos Relacionados ao Efeito Chicote e os Impactos sobre os Custos		
Métricas	Conteúdo da Informação	Relação dos Custos
<i>OrVrR</i>	Magnitude do efeito Chicote Estabilidade das Ordens Variações da produção e do lead time de distribuição	Aquisição de produtos Inspeção e Manipulação dos produtos Ordens dos itens Horas extras e retrabalho Subcontratação
<i>InVrR</i>	Flutuação dos estoques Probabilidade de ruptura dos estoques	Aumento de custo médio dos estoques por período produtivo Aumento do custo de manutenção do estoque por item Falta de sequência na produção
<i>WipVrR</i>	Estabilidade dos estoques em processo	<i>Set-up</i> de produção e transportes Realocação no cronograma dos recursos planejados Folga e capacidade extra no sistema de distribuição
<i>AvInv</i>	Investimento em estoque Possibilidade de obsolescência Utilização da capacidade de estoque	Armazenamento de itens Manipulação de itens Deterioração e obsolescência dos itens Recuperação de itens
<i>Fill Rate</i>	Série temporal do nível de atendimento ao cliente	Ruptura de estoque Falta de vendas e perdas dos clientes finais Penalidades por não entregas no tempo Prioridade das ordens especiais Sequenciamento de serviço
<i>BackLog</i>	Plano de entrega de produtos pela produção não é cumprido	Recursos de realocação de trabalhos

Fonte: Cannella et al.(2013)

3.3 MÉTRICAS PROPOSTAS DE ABSORÇÃO

As métricas de absorção são caracterizadas através da estocasticidade da demanda e do *lead time* e servem para quantificar os impactos das incertezas sobre os estoques e *lead time* nominal da CSS. Estas métricas compõem a política de controle dinâmico proposta nesta tese e têm como origem as variáveis de absorção (veja capítulo 2). Os efeitos ou fenômenos produzidos internamente (endógenos) pelas cadeias de suprimentos são observados através do comportamento estocástico da demanda e *lead time* sobre os estoques. Ressalta-se aqui o

caráter inovador de mensurar as cadeias de suprimentos, frente às propostas discutidas na literatura acadêmica. Entretanto, as métricas de absorção seguem as orientações de Dejonckheere et al.(2003), Dejonckheere et al.(2004), Miragliotta (2006), Cannella; Ciancimino (2010), Cannella et al.(2013) onde se destaca, que a métrica mais adequada para mensurar o efeito chicote é a métrica *OrVrR* (veja equação (28)). A tabela 4 apresenta a notação utilizada para construir as métricas de absorção adaptadas da literatura acadêmica e são descritas a seguir.

Tabela 4 - Métricas de desempenho para absorção.

Notação das Métricas de Desempenho para Absorção			
Estatísticas por eventos			
$\sigma^2_{(\Delta d^i \times L)}$	Variância do estoque de absorção	$\mu_{(\Delta d^i \times L)}$	Média do estoque de absorção
$\sigma^2_{\Delta d^i}$	Variância da absorção da demanda	$\mu_{\Delta d^i}$	Média da absorção da demanda
$\sigma^2_{Q^i}$	Variância do lote de reposição variável	μ_{Q^i}	Média do lote de reposição ajustado
Métricas propostas			
Ec_{Q^i}	Efeito chicote	$Ec_{\Delta d^i}$	Efeito chicote da absorção da demanda
$ImRp$	Impacto de responsividade		
Variáveis			
d^i	Demanda por eventos		
Q^i	Lote de reposição ajustado		
ΔL^i	Absorção do lead time		

Fonte: Autoria própria

A construção da métrica *OrVrR* necessita que seja conhecida a variância e a média da variável em análise, assim é necessário calcular a variância do lote de reposição ajustado (Q^i) utilizando a equação (10) em relação absorção da demanda no evento i de acordo com a equação (34).

$$Var(Q^i) = Var(Q) + Var(\Delta d^i \times L) \quad (34)$$

O lote Q é considerado constante para todo período de análise por definição (veja a Tabela 1) então a $Var(Q)$ assume o valor zero, a $Var(\Delta d^i \times L)$ é a variância do estoque de absorção da demanda. Deste modo a variância do lote de reposição ajustado é igual à variância do estoque $Var(Q^i) = Var(\Delta d^i \times L)$ de acordo com equação (35).

$$\sigma^2_{Q^i} = \sigma^2_{(\Delta d^i \times L)} \quad (35)$$

Da mesma forma que a variância, a variável que representa a média do lote de reposição é formalizada a seguir. A média do lote de reposição $E(Q)$ é conhecida e constante para todo período de análise (veja a Tabela 1), o valor médio do lote de reposição ajustado $E(Q^i)$ só é conhecido no final do período de análise, similar a média do estoque de absorção $E(\Delta d^i \times L)$ de acordo com a equação (36).

$$E(Q^i) = E(Q) + E(\Delta d^i \times L) \quad (36)$$

Usando a notação da Tabela 4 tem-se a equação (37) para média do lote de reposição ajustado.

$$\mu_{Q^i} = \mu_Q + \mu_{(\Delta d^i \times L)} \quad (37)$$

Substituindo as equações (35) e (37) na equação (28), o efeito chicote para o proposto é avaliado conforme equação (38).

$$Ec_{Q^i} = \left(\frac{\sigma_{(\Delta d^i \times L)}^2}{\mu_Q + \mu_{(\Delta d^i \times L)}} \right) / \left(\frac{\sigma_d^2}{\mu_d} \right) \quad (38)$$

A equação (36) mostra que o termo referente ao lote de reposição ajustado é mensurado considerando a variabilidade do estoque de absorção. Para o cálculo da média, tem-se a média do lote (Q) adicionada à média do estoque de absorção, pois absorção do estoque (Δd^i) é sempre negativa. A equação (38) dá uma idéia de amortecimento do efeito chicote, pois a variância relativa à parcela estocástica do lote ajustado é reduzida e a sua média é incrementada, quando compara ao lote de reposição clássico (veja a equação (28)).

Outro ponto a ser destacado na equação (38), é a contribuição da variável de absorção da demanda (Δd^i) sobre o efeito chicote. A equação (39) representa esta contribuição. Esta nova métrica é denominada efeito chicote da absorção da demanda $Ec_{\Delta d^i}$. O critério de mensuração é similar ao proposto em Disney; Lambrecht (2008) e adaptado da equação (28).

$$Ec_{\Delta d^i} = \left(\frac{\sigma_{\Delta d^i}^2}{\mu_{\Delta d^i}} \right) / \left(\frac{\sigma_d^2}{\mu_d} \right) \quad (39)$$

O nível de serviço mensurado para evento é definido pela métrica FR (*Fill Rate*) que representa a taxa de atendimento ao cliente para evento i é uma adaptação da equação (29), de acordo com a equação (40).

$$FR = (Q^i)/(d) \quad (40)$$

As métricas que mensuram a inclinação do efeito chicote e da absorção da demanda, para a política de controle dinâmico (*OUTL-P*) são adaptações da equação (32). De acordo com as equações (41) e (42).

$$BwSl_{Q^i} = tg\partial Ec_{Q^i} \quad (41)$$

$$BwSl_{\Delta d^i} = tg\partial Ec_{\Delta d^i} \quad (42)$$

Em relação à métrica para absorção do *lead time* a ideia é investigar o impacto da chegada do evento de demanda sobre o *lead time* nominal, para tanto, é proposto nesta tese uma métrica denominada de Impacto de responsividade $|ImpRp|$, mensurada pela modulo da razão entre a variável de absorção do *lead time* (ΔL^i) e o *lead time* nominal (L), conforme equação (43).

$$|ImpRp| = |(\Delta L^i)/(L)| \quad (43)$$

Para justificar o comportamento da responsividade das CSS, três pressupostos são formulados e discutidos a seguir.

- (i) Se o valor da métrica tende a um ($|ImpRp| \rightarrow 1$) a variável de absorção do *lead time* tende ao seu valor máximo ($\Delta L^i \rightarrow L$). Assume-se que o *lead time* nominal (L) é consumido pela chegada do evento de demanda e o tempo máximo de resposta da CSS deve ser igual ao tempo de consumo do estoque de segurança, o que implica em risco de ruptura do estoque;
- (ii) Se o valor da métrica tende a zero ($|ImpRp| \rightarrow 0$) a variável de absorção do *lead time* tende a um valor próximo de zero ($\Delta L^i \rightarrow 0$). Assume-se que não há absorção do *lead time* nominal (L), e a possibilidade de ruptura do estoque é remota. O

valor do *lead time* variável tende ao valor do *lead time* nominal ($L^i \rightarrow L$, veja equação (13));

- (iii) Se o valor da métrica está no intervalo ($0 < |\text{ImRp}| < 1$) o risco de ruptura existe, entretanto, consegue-se mensurar o tempo de resposta ideal para CSS, ou seja, a responsividade (veja Figura 8).

A validação dos pressupostos assumidos nesta tese, sobre os impactos causados pela chegada do evento de demanda sobre o *lead time* nominal, será feita durante o processo de simulação.

3.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Uma discussão contendo trabalhos relevantes sobre as métricas de desempenho estudado na literatura acadêmica foi apresentada. Destacam-se o efeito chicote, nível de serviço, inclinação e responsividade. As métricas construídas foram adaptadas de técnicas discutidas na literatura, com o objetivo de apresentar uma nova perspectiva de investigação para análise de CSS. Mensurando o efeito chicote de uma forma diferente dos modelos clássicos apresentados na literatura, tendo como base em absorção da demanda, e a responsividade com base no *lead time* estimado.

A seguir é feita a simulação da CSS com três níveis produtivos.

4 SIMULAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL

Nesta seção, faz-se uma análise do comportamento dinâmico da CSS sob ação de incertezas composta por três níveis produtivos (varejista, distribuidor e manufatura) considerando a chegada de eventos não determinísticos e incertezas na demanda. Uma análise comparativa de desempenho é realizada entre a política de controle *OUTL-C* e a política de controle *OUTL-P* utilizando simulação. Além disso, são discutidas as métricas de desempenho para o efeito chicote, ruptura de estoque, nível de serviço e responsividade. Fornecendo também resultados para o ponto de pedido, lote de reposição, nível de estoque, variáveis de absorção da demanda e *lead time*, e para o estoque de absorção.

Na Figura 12, o diagrama de causa e efeito é construído para ilustrar como as ordens são solicitadas, ajustadas e entregues aos estoques. Cada nível da CSS recebe uma solicitação de reposição do estoque, tendo como base o estoque de absorção, o procedimento de atualização revisa o ponto de pedido (r^i) e ajusta o lote de reposição (Q^i), que é enviado ao estoque para retirada do produto. Na manufatura o lote (Q^i) é a ordem de produção.

4.1 PARAMETRIZAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL COM TRÊS NÍVEIS PRODUTIVOS

Três grupos de simulação (A, B, C) foram implementados, correspondentes as Tabelas 4, 5 e 6. A demanda de mercado foi caracterizada por dados históricos de uma indústria de cosméticos da região de Curitiba do período de janeiro de 2001 até dezembro de 2010 com um total de 120 meses.

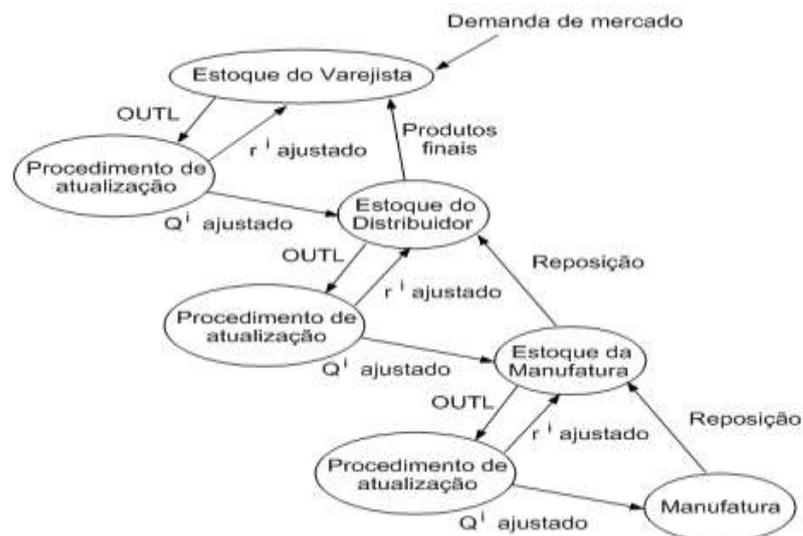


Figura 12: Diagrama de causa e efeito para uma Cadeia de Suprimentos Serial.

Fonte: Autoria própria

Utiliza-se a técnica de distribuição de frequência (histograma) para identificação dos dados históricos onde foram estimadas as médias e os desvios padrões conforme apresentado nas Figuras 13 e 14, nota-se que a distribuição anual para um período de 12 meses foi modelada por uma distribuição Normal. Como critério de análise, utiliza-se o teste não paramétrico de *Kolmogorov-Smirnov* (inferência de dados) para um nível de significância de $\alpha = 0,05$. O p-valor estimado é superior a 0,08 em todos os anos analisados, o que garante a normalidade dos dados e a independência das distribuições. Com isto, pode-se utilizar o teorema central do limite e aproximar os dados para uma única distribuição normal conforme Figura 15. A distribuição de probabilidade Normal foi ajustada pelo software estatístico *Minitab* (RYAN; JOINER, 2001).

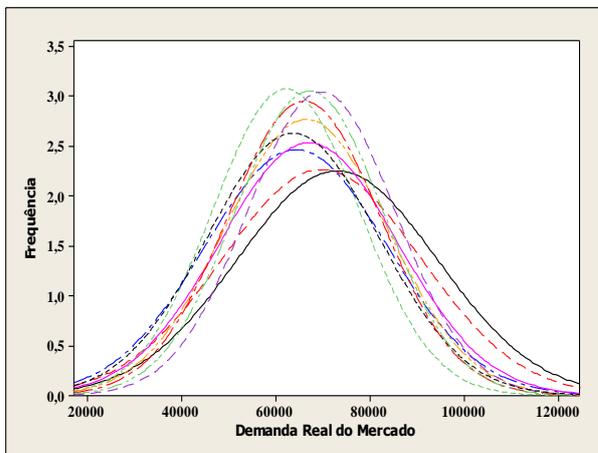


Figura 13 - Histograma da demanda prevista
Fonte: Autoria própria

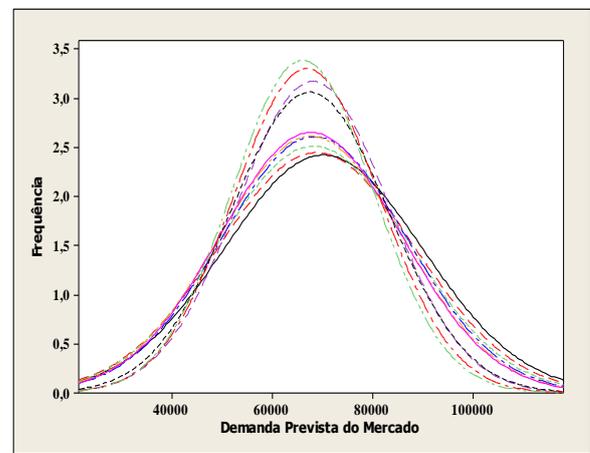


Figura 14 - Histograma da demanda real
Fonte: Autoria própria

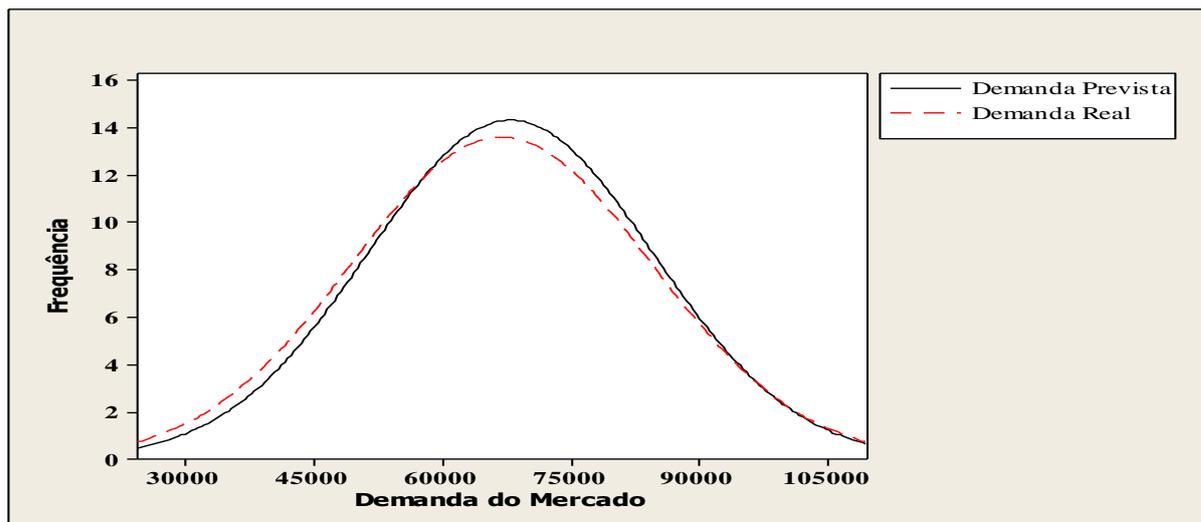


Figura 15 - Histograma da demanda real e prevista
Fonte: Autoria própria

Nos grupos os cenários construídos apresentam variações na média da demanda de mercado representada por uma taxa constante de um evento por mês com eventos adicionais

não determinísticos seguindo uma distribuição normal com taxa média de chegada de um evento a cada seis meses com desvio padrão unitário. Os eventos não determinísticos representam uma inesperada demanda no tempo.

Durante o processo de simulação, objetivo da variação na média da demanda é investigar o desempenho dinâmico da política de controle clássica e proposta considerando o mesmo cenário de simulação em relação ao nível de estoque, lote de reposição, ponto de pedido, ruptura de estoque e nível de serviço. Em relação à variação do desvio padrão, objetivo é investigar o desempenho da política de controle clássica e proposta considerando cenários diferentes em relação às métricas de desempenho do efeito chicote, inclinação, instabilidade dos estoques e absorção (veja capítulo 3). Para cada cenário foram feitas dez replicações e os resultados representam a sua média com incertezas. Utiliza-se o software ARENA[®] versão 13.9 para simulação por eventos discretos.

No Grupo A, existem três cenários de simulação (I, II e III) considerando uma demanda média de 67930 unid./mês com uma flutuação de aproximadamente $\pm 11\%$ (60000 e 75000) e desvio padrão (σ) de 17618 unid./mês de acordo com a Tabela 5. As Figuras 16, 17 e 18 ilustram a demanda de mercado do Grupo (A).

Tabela 5 - Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal (d , σ) para os cenários I, II e III do Grupo (A) com σ igual a 17619 unid./mês.

Grupo (A)	Demanda (unid./mês)
I	Normal (67930, 17618)
II	Normal (60000, 17618)
III	Normal (75000, 17618)

Fonte: Autoria própria

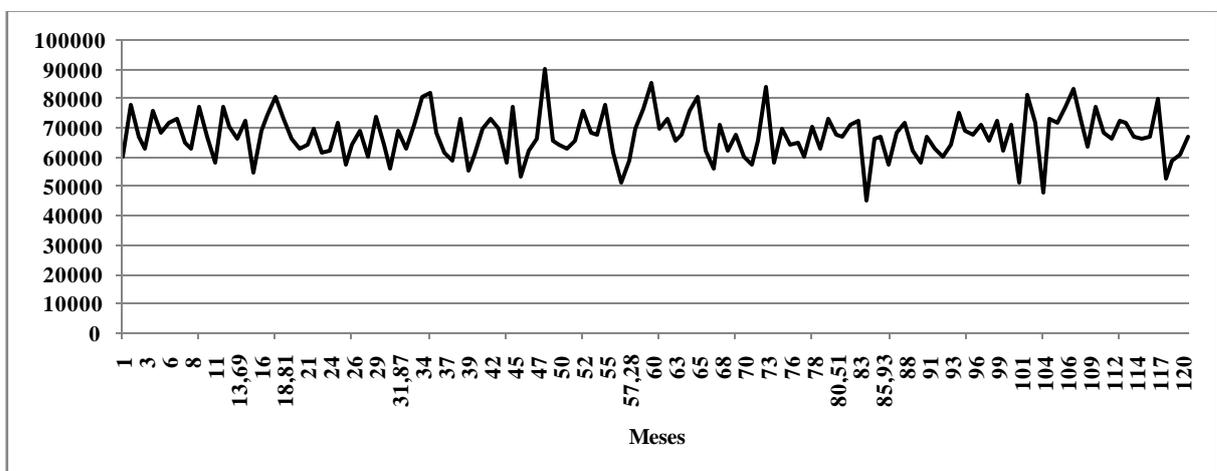


Figura 16 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (A) cenário I

Fonte: Autoria própria

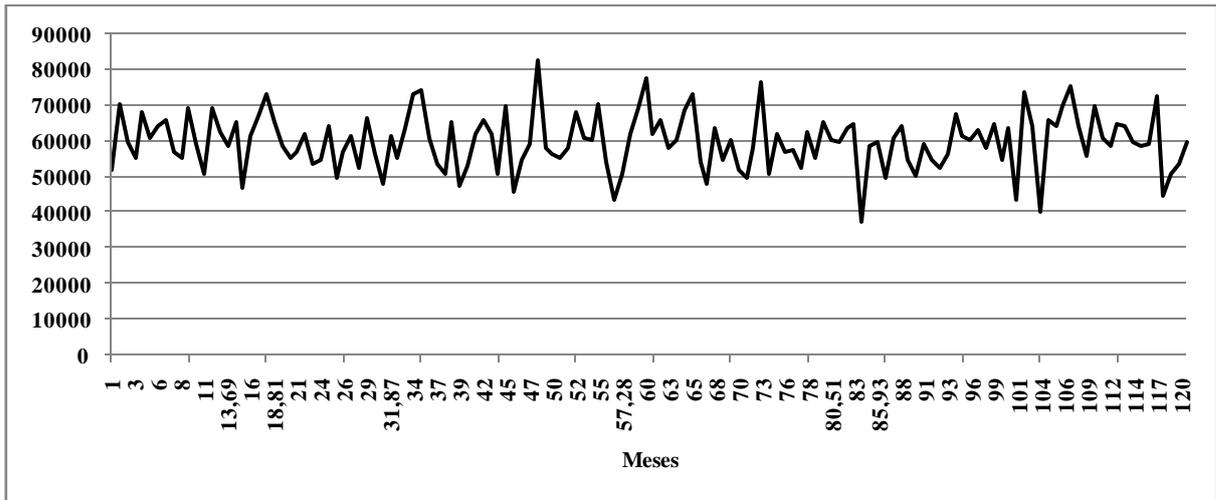


Figura 17 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (A) cenário II

Fonte: Autoria própria

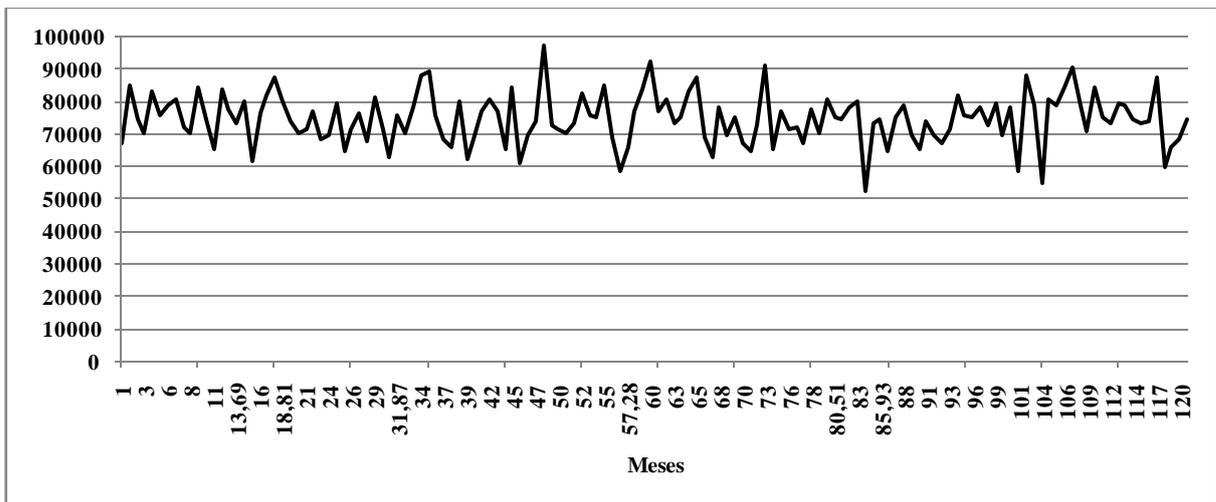


Figura 18 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (A) cenário III

Fonte: Autoria própria

No Grupo (B) considera-se a demanda média de 67930 unid./mês com uma flutuação de aproximadamente $\pm 11\%$ (60000 e 75000) e desvio padrão (σ) de 20000 unid./mês de acordo com a Tabela 6. As Figuras 19, 20 e 21 ilustram a demanda de mercado do Grupo (B).

Tabela 6 - Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal (d , σ) para os cenários I, II e III do Grupo (B) com σ igual a 20000 unid./mês.

Grupo (B)	Demanda (unid./mês)
I	Normal (67930, 20000)
II	Normal (60000, 20000)
III	Normal (75000, 20000)

Fonte: Autoria própria

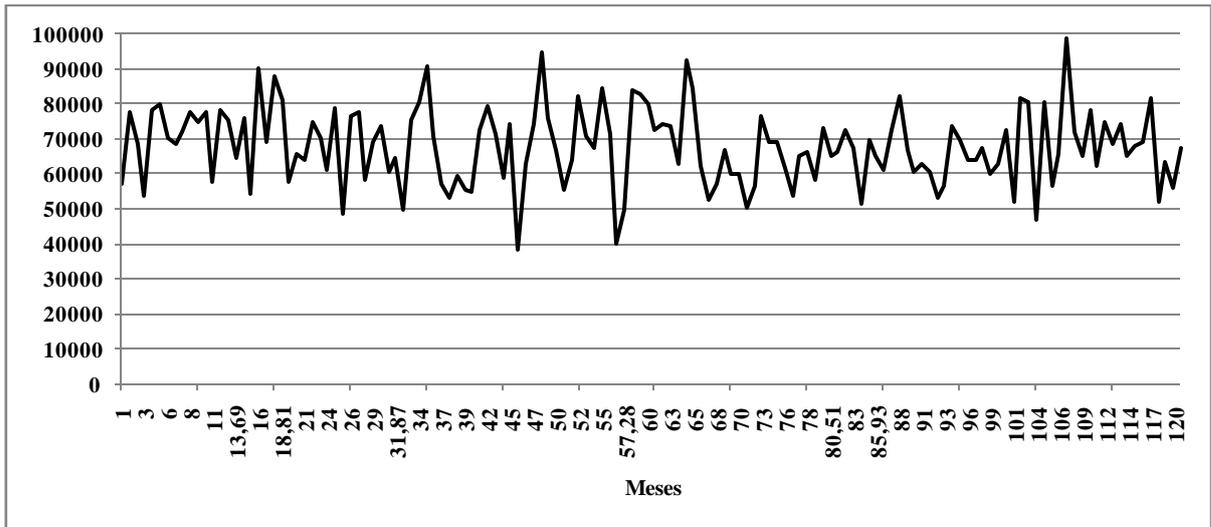


Figura 19 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (B) cenário I

Fonte: Autoria própria

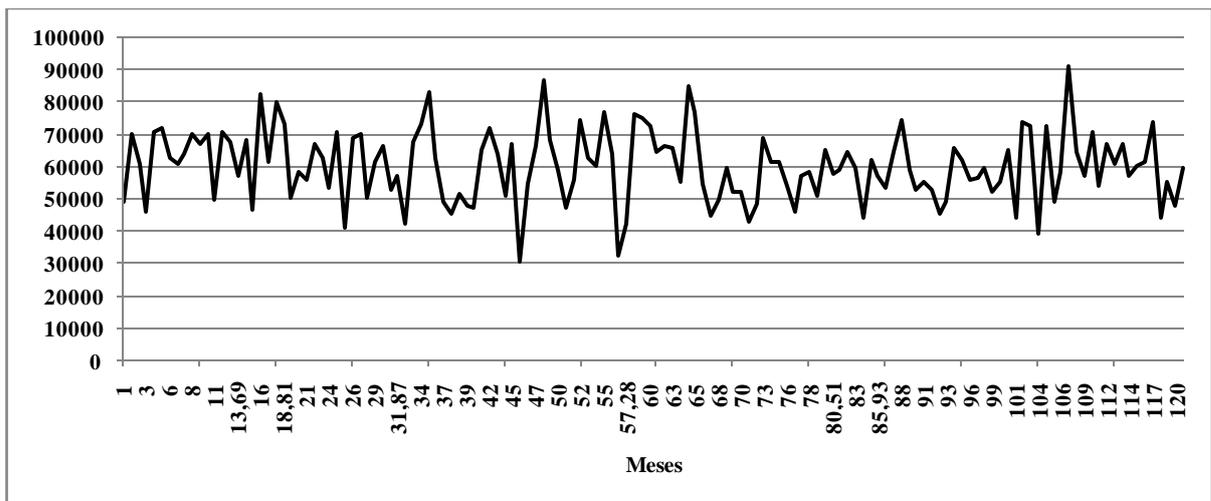


Figura 20 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (B) cenário II

Fonte: Autoria própria

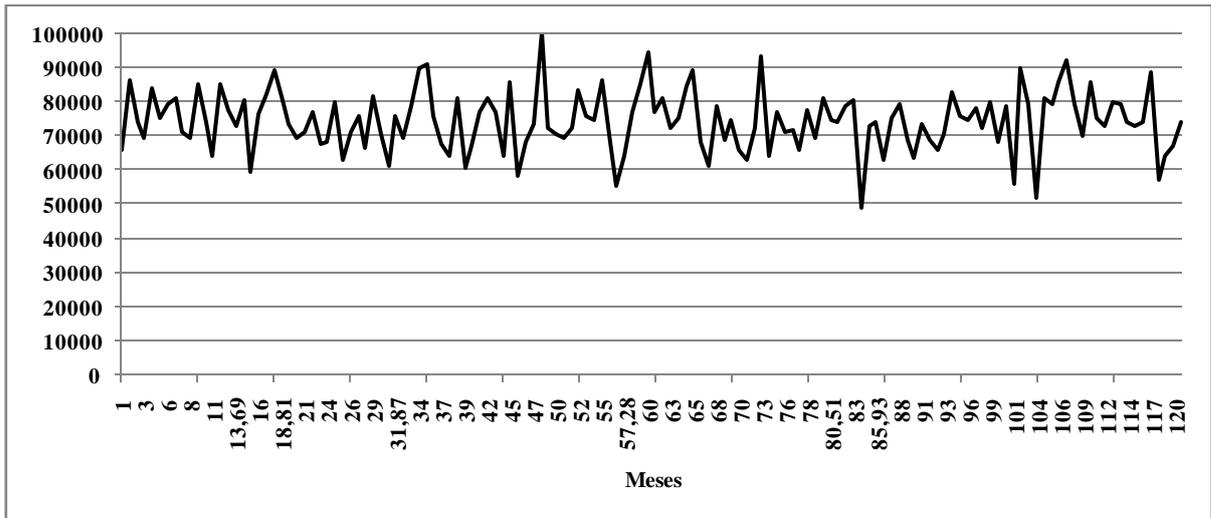


Figura 21 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (B) cenário III

Fonte: Autoria própria

No Grupo (C) considera-se a demanda média de 67930 unid./mês com uma flutuação de aproximadamente $\pm 11\%$ (60000 e 75000) e desvio padrão (σ) de 30000 unid./mês de acordo com a Tabela 7. As Figuras 22, 23 e 24 ilustram a demanda de mercado do Grupo (C).

Tabela 7- Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal (d, σ) para os cenários I, II e III do Grupo (C) com σ igual a 30000 unid./mês

Grupo (C)	Demanda (unid./mês)
I	Normal (67930, 30000)
II	Normal (60000, 30000)
III	Normal (75000, 30000)

Fonte: Autoria própria

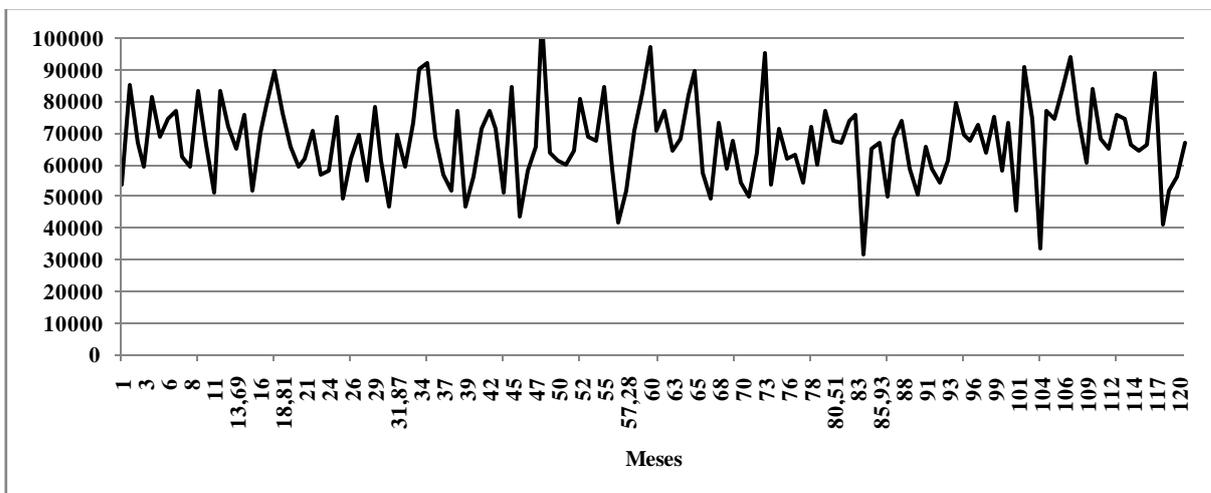


Figura 22 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (C) cenário I

Fonte: Autoria própria

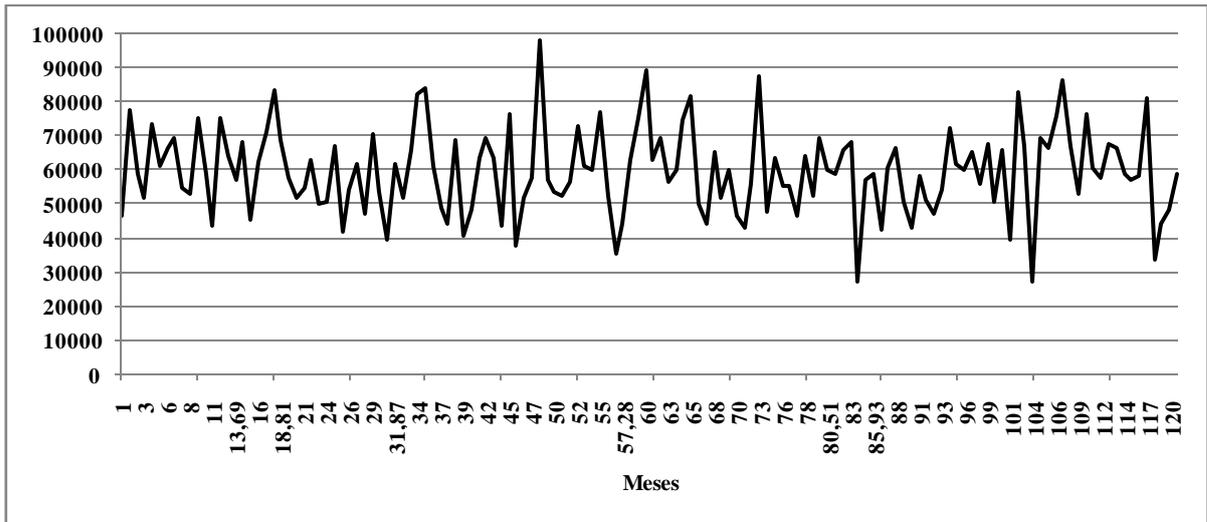


Figura 23 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (C) cenário II

Fonte: Autoria própria

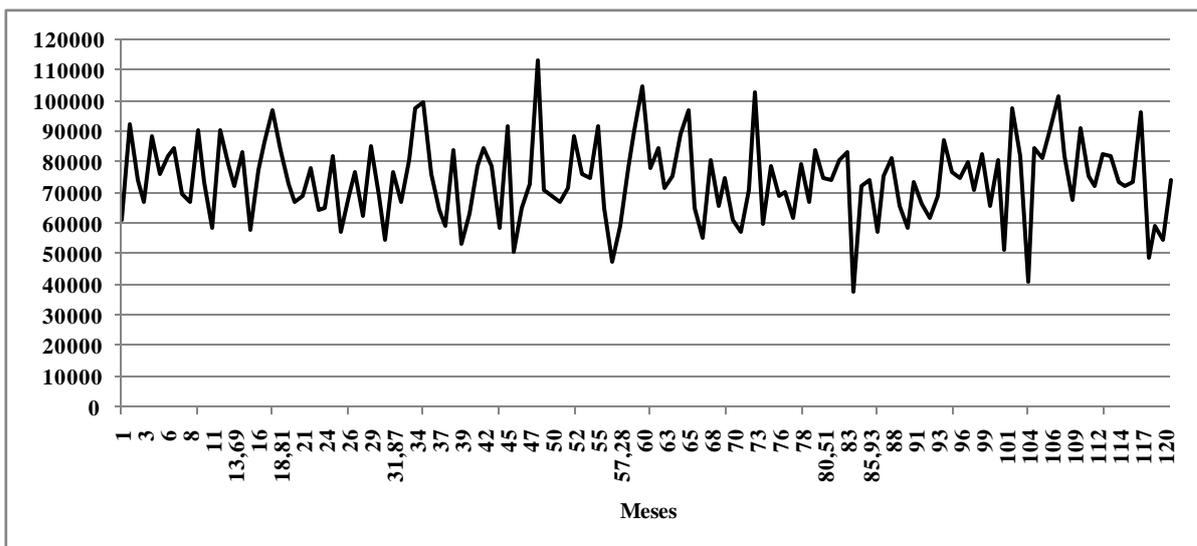


Figura 24 - Gráfico da demanda de mercado Grupo (C) cenário III

Fonte: Autoria própria

A tabela 8 mostra os parâmetros que configuram a CSS para os cenários de simulação. A demanda prevista (d) atua diretamente no estoque varejista, o nível de reposição S representa a política de controle $OUTL-C$. O estoque de segurança é definido utilizando o modelo discutido no trabalho de Evers (1999). O *lead time* nominal L é caracterizado como o tempo de entrega entre os níveis das CSS com o ponto de pedido (r) e o lote de reposição (Q) (veja Tabela 2) da política de controle (r,S) são quantificados conforme equações (7) e (8) respectivamente. O nível de serviço é considerado de 95% para todos os níveis da CSS.

Tabela 8 - Parâmetros para os três níveis da CSS

Parâmetros	Unidade	Varejista	Distribuidor	Manufatura
<i>d</i>	[unidade/mês]	67930	67930	67930
<i>S</i>	[unidade]	680432	416864	498491
<i>Es</i>	[unidade]	69062	77214	91361
<i>L</i>	[meses]	4	3	2
<i>r</i>	[unidade]	340783	281004	227221
<i>Q</i>	[unidade]	339650	135680	271720

Fonte: Autoria própria

A Tabela 9 mostra os parâmetros de simulação, o tempo de simulação representa dez anos de comportamento dinâmico da CSS, utilizando dez replicações para construir um cenário com intervalo de confiança de 95%.

Tabela 9 - Parâmetros de simulação

Parâmetros	Valores
Tempo de simulação [ano]	10
Número de replicações	10
Intervalo de confiança	95%

Fonte: Autoria própria

4.2 PRESSUPOSTOS DA SIMULAÇÃO

Nesta Tese assumem-se as seguintes hipóteses para a simulação:

- (i) Estratégia de gestão da demanda MTS, ou seja, todos os estoques estão no seu nível de ressuprimento;
- (ii) Os estoques por nível da CSS foram parametrizadas com base na política de controle estático (r,S) em sistema de revisão contínua;
- (iii) Somente o nível varejista está sob ação do evento de demanda;
- (iv) A demanda de mercado assume valor médio previsto de 67930 unid./mês para parametrização de todos os estoques da CSS;
- (v) Os estoques de segurança são crescentes por nível da CSS e modelados segundo os critérios discutidos no trabalho de Evers (1999);
- (vi) O evento discreto somente poderá ocorrer no nível a montante da CSS, quando o nível de pedido a jusante for alcançado e a ordem de reposição do estoque a jusante for solicitada;

- (vii) Os estoques da CSS são re-parametrizados a cada início do novo período produtivo, ou seja, a cada chegada ao estoque da ordem solicitada ajustada e o ponto de pedido for ajustado.

4.3 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Os experimentos para os grupos (A), (B) e (C) composto dos cenários I, II e III são apresentados a seguir. Nestes experimentos utilizam-se as informações contidas nas Tabelas 5, 6 e 7 para variação da demanda média e desvio padrão.

A Tabela 10 apresenta os estoques para cada nível da CSS nos grupos (A), (B) e (C). As estimativas para média e desvio padrão dos estoques e os seus respectivos intervalos de confiança são fornecidos. Em relação às médias dos estoques, observa-se que o proposto apresenta níveis maiores de estoque e comportamento similar para os desvios considerando o mesmo cenário. Uma análise da métrica $InvVrR$ (veja equação (31)) seria mais adequada para discutir o comportamento dos estoques em relação aos níveis da CSS de acordo com a Tabela 10, e posteriormente utilizando a métrica $InvInSl$ (veja equação (33)) para estudar o comportamento dos níveis, conforme Tabela 11 e discutido nos trabalhos de (DEJONCKHEERE et al. 2003; CANNELLA et al. 2013).

Tabela 10 - Nível dos estoques (Grupos (A), (B) e (C))

Nível do estoque	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 17618)	188886 ± 2589	137299 ± 6458	295498 ± 2003
Média clássico	I - Normal (67930, 17618)	158452 ± 5315	122961 ± 5706	279043 ± 939
Média proposto	II - Normal (60000, 17618)	233198 ± 3297	202267 ± 3307	323539 ± 3100
Média clássico	II - Normal (60000, 17618)	208862 ± 3751	166782 ± 3880	310878 ± 3023
Média proposto	III - Normal (75000, 17618)	157660 ± 4881	124697 ± 3793	277627 ± 2410
Média clássico	III - Normal (75000, 17618)	115688 ± 5447	86381 ± 2705	259202 ± 3349
Desvio proposto	I - Normal (67930, 17618)	140387 ± 2523	175181 ± 2844	200741 ± 1718
Desvio clássico	I - Normal (67930, 17618)	138509 ± 3025	174530 ± 3566	198207 ± 2018
Desvio proposto	II - Normal (60000, 17618)	129938 ± 1298	175050 ± 1227	199697 ± 563
Desvio clássico	II - Normal (60000, 17618)	130474 ± 2162	177642 ± 1891	188622 ± 1118
Desvio proposto	III - Normal (75000, 17618)	150229 ± 2289	174709 ± 4918	213187 ± 2113
Desvio clássico	III - Normal (75000, 17618)	153032 ± 4425	172927 ± 3839	208607 ± 2037
Nível do estoque	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 20000)	188148 ± 3911	163820 ± 4440	292590 ± 4179
Média clássico	I - Normal (67930, 20000)	159286 ± 5286	121360 ± 4193	280304 ± 1522
Média proposto	II - Normal (60000, 20000)	233128 ± 3191	201166 ± 3159	321659 ± 3188
Média clássico	II - Normal (60000, 20000)	207825 ± 3948	163756 ± 3206	308429 ± 2680
Média proposto	III - Normal (75000, 20000)	156880 ± 5274	125219 ± 4314	277073 ± 2357
Média clássico	III - Normal (75000, 20000)	122156 ± 7340	88397 ± 3716	258399 ± 3428
Desvio proposto	I - Normal (67930, 20000)	144100 ± 2168	180841 ± 1767	202950 ± 1898
Desvio clássico	I - Normal (67930, 20000)	141811 ± 2130	175946 ± 3619	199547 ± 2105
Desvio proposto	II - Normal (60000, 20000)	133038 ± 2143	178864 ± 1723	191397 ± 1206
Desvio clássico	II - Normal (60000, 20000)	131988 ± 2504	178681 ± 1811	189930 ± 1203
Desvio proposto	III - Normal (75000, 20000)	152284 ± 2642	175376 ± 4945	213719 ± 2332
Desvio clássico	III - Normal (75000, 20000)	151234 ± 2763	172073 ± 4575	207102 ± 2843

Nível do estoque	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 30000)	187185 ± 6298	162877 ± 4481	299156 ± 2173
Média clássico	I - Normal (67930, 30000)	152644 ± 6525	123712 ± 4777	280624 ± 3672
Média proposto	II- Normal (60000, 30000)	236807 ± 5687	197693 ± 4534	321955 ± 3764
Média clássico	II- Normal (60000, 30000)	203834 ± 6049	161903 ± 4082	305828 ± 4279
Média proposto	III- Normal (75000, 30000)	156708 ± 7888	126897 ± 6300	275929 ± 3249
Média clássico	III- Normal (75000, 30000)	113423 ± 6534	89737 ± 6516	258521 ± 3445
Desvio proposto	I - Normal (67930, 30000)	153634 ± 3074	190240 ± 1469	209682 ± 1936
Desvio clássico	I - Normal (67930, 30000)	152657 ± 3051	186983 ± 2720	207241 ± 2254
Desvio proposto	II- Normal (60000, 30000)	142185 ± 2377	183782 ± 2088	196187 ± 1660
Desvio clássico	II- Normal (60000, 30000)	144960 ± 2285	186861 ± 1407	195920 ± 1466
Desvio proposto	III- Normal (75000, 30000)	161699 ± 4224	183634 ± 3636	216760 ± 2765
Desvio clássico	III- Normal (75000, 30000)	163468 ± 3414	187313 ± 3861	216149 ± 2085

Fonte: Autoria própria

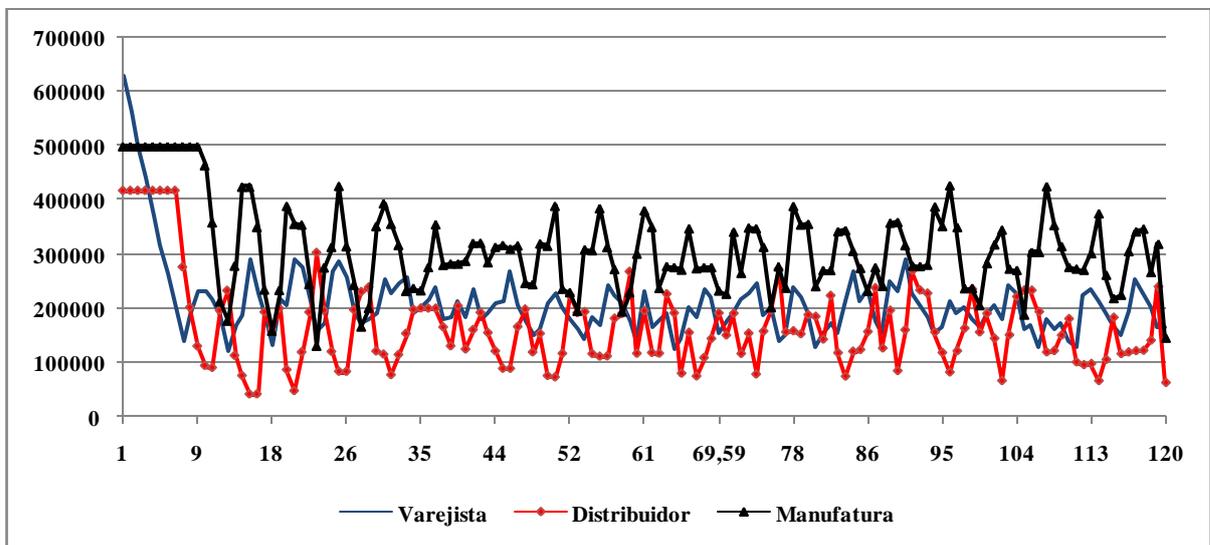


Figura 25 - Gráfico do nível dos estoques [Grupo (A) - política *OUTL-C*]

Fonte: Autoria própria

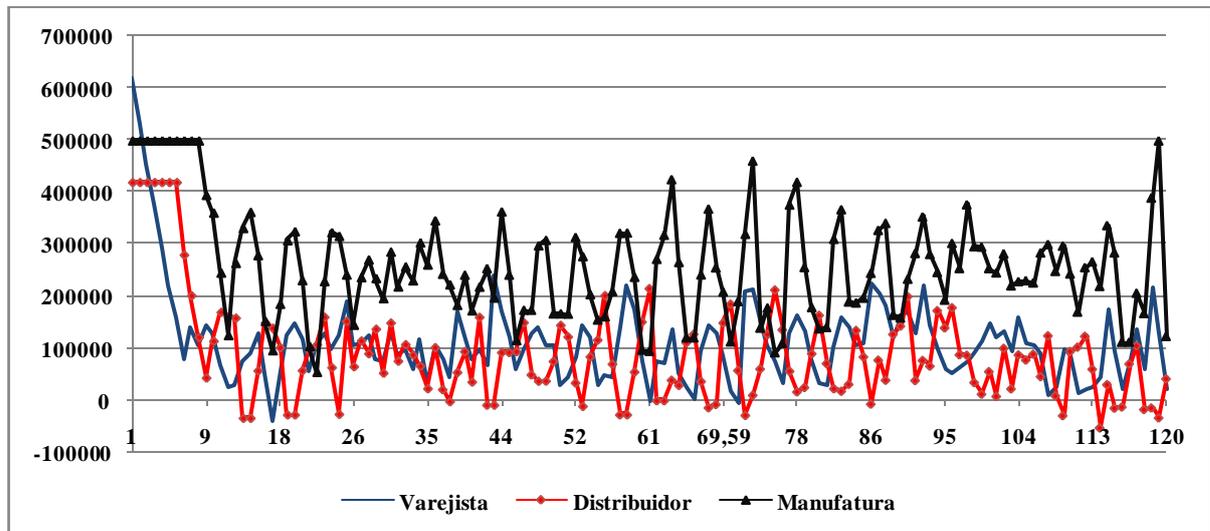


Figura 26 - Gráfico do nível dos estoques [Grupo (C) - política *OUTL-C*]

Fonte: Autoria própria

Nas Figuras 25 e 26, apresentam-se os gráficos relativos ao nível médio dos estoques para política de controle *OUTL-C*. O Objetivo é mostrar o comportamento dos estoques nos extremos dos cenários e grupos (A) e (C) de simulação. Nota-se a forte influência causada pela variação da demanda média para o mesmo grupo e da variação do desvio para grupos diferentes com intensa variabilidade no nível da manufatura. Nas Figuras 27 e 28, os gráficos relativos ao nível médio dos estoques para a política de controle *OUTL-P*. Uma análise comparativa entre as duas políticas de controle mostra que o modelo proposto, apresenta redução de ruptura no nível distribuidor e redução de variabilidade e amplitude em todos os níveis da CSS. Destaca-se o nível distribuidor como um atenuador de variabilidade de acordo com os pressupostos do trabalho de (TOWILL; DEL VECCHIO, 1994).

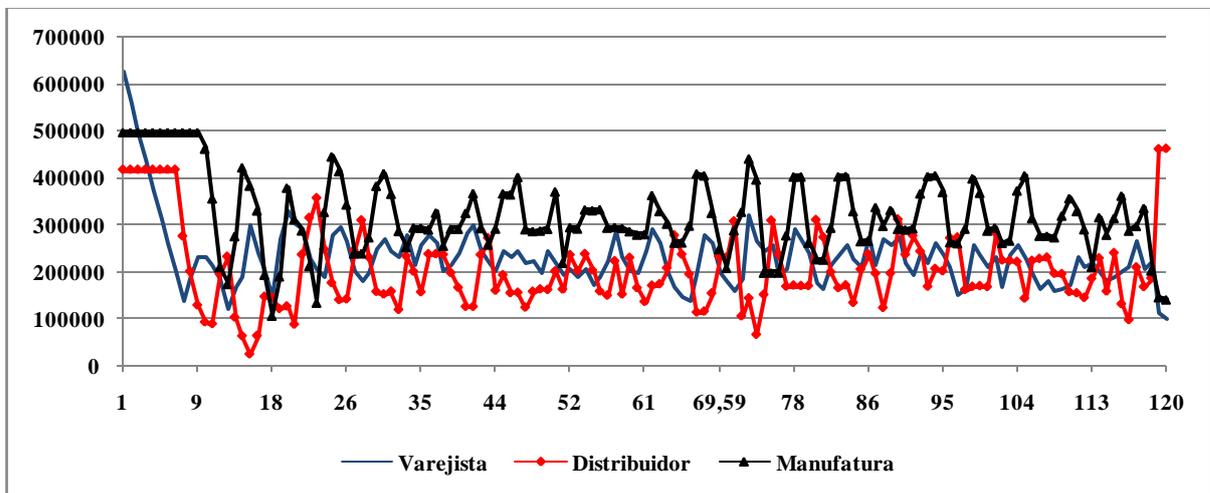


Figura 27 - Gráfico do nível dos estoques [Grupo (A) - política *OUTL-P*]

Fonte: Autoria própria

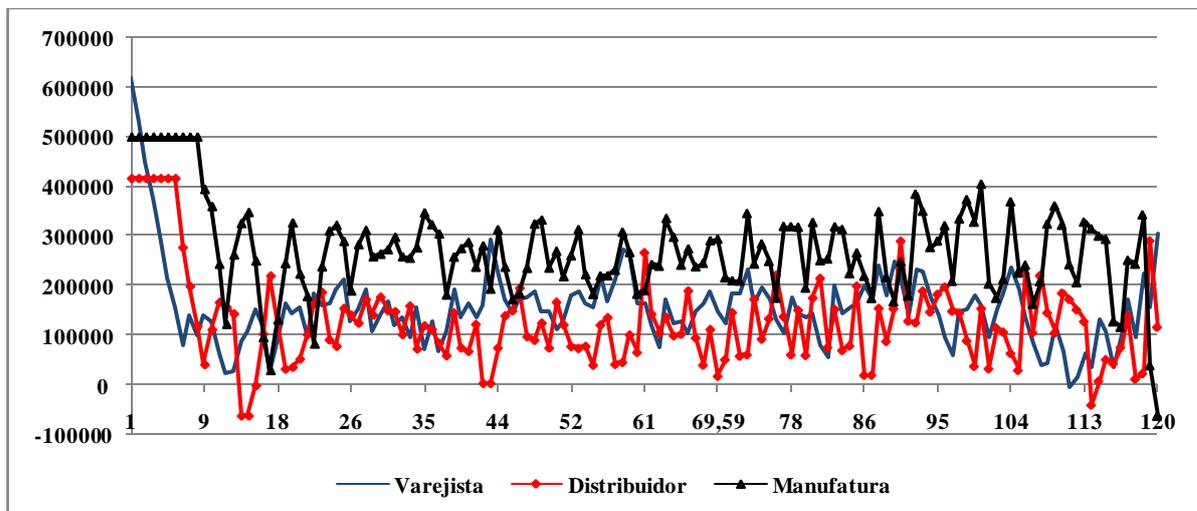


Figura 28 - Gráfico do nível dos estoques [Grupo (C) - política *OUTL-P*]

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 11 é apresentado o comportamento da métrica *InvVrR* que quantifica a variabilidade dos estoques por nível da CSS em relação à demanda de mercado. De um modo geral, o comportamento da política de controle *OUTL-P* mostra atenuação da variabilidade dos estoques (destacados em negrito), frente à política de controle *OUTL-C*.

Outro ponto a ser observado é o aumento de *InvVrR* em relação ao aumento da média demanda e a redução em relação ao incremento dos desvios. Por exemplo, o grupo (A) mostra um aumento de 13,44 para 33,22 para o proposto e de 15,13 para 45,97 para o clássico, ou seja, o estoque do clássico varia 45,97 vezes mais do que a demanda de mercado enquanto o proposto varia 33,22 vezes, ou seja, uma redução de aproximadamente 30% na variabilidade do estoque. Em contra partida, o aumento dos desvios, impacta na redução de aproximadamente de 55% em ambas as políticas de controle quando são observados os Grupos (A) e (C). Isso mostra que a dinâmica dos estoques na política *OUTL-P* é menos sensível a variações de demanda quando comparado a política *OUTL-C*. Sugere-se uma investigação mais detalhada, sobre o fenômeno de aumento da métrica *InvVrR* no nível distribuidor, observado em ambas políticas de controle.

Tabela 11 - Métrica *InvVrR* (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica <i>InvVrR</i> Grupos (A) (B) (C) - [proposto]									
Demanda de Mercado									
	Demanda Grupo A (des vio=17618)			Demanda Grupo B (des vio=20000)			Demanda Grupo C (des vio=30000)		
Nível	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Varejo	13,44	21,93	33,22	10,98	18,00	26,62	5,78	9,38	13,55
Distribuidor	28,13	40,54	56,81	22,99	33,03	44,23	11,57	16,54	21,58
Manufatura	20,43	28,67	37,99	16,46	22,83	29,69	8,09	10,94	13,82
Métrica <i>InvVrR</i> Grupos (A) (B) (C) - [clássico]									
	Demanda Grupo A (des vio=17618)			Demanda Grupo B (des vio=20000)			Demanda Grupo C (des vio=30000)		
Nível	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Varejo	15,13	25,20	45,97	12,11	20,59	33,72	6,98	11,36	19,13
Distribuidor	35,13	51,56	80,34	28,19	41,40	60,32	14,60	21,03	31,74
Manufatura	21,25	29,30	38,96	16,91	23,17	29,89	8,50	11,39	14,67

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 12 o comportamento da métrica *InvInSl* e o respectivo ângulo em graus (°) é apresentado, o proposto apresenta melhor desempenho para absorção dos impactos causados pela flutuação da demanda e na atenuação do efeito de inclinação, conforme discutido na análise da métrica *InvVrR* (veja a Tabela 10).

No grupo (A), um aumento da média mostra os impactos significativos no clássico de 3,06 para - 3,51 (redução do ângulo de 71,90° para - 74,10°). No grupo (B) de 2,40 para

- 1,92 (redução do ângulo de 67,30° para - 62,49°) e no grupo (C) de 0,76 para - 2,23 (redução do ângulo de 37,23° para - 66,95°). Por outro lado, o proposto apresenta redução angular menor. No grupo (A) de 3,50 para 2,39 (redução do ângulo de 74,05° para 67,30°), no grupo (B) de 2,74 para 1,54 (redução do ângulo de 69,95° para 57,00°) e no grupo (C) de 1,16 para 0,14 (redução do ângulo de 49,24° para 7,97°). As fortes reduções angulares (°) observadas no clássico (destacadas em negrito) podem indicar instabilidade dos estoques e alta sensibilidade a variações da demanda média, quando observado o mesmo grupo (veja a Tabela 10).

Tabela 12 - Métrica de inclinação *InvInSl* (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica <i>InvInSl</i> [Grupos (A), (B) e (C)]									
Inclinação Ângulo (°)	Demanda de Mercado								
	Demanda Grupo A (desvio=17618)			Demanda Grupo B (desvio=20000)			Demanda Grupo C (desvio=30000)		
	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Proposto	3,50	3,37	2,39	2,74	2,42	1,54	1,16	0,78	0,14
	74,05	73,47	67,30	69,95	67,55	57,00	49,24	37,95	7,97
Clássico	3,06	2,05	- 3,51	2,40	1,28	- 1,92	0,76	0,02	- 2,23
	71,90	64,00	- 74,10	67,38	52,00	- 62,49	37,23	1,15	- 65,85

Fonte: Autoria própria

As Figuras 29, 30 e 31 ilustram o comportamento do ângulo de inclinação da métrica *InvInSl* em graus (°) para o proposto e clássico nos grupos de simulação (A), (B) e (C). O que se observa é uma forte redução angular no clássico frente ao proposto. Apresentado alta sensibilidade as variações, por outro lado os níveis maiores dos estoques tornam o proposto menos sensível a variações do mercado, conforme discussão na Tabela 10.

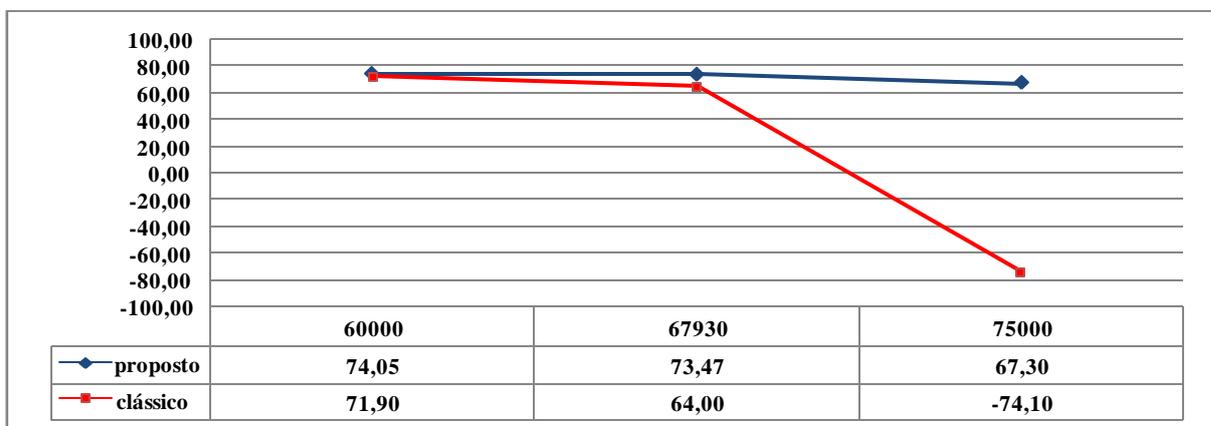


Figura 29 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica *InvInSl* [proposto e clássico] (Grupo (A))

Fonte: Autoria própria

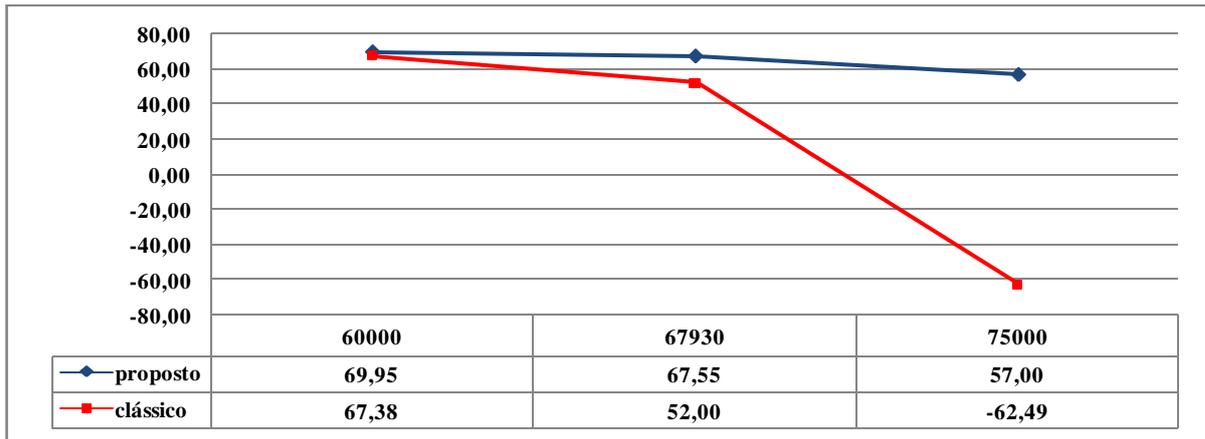


Figura 30 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica *InvInSl* [proposto e clássico] (Grupo (B))

Fonte: Autoria própria

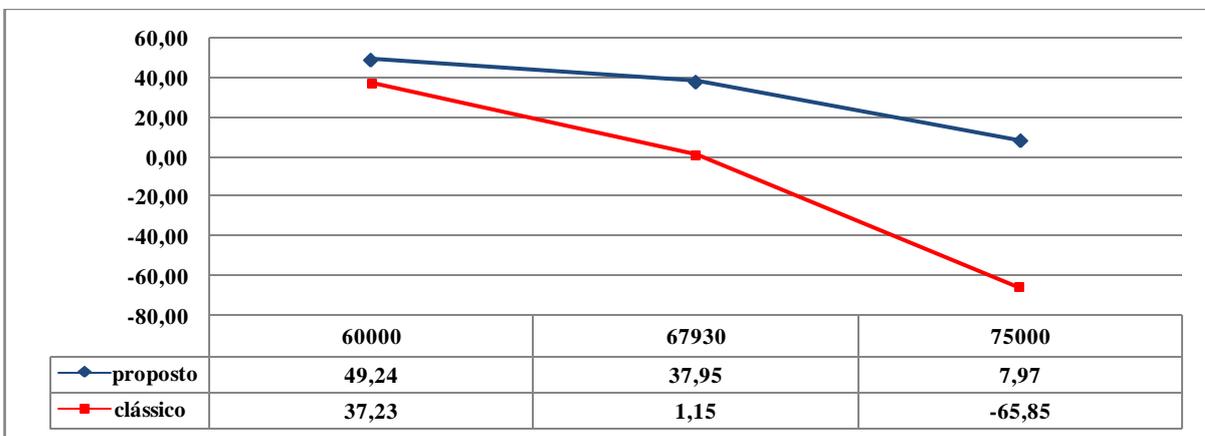


Figura 31 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica *InvInSl* [proposto e clássico] (Grupo (C))

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 13 é apresentado o comportamento dinâmico do lote de reposição para o proposto e clássico. O proposto mostra níveis maiores de reposição e reduções significativas nos desvios padrões proporcionadas pela utilização do estoque de absorção (veja equação (12)). Procura-se mostrar que os lotes de reposição ajustado do proposto apresentam baixa sensibilidade às variações da demanda, destacando que o nível distribuidor é capaz de absorver uma parcela significativa das variações, interrompendo o ciclo de amplificação entre os elos do distribuidor para manufatura, o que não é observado no clássico.

Um estudo mais adequado sobre os lotes de reposição insere a métrica *OrVrR* (veja a equação (28)) para análise de magnitude por nível de CSS de acordo com a Tabela 14. Posteriormente utiliza-se a métrica *BwSl* (veja a equação (32)) como um estudo complementar, conforme Tabela 15 e segundo as sugestões dos trabalhos de (DEJONCKHEERE et al., 2003; MIRAGLIOTTA, 2006; CANNELLA et al., 2013).

Tabela 13 - Lote de reposição (Grupos (A), (B) e (C))

Lote de reposição	Cenário (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I- Normal (67930, 17618)	391724 ± 3575	335748 ± 2958	300629 ± 2426
Média clássico	I- Normal (67930, 17618)	387814 ± 1881	330699 ± 1560	298125 ± 1987
Média proposto	II- Normal (60000, 17618)	361519 ± 5377	308807 ± 5549	281240 ± 3514
Média clássico	II- Normal (60000, 17618)	361759 ± 4418	307450 ± 3463	273807 ± 3073
Média proposto	III- Normal (75000, 17618)	421597 ± 3086	361341 ± 3484	327325 ± 2542
Média clássico	III- Normal (75000, 17618)	414501 ± 2768	356624 ± 2164	321198 ± 2060
Desvio proposto	I- Normal (67930, 17618)	38622 ± 2349	107113 ± 2607	70095 ± 2390
Desvio clássico	I- Normal (67930, 17618)	60385 ± 12379	151813 ± 3739	175655 ± 3493
Desvio proposto	II- Normal (60000, 17618)	25631 ± 1182	97969 ± 2050	53834 ± 1190
Desvio clássico	II- Normal (60000, 17618)	60208 ± 13046	147937 ± 3436	170083 ± 2333
Desvio proposto	III- Normal (75000, 17618)	50003 ± 2859	114253 ± 3104	82617 ± 2772
Desvio clássico	III- Normal (75000, 17618)	50586 ± 5828	155001 ± 4067	181362 ± 2690
Lote de reposição	Cenário (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I- Normal (67930, 20000)	393124 ± 4675	337877 ± 3550	301827 ± 3140
Média clássico	I- Normal (67930, 20000)	386200 ± 3160	330766 ± 1718	297078 ± 2466
Média proposto	II- Normal (60000, 20000)	366099 ± 4772	312047 ± 3603	278166 ± 3558
Média clássico	II- Normal (60000, 20000)	364289 ± 4383	311264 ± 2306	275745 ± 3336
Média proposto	III- Normal (75000, 20000)	403944 ± 3041	363282 ± 1999	327778 ± 3065
Média clássico	III- Normal (75000, 20000)	399235 ± 3946	356209 ± 2720	321661 ± 1928
Desvio proposto	I- Normal (67930, 20000)	42401 ± 1806	109872 ± 2259	72582 ± 2177
Desvio clássico	I- Normal (67930, 20000)	62405 ± 12230	153151 ± 3944	176881 ± 3606
Desvio proposto	II- Normal (60000, 20000)	27726 ± 1383	100261 ± 2427	57261 ± 1742
Desvio clássico	II- Normal (60000, 20000)	69064 ± 15081	147736 ± 2829	171127 ± 2626
Desvio proposto	III- Normal (75000, 20000)	11489 ± 2805	115006 ± 3575	84832 ± 3226
Desvio clássico	III- Normal (75000, 20000)	127036 ± 30051	152698 ± 4917	178878 ± 3962
Lote de reposição	Cenário (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I- Normal (67930, 30000)	400645 ± 5571	342495 ± 4398	305646 ± 5420
Média clássico	I- Normal (67930, 30000)	396204 ± 6114	339672 ± 3706	301809 ± 4674
Média proposto	II- Normal (60000, 30000)	374107 ± 5791	316688 ± 4563	284854 ± 4752
Média clássico	II- Normal (60000, 30000)	374217 ± 6003	317848 ± 3397	285436 ± 4732
Média proposto	III- Normal (75000, 30000)	412590 ± 6499	366342 ± 5913	329301 ± 7234
Média clássico	III- Normal (75000, 30000)	413807 ± 4748	366407 ± 3950	332233 ± 3306
Desvio proposto	I- Normal (67930, 30000)	49916 ± 3438	117790 ± 3432	78626 ± 2999
Desvio clássico	I- Normal (67930, 30000)	78853 ± 12725	163401 ± 3667	186112 ± 2935
Desvio proposto	II- Normal (60000, 30000)	35894 ± 2683	106449 ± 2287	64405 ± 2306
Desvio clássico	II- Normal (60000, 30000)	78058 ± 13889	155131 ± 2678	175954 ± 3024
Desvio proposto	III- Normal (75000, 30000)	65810 ± 3150	121310 ± 4114	90837 ± 3222
Desvio clássico	III- Normal (75000, 30000)	130601 ± 31225	159314 ± 4710	186466 ± 4239

Fonte: Autoria própria

Nas Figuras 32, 33, 34 e 35 apresentam-se os gráficos relativos aos níveis dos lotes de reposição para as políticas de controle *OUTL-C* e *OUTL-P*. O Objetivo é mostrar o comportamento dos lotes nos extremos dos cenários e grupos (A) e (C) de simulação. O que se observa é a similaridade de comportamento em ambas as políticas de controle dinâmico, ou seja, qualquer variabilidade na demanda (aumento ou redução) teu o seu corresponde na variabilidade do lote de reposição.

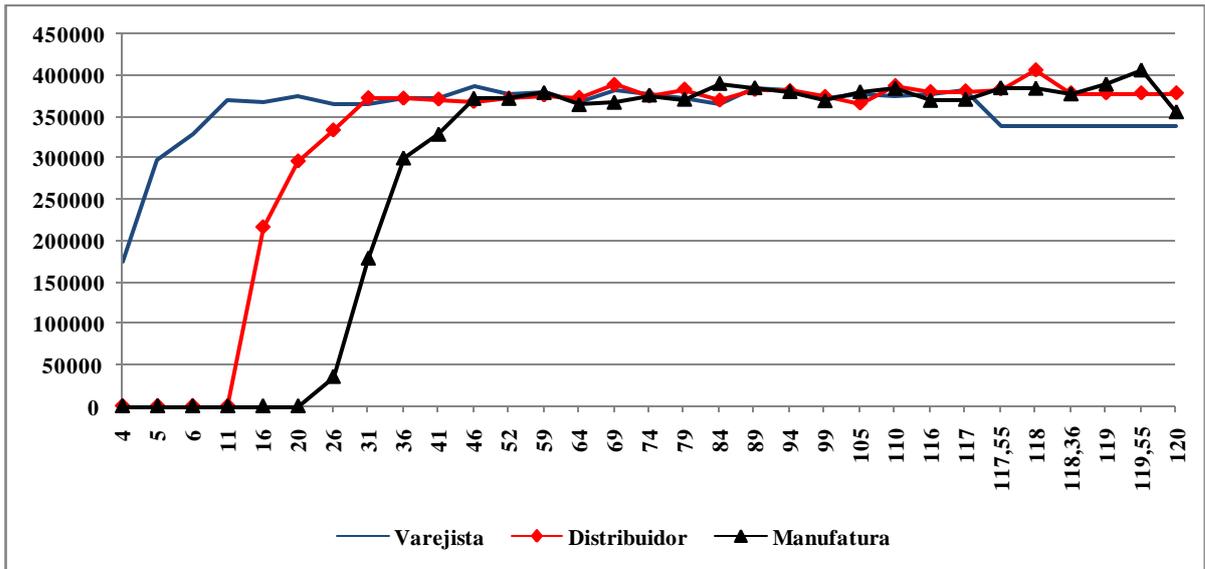


Figura 32 - Gráfico do lote de reposição [Grupo (A) - política *OUTL-C*]

Fonte: Autoria própria

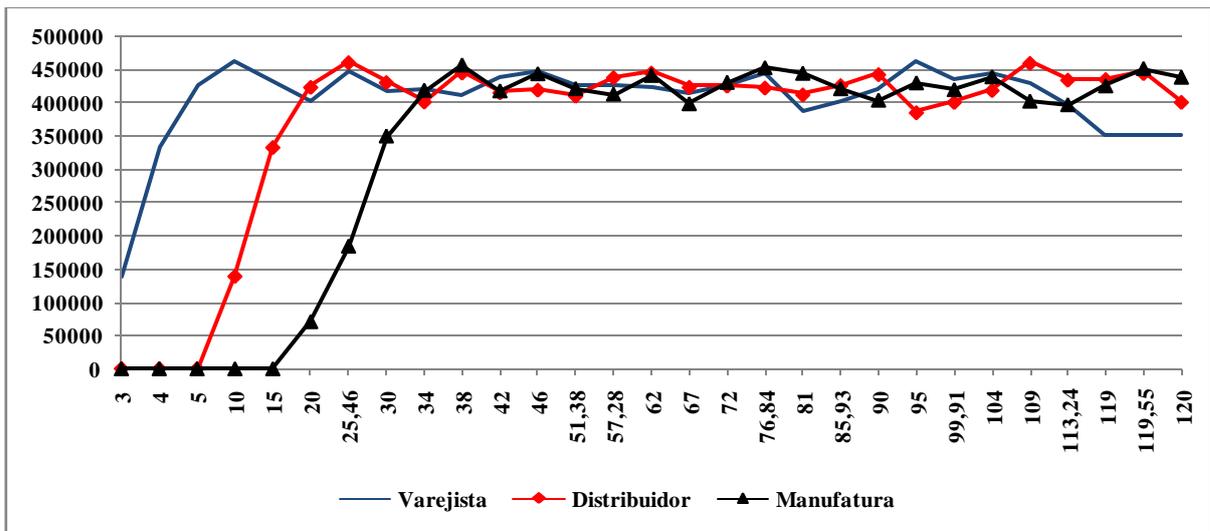


Figura 33 - Gráfico do lote de reposição [Grupo (C) - política *OUTL-C*]

Fonte: Autoria própria

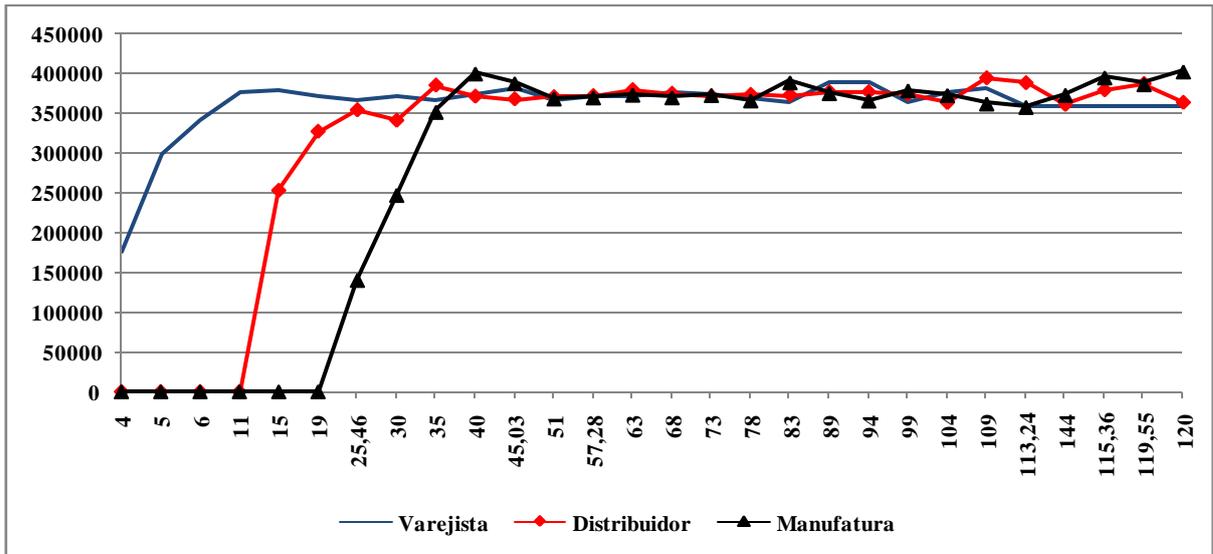


Figura 34 - Gráfico do lote de reposição [Grupo (A) - política *OUTL-P*]

Fonte: Autoria própria

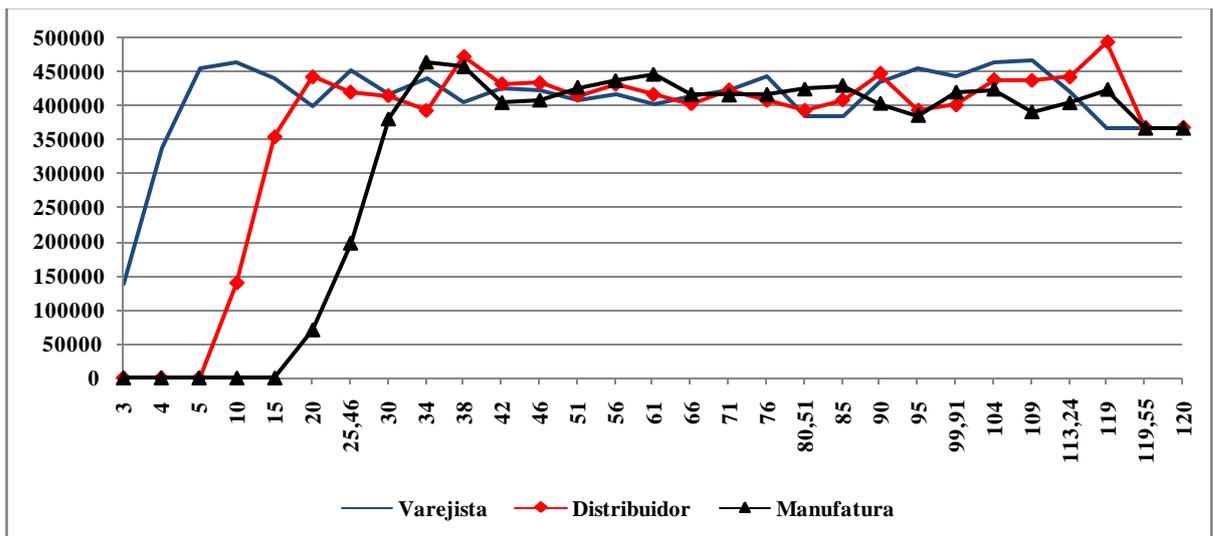


Figura 35 - Gráfico do lote de reposição [Grupo (C) - política *OUTL-P*]

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 14, é mostrado o comportamento da métrica *OrVrR* que quantifica a magnitude da variabilidade dos lotes de reposição por nível da CSS em relação a demanda de mercado e por consequência o efeito chicote. Nota-se que o proposto apresenta redução significativa em todos os níveis da CSS, impactando de forma significativa no comportamento do efeito chicote. Por exemplo, observando os extremos da Tabela 14 entre os grupos (A) e (C). Nota-se que o proposto, amplifica o efeito chicote de 0,34 para 1,91 (aproximadamente 5,6 vezes) enquanto o clássico amplifica de 1,86 para 19,62 (aproximadamente 11 vezes). No outro extremo, tem-se para o proposto uma amplificação de

0,89 para 2,03 (aproximadamente 2,3 vezes) enquanto o clássico amplifica de 2,03 para 8,50 (aproximadamente 4,2 vezes). Observa-se também que o aumento da média para o mesmo grupo, o comportamento apresentado é similar em ambas às propostas mostrando amplificação da magnitude. Ressaltando que os valores menores que a unidade representa atenuação do efeito chicote.

Estas informações mostram que ao utilizar no proposto a variabilidade dos estoques de absorção no lote de reposição (veja equação (33)), consegue-se mitigar a propagação do efeito chicote ao longo da CSS. Assim pode-se concluir que a política de controle *OUTL-P* é mais consistente, apresentando lotes maiores e menor variabilidade quando comparado a política de controle *OUTL-C*.

Destacam-se também os resultados do proposto cujas diferenças em relação ao clássico são significativas e o nível distribuidor mostra características de amortecimento da amplificação do efeito chicote conforme observado na Tabela 13 e discutido no trabalho de (TOWILL; DEL VECCHIO, 1994).

Tabela 14 - Métrica *OrVrR* (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica <i>OrVrR</i> Cenários (A), (B) e (C) - [proposto]									
Demanda de Mercado									
Nível da CSS	Demanda Grupo A (desvio=17618)			Demanda Grupo B (desvio=20000)			Demanda Grupo C (desvio=30000)		
	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Varejo	0,34	0,79	1,38	0,30	0,75	1,40	0,23	0,46	0,85
Distribuidor	5,77	7,11	8,36	4,66	5,83	6,56	2,42	3,01	3,26
Manufatura	1,91	3,40	4,84	1,70	2,85	3,95	0,99	1,51	2,03

Métrica <i>OrVrR</i> Cenários (A), (B) e (C) - [clássico]									
Cenário	Demanda Grupo A (desvio=17618)			Demanda Grupo B (desvio=20000)			Demanda Grupo C (desvio=30000)		
	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Varejo	1,86	1,96	1,43	1,89	1,64	7,28	1,10	1,17	2,03
Distribuidor	13,23	14,54	15,64	10,14	11,57	11,79	5,13	5,85	5,62
Manufatura	19,62	21,54	23,77	15,35	17,18	17,91	7,34	8,54	8,50

Fonte: Autoria própria

O reflexo da política de controle *OUTL-P* é visto na Tabela 15, onde a métrica *BwSl* é representada pelo valor da inclinação e do seu respectivo ângulo medido em graus (°). O proposto mostra significativas reduções na inclinação e no ângulo em graus quando comparado ao clássico. Estes valores têm como origem a magnitude dos níveis e foram discutidos na análise da Tabela 14. Subentende-se que quanto maior for à inclinação, maior será a amplificação do efeito chicote e o ângulo da inclinação, e por consequência maior será

a instabilidade no nível da CSS, mas para isto é necessário acompanhar também o desempenho da métrica *OrVrR*.

Tabela 15 - Métrica de inclinação *BwSI* (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica <i>BwSI</i> [Grupos (A), (B) e (C)]									
Inclinação Ângulo (°)	Demanda Grupo A (desvio=17618)			Demanda Grupo B (desvio=20000)			Demanda Grupo C (desvio=30000)		
	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Proposto	0,79	1,31	1,73	0,70	1,05	1,28	0,38	0,53	0,59
Clássico	38,31	52,64	59,97	34,99	46,40	52,00	20,81	27,82	30,54
	8,88	9,79	11,17	6,73	7,77	5,32	3,12	3,69	2,58
	83,57	84,17	84,88	81,55	82,67	79,35	72,23	74,84	68,81

Fonte: Autoria própria

As Figura 36, 37 e 38 ilustram o comportamento do ângulo de inclinação da métrica *BwSI* medido em graus (°) para o proposto e clássico nos grupos (A), (B) e (C). Destaca-se a forte atenuação do ângulo de inclinação do proposto frente ao clássico. Esta redução tem como origem a utilização dos estoques de absorção que amortecem a variabilidade, aumentam a média dos lotes de reposição e com isto, garante uma maior estabilidade nos níveis da CSS conforme discutido nas Tabelas 14 e 15.

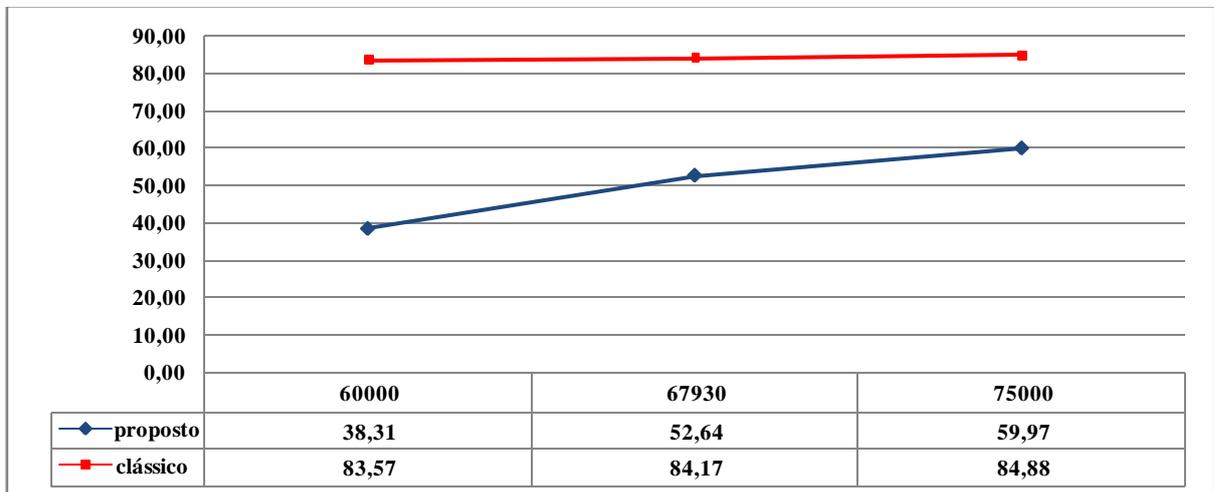


Figura 36 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica *BwSI* [proposto e clássico] (Grupo (A))

Fonte: Autoria própria

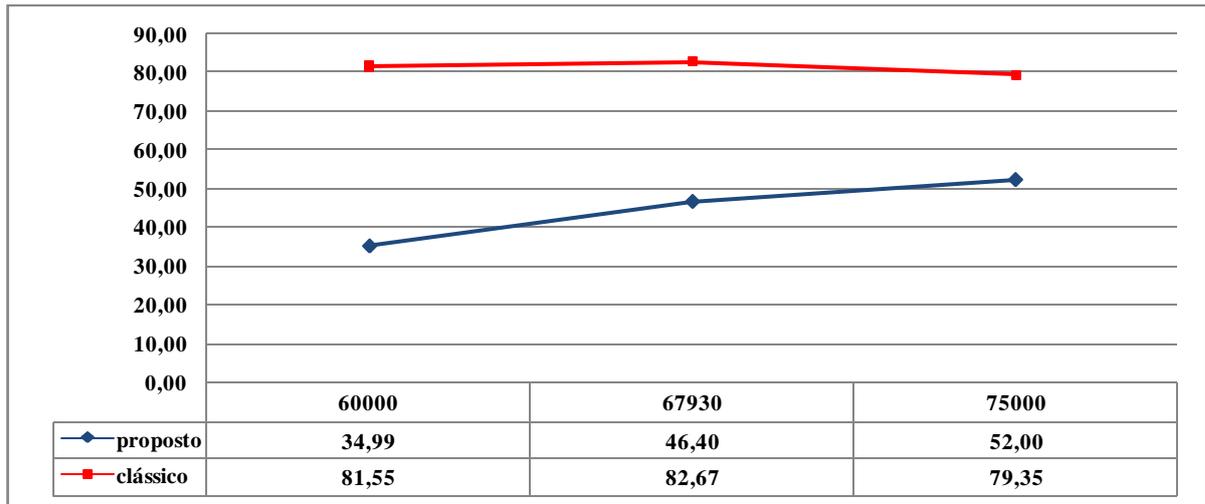


Figura 37 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica *BwSI* [proposto e clássico] (Grupo (B))

Fonte: Autoria própria

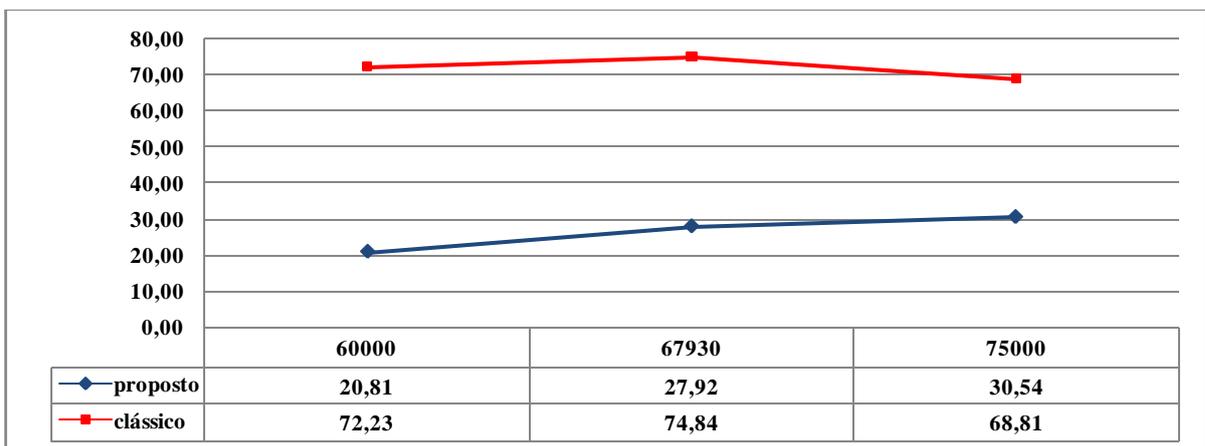


Figura 38 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica *BwSI* [proposto e clássico] (Grupo (C))

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 16, observa-se que as variações produzidas na média da demanda de aproximadamente 11% e nos desvios padrões de aproximadamente 20% (correspondendo à 20000 unid./mês) e 70% (correspondendo à 30000 unid./mês) (veja as Tabelas 5, 6 e 7) respectivamente, não influenciaram fortemente na dinâmica do ponto de pedido (produz variações de aproximadamente $\pm 5\%$ no mesmo Grupo). Observa-se um aumento médio de aproximadamente $\pm 10\%$ em relação à parametrização inicial (veja Tabela 8), o que implica na antecipação dos pedidos de reposição.

O aumento do nível do ponto de pedido tem sua origem na política de controle *OUTL-P* como efeito antecipativo das solicitações de ordens, e o amortecimento das variações

é causado pela utilização do estoque de absorção, que é capaz de transferir uma parcela reduzida da incerteza da demanda para o ponto de pedido (veja as equações (7) e (17)).

Tabela 16 - Ponto de pedido (Grupos (A), (B) e (C))

Ponto de pedido	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 17618)	377314 ± 511	321411 ± 209	246043 ± 169
Média proposto	II- Normal (60000, 17618)	365740 ± 384	320098 ± 207	243711 ± 130
Média proposto	III- Normal (75000, 17618)	384386 ± 496	322656 ± 211	248131 ± 187
Média clássico	I, II e III	340783	281004	227221
Desvio proposto	I - Normal (67930, 17618)	21837 ± 584	13508 ± 362	8423 ± 225
Desvio proposto	II- Normal (60000, 17618)	17249 ± 462	13174 ± 353	7008 ± 187
Desvio proposto	III- Normal (75000, 17618)	21806 ± 584	13743 ± 368	9327 ± 250
Ponto de pedido	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 20000)	378537 ± 504	321518 ± 212	246261 ± 170
Média proposto	II- Normal (60000, 20000)	367622 ± 403	320355 ± 209	244199 ± 134
Média proposto	III- Normal (75000, 20000)	382278 ± 537	322626 ± 209	247943 ± 196
Média clássico	I, II e III	340783	281004	227221
Desvio proposto	I - Normal (67930, 20000)	21766 ± 583	13655 ± 365	8549 ± 229
Desvio proposto	II- Normal (60000, 20000)	17965 ± 481	13265 ± 355	7215 ± 193
Desvio proposto	III- Normal (75000, 20000)	23039 ± 617	13670 ± 366	9541 ± 255
Ponto de pedido	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 30000)	381035 ± 531	322050 ± 216	247349 ± 181
Média proposto	II- Normal (60000, 30000)	371995 ± 480	320858 ± 210	244999 ± 151
Média proposto	III- Normal (75000, 30000)	379599 ± 562	322784 ± 208	248181 ± 205
Média clássico	I, II e III	340783	281004	227221
Desvio proposto	I - Normal (67930, 30000)	22881 ± 613	13859 ± 371	9087 ± 243
Desvio proposto	II- Normal (60000, 30000)	20710 ± 555	13440 ± 360	7863 ± 210
Desvio proposto	III- Normal (75000, 30000)	23811 ± 638	13686 ± 366	9880 ± 264

Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 17, o proposto apresenta redução significativa na ruptura do estoque para o nível varejista de até 60%. A ruptura do estoque é consequência de um conjunto de ações inadequadas para gerenciar o nível de estoque. Por exemplo, o lote de reposição insuficiente ou o estoque mal dimensionado. No proposto, a utilização do estoque de absorção corrige ou atenua possíveis ações inadequadas que tenham ocorrido, refletindo-se no melhor atendimento ao cliente frente ao clássico, de acordo com a Tabela 18.

Entretanto, um aumento significativo na ruptura dos estoques para os níveis do distribuidor e manufatura é observado para o proposto, mas não causa um impacto significativo no nível de serviço ao cliente (veja equação (40)). Destaca-se também que o proposto é menos sensível à variabilidade da demanda, observado no nível varejista para os grupos (B) e (C) (veja a Tabela 18). Em negrito destacam-se os menores valores de ruptura dos estoques e dos níveis de serviço por nível e grupo de simulação da CSS.

Tabela 17 - Ruptura dos estoques (Grupos (A), (B) e (C))

Ruptura	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 17618)	571757	300238	40155
Média clássico	I - Normal (67930, 17618)	1003781	654863	27809
Média proposto	II- Normal (60000, 17618)	65066	18255	0
Média clássico	II- Normal (60000, 17618)	149559	74849	0
Média proposto	III- Normal (75000, 17618)	1481623	1032193	166262
Média clássico	III- Normal (75000, 17618)	2601316	2003051	68566
Ruptura	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 20000)	721004	435998	65149
Média clássico	I - Normal (67930, 20000)	1100688	766435	43481
Média proposto	II- Normal (60000, 20000)	117461	29431	0
Média clássico	II- Normal (60000, 20000)	201100	130019	0
Média proposto	III- Normal (75000, 20000)	1617381	1193716	222783
Média clássico	III- Normal (75000, 20000)	2454055	1965307	95905
Ruptura	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 30000)	1070697	723029	117942
Média clássico	I - Normal (67930, 30000)	1632878	1531131	118695
Média proposto	II- Normal (60000, 30000)	236650	154051	23129
Média clássico	II- Normal (60000, 30000)	524566	455067	11409
Média proposto	III- Normal (75000, 30000)	2040820	1742993	433993
Média clássico	III- Normal (75000, 30000)	3338010	2128702	362225

Fonte: Autoria própria

Tabela 18 - Nível de serviço - Fill Rate (Grupos (A), (B) e (C))

Nível de serviço	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 17618)	0, 925	0, 938	0, 920
Média clássico	I - Normal (67930, 17618)	0, 882	0, 900	0, 921
Média proposto	II- Normal (60000, 17618)	0, 975	0, 967	0, 981
Média clássico	II- Normal (60000, 17618)	0, 965	0, 960	0, 981
Média proposto	III- Normal (75000, 17618)	0, 874	0, 874	0, 934
Média clássico	III- Normal (75000, 17618)	0, 732	0, 780	0, 944
Nível de serviço	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 20000)	0, 908	0, 919	0, 954
Média clássico	I - Normal (67930, 20000)	0, 868	0, 884	0, 956
Média proposto	II- Normal (60000, 20000)	0, 966	0, 974	0, 971
Média clássico	II- Normal (60000, 20000)	0, 956	0, 961	0, 971
Média proposto	III- Normal (75000, 20000)	0, 817	0, 869	0, 952
Média clássico	III- Normal (75000, 20000)	0, 737	0, 793	0, 964
Nível de serviço	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 30000)	0, 864	0, 909	0, 951
Média clássico	I - Normal (67930, 30000)	0, 805	0, 822	0, 945
Média proposto	II- Normal (60000, 30000)	0, 947	0, 968	0, 976
Média clássico	II- Normal (60000, 30000)	0, 912	0, 931	0, 977
Média proposto	III- Normal (75000, 30000)	0, 795	0, 795	0, 904
Média clássico	III- Normal (75000, 30000)	0, 659	0, 665	0, 951

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 19, mostra-se o tempo de ruptura dos estoques, observa-se que o nível varejista para o proposto apresenta uma redução de aproximadamente 50% no tempo em que os estoques ficam negativos (rompidos), similar comportamento é observado também para os valores de ruptura apresentados na Tabela 17. Uma análise comparativa com a Tabela 17, nota-se que alguns dados apresentam tempo menor com maior valor de ruptura dos estoques e são destacados em vermelho. O que gera uma possibilidade de ordens não determinísticas

chegarem ao estoque em um intervalo de tempo menor que o previsto, incrementando a demanda e reduzindo o tempo de resposta da CSS.

Tabela 19 - Tempo médio mensal de ruptura do estoque (Grupos (A), (B) e (C))

Tempo de Ruptura (mesnsal)	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 17618)	12,60 ± 1,25	8,70 ± 2,41	1,70 ± 0,78
Média clássico	I - Normal (67930, 17618)	19,60 ± 1,97	41,00 ± 3,59	1,10 ± 0,57
Média proposto	II- Normal (60000, 17618)	2,60 ± 0,48	0,90 ± 0,60	0
Média clássico	II- Normal (60000, 17618)	5,30 ± 1,12	4,60 ± 1,86	0
Média proposto	III- Normal (75000, 17618)	23,20 ± 1,84	25,50 ± 2,75	4,90 ± 1,57
Média clássico	III- Normal (75000, 17618)	34,60 ± 1,86	49,90 ± 3,63	2,60 ± 1,11
Tempo de Ruptura (mesnsal)	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 20000)	13,90 ± 1,43	12,40 ± 2,08	2,90 ± 0,72
Média clássico	I - Normal (67930, 20000)	20,00 ± 2,22	27,50 ± 3,48	1,50 ± 0,86
Média proposto	II- Normal (60000, 20000)	3,90 ± 0,71	1,70 ± 0,92	0
Média clássico	II- Normal (60000, 20000)	6,50 ± 1,38	8,70 ± 1,89	0
Média proposto	III- Normal (75000, 20000)	23,30 ± 2,08	27,20 ± 2,53	7,80 ± 1,97
Média clássico	III- Normal (75000, 20000)	32,60 ± 2,62	45,30 ± 4,76	3,30 ± 1,18
Tempo de Ruptura (mesnsal)	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média proposto	I - Normal (67930, 30000)	17,50 ± 1,97	17,10 ± 2,43	3,76 ± 1,22
Média clássico	I - Normal (67930, 30000)	24,70 ± 2,35	34,40 ± 2,62	3,50 ± 1,42
Média proposto	II- Normal (60000, 30000)	5,50 ± 0,93	4,10 ± 1,26	0,60 ± 0,40
Média clássico	II- Normal (60000, 30000)	11,80 ± 1,36	15,20 ± 2,48	0,60 ± 0,40
Média proposto	III- Normal (75000, 30000)	24,30 ± 2,65	29,70 ± 3,43	10,50 ± 1,26
Média clássico	III- Normal (75000, 30000)	34,70 ± 2,19	53,30 ± 2,72	9,50 ± 1,47

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 20 é apresentado o comportamento dinâmico da variável de absorção da demanda (Δd^i). Não existe diferença significativa entre as médias e desvios padrões quando se compara os cenários. Neste caso, a variável de absorção da demanda é pouco sensível as variações das incertezas. Entretanto, quando se observa o grupo, à variável de absorção da demanda mostra-se sensível as variações da média da demanda.

No nível distribuidor a variável de absorção da demanda apresenta característica similar ao lote de reposição, pois compõe o estoque de absorção, conforme discutido na Tabela 13. Como está variável é quantificada em relação a um nível operacional do estoque (veja equação (11)), somente a incerteza é analisada, justifica-se assim a reduzida sensibilidade às variações da demanda de mercado. A métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ adaptada para absorção da demanda é apresentada na equação (39) e $BwSl$ (veja equação (42)) são adequadas para explicar o comportamento desta variável, seguindo as orientações dos trabalhos de (DEJONCKHEERE et al. 2003; MIRAGLIOTTA, 2006; DISNEY; LAMBRECHT, 2008; CANNELLA et al. 2013).

Tabela 20 - Absorção da demanda (Grupos (A), (B) e (C))

Absorção da demanda	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (Δd^i)	I - Normal (67930, 17618)	14549 ± 1106	73947 ± 876	48514 ± 1072
Média (Δd^i)	II - Normal (60000, 17618)	8361 ± 273	65749 ± 1242	38524 ± 614
Média (Δd^i)	III - Normal (75000, 17618)	20207 ± 870	82006 ± 780	58812 ± 1234
Desvio (Δd^i)	I - Normal (67930, 17618)	9656 ± 587	35473 ± 801	35047 ± 1195
Desvio (Δd^i)	II - Normal (60000, 17618)	6408 ± 296	32212 ± 651	26917 ± 595
Desvio (Δd^i)	III - Normal (75000, 17618)	12501 ± 715	38084 ± 1035	40904 ± 1739
Absorção da demanda	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (Δd^i)	I - Normal (67930, 20000)	15408 ± 752	74839 ± 1013	49627 ± 1128
Média (Δd^i)	II - Normal (60000, 20000)	9463 ± 479	66930 ± 823	40205 ± 798
Média (Δd^i)	III - Normal (75000, 20000)	19355 ± 908	82174 ± 753	58733 ± 1262
Desvio (Δd^i)	I - Normal (67930, 20000)	10600 ± 452	36624 ± 753	36291 ± 1089
Desvio (Δd^i)	II - Normal (60000, 20000)	6932 ± 346	33210 ± 862	28630 ± 871
Desvio (Δd^i)	III - Normal (75000, 20000)	13993 ± 701	38335 ± 1192	42416 ± 1613
Absorção da demanda	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (Δd^i)	I - Normal (67930, 30000)	17670 ± 3946	76808 ± 12416	52789 ± 12432
Média (Δd^i)	II - Normal (60000, 30000)	11483 ± 2838	68758 ± 11221	43424 ± 10183
Média (Δd^i)	III - Normal (75000, 30000)	20851 ± 1208	83325 ± 1609	59928 ± 2025
Desvio (Δd^i)	I - Normal (67930, 30000)	12479 ± 860	39263 ± 1144	39313 ± 1500
Desvio (Δd^i)	II - Normal (60000, 30000)	8974 ± 671	35483 ± 762	32202 ± 1153
Desvio (Δd^i)	III - Normal (75000, 30000)	16452 ± 788	40437 ± 1371	45418 ± 1611

Fonte: Autoria própria

A Tabela 21 mostra o desempenho da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ adaptada para absorção da demanda (veja equação (39)) para cada nível da CSS. Os valores destacados em negrito mostram que não existe amplificação do efeito chicote. Este fenômeno pode ser explicado através da Tabela 20 e da equação (39) onde se verifica que a variabilidade da absorção da demanda é menor ou igual à variabilidade da demanda. Por outro lado, nesta tese o efeito chicote no proposto é caracterizado pela variável de absorção da demanda. Se for considerado o modelo tradicional de quantificação através do lote de reposição, verifica-se a redução na amplificação do efeito chicote no nível da manufatura (veja Tabela 14), o que é uma inovação frente aos modelos discutidos na literatura acadêmica Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997), Chen, Drezner e Ryan (2000), Miragliotta (2006), Cannella et al.(2013). Sugere-se uma investigação mais detalhada com novos grupos de simulação para validar a ocorrência deste fenômeno.

Tabela 21 - Métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica $OrVrR$ para Absorção da demanda (Δd^i) [Grupos (A), (B) e (C)]									
Demanda de Mercado									
Nível	Demanda Grupo A (desvio=17618)			Demanda Grupo B (desvio=20000)			Demanda Grupo A (desvio=30000)		
	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Varejo	0,91	1,35	1,79	0,73	1,19	1,82	0,47	0,66	1,05
Distribuidor	2,93	3,54	4,10	2,38	2,92	3,22	1,24	1,49	1,59
Manufatura	3,43	5,27	6,73	2,95	4,33	5,52	1,62	2,18	2,79

Fonte: Autoria própria

As Figuras 39, 40 e 41 ilustram a discussão sobre a métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$, para absorção da demanda e mostram os impactos das variações da demanda por grupo e cenário sobre a métrica de absorção da demanda.

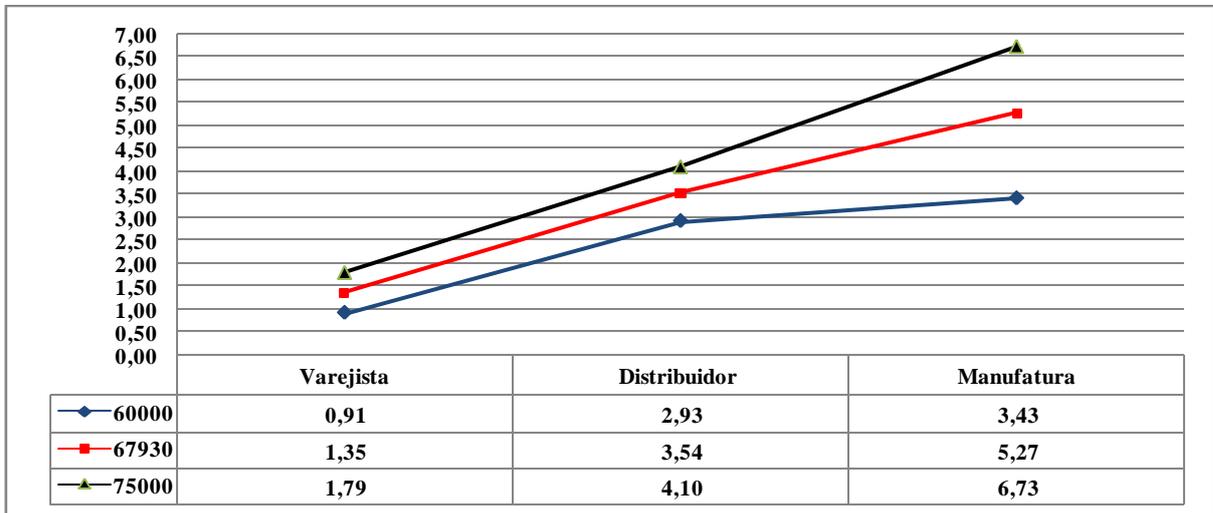


Figura 39 - Gráfico da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupo (A))

Fonte: Autoria própria

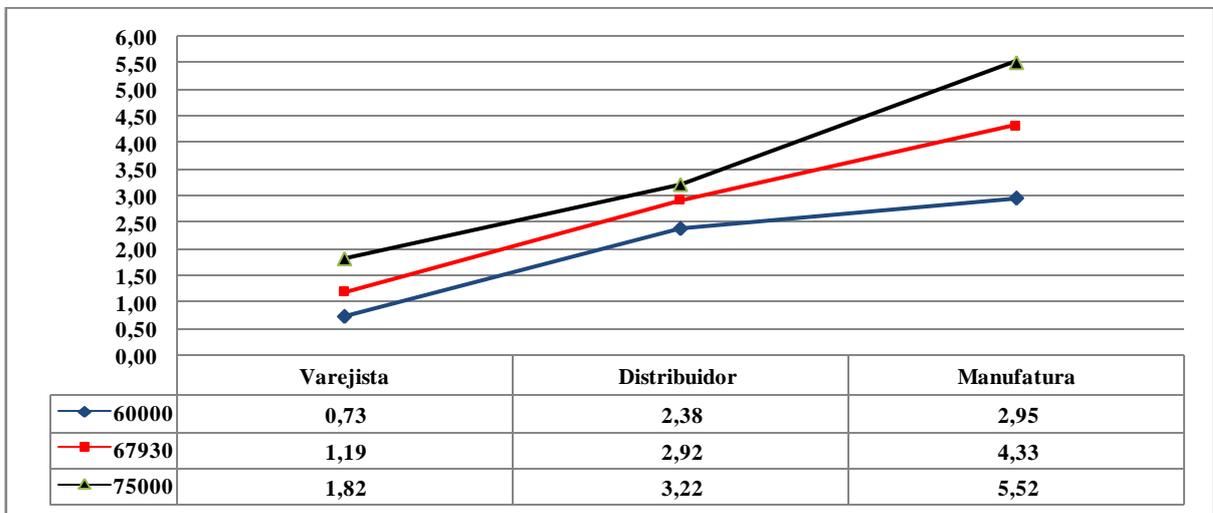


Figura 40 - Gráfico da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupo (B))

Fonte: Autoria própria

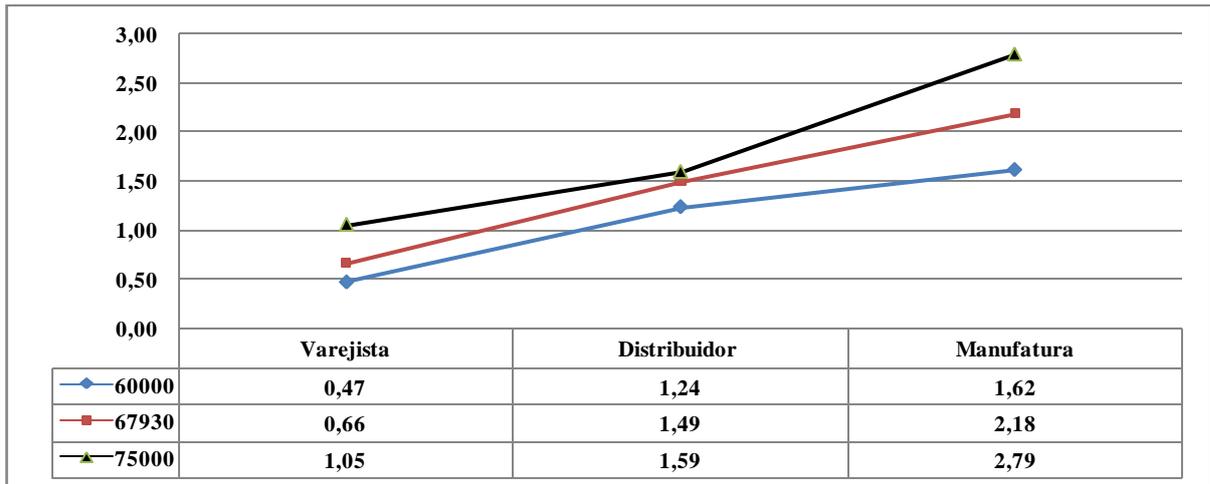


Figura 41 - Gráfico da métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$ (Grupo (C))

Fonte: Autoria própria

A Tabela 22 mostra o comportamento da métrica $BwSI$ e do ângulo de inclinação em graus ($^{\circ}$) (veja equação (40)) para a variável de absorção da demanda. A métrica segue um padrão de comportamento similar ao discutido no trabalho de Cannella et al. (2013). A redução ou aumento de demanda impacta diretamente na redução ou aumento da inclinação e do seu respectivo ângulo. Por exemplo, no grupo (A) para demanda de 60000 unidades tem-se uma inclinação de 1,26 correspondendo ao ângulo de $51,56^{\circ}$ e para demanda de 75000 unidades tem-se 2,47 correspondendo ao ângulo de $67,96^{\circ}$. O mesmo raciocínio é aplicado para os grupos (B) e (C). A atenuação das inclinações e dos ângulos observados para o grupo (B) podem estar relacionados à métrica $OrVrR (Ec_{\Delta d^i})$, onde são observadas reduções na amplificação (veja a tabela 20). A Figura 42 ilustra a discussão sobre a métrica $BwSI$ para absorção da demanda.

Tabela 22 - Métrica $BwSI$ para absorção da demanda (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica $BwSI$ para Absorção da demanda (Δd^i) [Cenários (A), (B) e (C)]									
Demanda de Mercado									
Grupo	(A) - 17618			(B) - 20000			(C) - 30000		
Demanda	60000	67930	75000	60000	67930	75000	60000	67930	75000
Inclinação	1,26	1,96	2,47	1,11	1,57	1,85	0,58	0,76	0,87
Ângulo ($^{\circ}$)	51,56	62,97	67,96	47,98	57,51	61,61	30,11	37,23	41,02

Fonte: Autoria própria

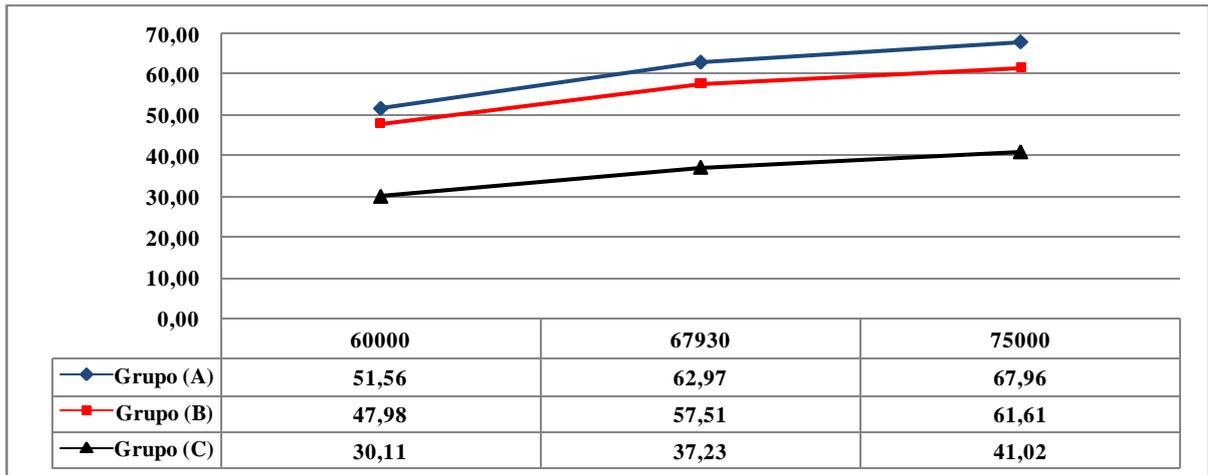


Figura 42 - Gráfico do ângulo de inclinação da métrica $BwSI$ para absorção da demanda (Δd^i) (Grupos (A), (B) e (C))

Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 23 o impacto causado pela variação na média da demanda para o mesmo grupo é de aproximadamente 50% para a média, e aproximadamente dentro do intervalo de 24% até 50% para o desvio padrão. Entre os grupos não é observada diferença significativa. Deste modo a variável de absorção do *lead time* é mais sensível a alterações na média da demanda. Observa-se também que o maior impacto da demanda ocorre sobre o estoque do nível varejista, onde é consumido o maior tempo nominal de resposta (*lead time*) (os valores médios são destacados em negrito).

A Tabela 24 apresenta o comportamento do *lead time* estimado ou sugerido pela política de controle *OUTL-P* para melhorar a responsividade da CSS. Nota-se que quanto maior for o impacto da demanda média sobre o estoque, maior será o tempo de resposta (*lead time* nominal) consumido e menor será o tempo de resposta (aumento da responsividade) da CSS. Por outro lado, o impacto causado pela variação do desvio não afeta de forma significativa o comportamento do *lead time* estimado. Assim o *lead time* estimado é mais suscetível a variação na média da demanda do que as variações dos desvios. Observa-se também que não existem diferenças significativas entre os grupos e cenários em todos os níveis da CSS, e redução no *lead time* nominal dentro do intervalo de 10% a 30% para o nível varejista e de aproximadamente 35% para o distribuidor e manufatura.

Tabela 23 - Métrica de Absorção do *lead time* (Grupos (A), (B) e (C))

Absorção do lead time	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (ΔL^i)	I - Normal (67930, 17618)	0,85 ± 0,04	0,55 ± 0,00	0,24 ± 0,00
Média (ΔL^i)	II - Normal (60000, 17618)	0,49 ± 0,01	0,53 ± 0,00	0,23 ± 0,07
Média (ΔL^i)	III - Normal (75000, 17618)	1,19 ± 0,05	0,58 ± 0,00	0,27 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	I - Normal (67930, 17618)	0,57 ± 0,03	0,25 ± 0,00	0,16 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	II - Normal (60000, 17618)	0,38 ± 0,01	0,25 ± 0,00	0,14 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	III - Normal (75000, 17618)	0,74 ± 0,04	0,25 ± 0,00	0,17 ± 0,00
Absorção do lead time	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (ΔL^i)	I - Normal (67930, 20000)	0,91 ± 0,04	0,55 ± 0,00	0,24 ± 0,00
Média (ΔL^i)	II - Normal (60000, 20000)	0,56 ± 0,02	0,53 ± 0,00	0,21 ± 0,00
Média (ΔL^i)	III - Normal (75000, 20000)	1,14 ± 0,05	0,58 ± 0,00	0,27 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	I - Normal (67930, 20000)	0,62 ± 0,02	0,25 ± 0,00	0,16 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	II - Normal (60000, 20000)	0,41 ± 0,02	0,25 ± 0,00	0,14 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	III - Normal (75000, 20000)	0,82 ± 0,04	0,24 ± 0,00	0,17 ± 0,00
Absorção do lead time	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (ΔL^i)	I - Normal (67930, 30000)	1,04 ± 0,23	0,55 ± 0,08	0,25 ± 0,05
Média (ΔL^i)	II - Normal (60000, 30000)	0,68 ± 0,16	0,53 ± 0,08	0,22 ± 0,04
Média (ΔL^i)	III - Normal (75000, 30000)	1,23 ± 0,07	0,58 ± 0,00	0,27 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	I - Normal (67930, 30000)	0,73 ± 0,05	0,26 ± 0,00	0,17 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	II - Normal (60000, 30000)	0,53 ± 0,04	0,26 ± 0,00	0,15 ± 0,00
Desvio (ΔL^i)	III - Normal (75000, 30000)	0,97 ± 0,04	0,25 ± 0,00	0,17 ± 0,00

Fonte: Autoria própria

Tabela 24 - Métrica do *lead time* estimado (Grupos (A), (B) e (C))

Lead time estimado	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (L^i)	I - Normal (67930, 17618)	3,09 ± 0,05	1,94 ± 0,03	1,26 ± 0,00
Média (L^i)	II - Normal (60000, 17618)	3,37 ± 0,04	1,91 ± 0,29	1,46 ± 0,47
Média (L^i)	III - Normal (75000, 17618)	2,79 ± 0,06	1,99 ± 0,01	1,27 ± 0,00
Desvio (L^i)	I - Normal (67930, 17618)	0,66 ± 0,06	0,88 ± 0,01	0,75 ± 0,01
Desvio (L^i)	II - Normal (60000, 17618)	0,66 ± 0,10	0,91 ± 0,02	0,85 ± 0,08
Desvio (L^i)	III - Normal (75000, 17618)	0,75 ± 0,04	0,83 ± 0,01	0,71 ± 0,01
Lead time estimado	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (L^i)	I - Normal (67930, 20000)	3,00 ± 0,07	1,95 ± 0,01	1,25 ± 0,01
Média (L^i)	II - Normal (60000, 20000)	3,31 ± 0,06	1,93 ± 0,02	1,25 ± 0,00
Média (L^i)	III - Normal (75000, 20000)	2,71 ± 0,06	2,00 ± 0,01	1,28 ± 0,01
Desvio (L^i)	I - Normal (67930, 20000)	0,75 ± 0,05	0,88 ± 0,01	0,75 ± 0,00
Desvio (L^i)	II - Normal (60000, 20000)	0,68 ± 0,11	0,92 ± 0,01	0,78 ± 0,00
Desvio (L^i)	III - Normal (75000, 20000)	0,96 ± 0,03	0,82 ± 0,01	0,71 ± 0,00
Lead time estimado	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média (L^i)	I - Normal (67930, 30000)	2,85 ± 0,26	1,92 ± 0,28	1,23 ± 0,23
Média (L^i)	II - Normal (60000, 30000)	3,19 ± 0,23	1,91 ± 0,29	1,24 ± 0,24
Média (L^i)	III - Normal (75000, 30000)	2,65 ± 0,07	1,99 ± 0,02	1,27 ± 0,02
Desvio (L^i)	I - Normal (67930, 30000)	0,83 ± 0,08	0,90 ± 0,01	0,75 ± 0,01
Desvio (L^i)	II - Normal (60000, 30000)	0,75 ± 0,08	0,26 ± 0,01	0,77 ± 0,00
Desvio (L^i)	III - Normal (75000, 30000)	1,06 ± 0,05	0,82 ± 0,02	0,71 ± 0,01

Fonte: Autoria própria

A Tabela 25 mostra o *lead time* nominal definido no processo de parametrização, o *lead time* sugerido (estimado) pela política de controle *OUTL-P* e a métrica para quantificar o impacto de responsividade (ImpRp) (veja equação (43)).

Observam-se variações, de aproximadamente 10% para o *lead time* nominal e de aproximadamente 50% para o impacto de responsividade para um mesmo grupo no nível varejista. Para o nível distribuidor e manufatura o comportamento das métricas mostram

nenhuma diferença significativa entre os cenários e grupos. O que caracterizar baixa sensibilidade às variações da demanda de mercado e forte dependência temporal causada pela solicitação de ordem de reposição. Tornando a CSS mais responsiva.

Os impactos observados podem ser analisados da seguinte forma, por exemplo, no nível varejista para o grupo (A), uma variação da média de 60000 para 75000 (aproximadamente 25%) produz uma redução no tempo de resposta de 3,37 para 2,79 aproximadamente 18% e possibilidade de ruptura entre 15% e 31% (tempo de resposta foi reduzido para 85% e 69% do *lead time* nominal respectivamente). No grupo (B) tem-se uma redução do tempo de resposta de 3,31 para 2,71 aproximadamente 19% e possibilidade de ruptura entre 17% e 33% (tempo de resposta foi reduzido para 83% e 67% do *lead time* nominal respectivamente). No grupo (C) têm-se uma redução do tempo de resposta de 3,19 para 2,65 aproximadamente 17% e possibilidade de ruptura entre 21% e 35% (tempo de resposta foi reduzido para 69% e 65% do *lead time* nominal respectivamente). Está análise pode também ser ampliada para os níveis a montante.

Tabela 25 - Métrica do *lead time* estimado e do impacto de responsividade (Grupos (A), (B) e (C))

Métrica Impacto de Responsividade						
Lead Time Nominal	Varejista		Distribuidor		Manufatura	
	4 meses		3 meses		2 meses	
Grupo (A)	Estimado	ImpRp [%]	Estimado	ImpRp [%]	Estimado	ImpRp [%]
I - Normal (67930, 17618)	3,09	23	1,94	35	1,26	37
II - Normal (60000, 17618)	3,37	15	1,91	36	1,47	28
III - Normal (75000, 17618)	2,79	31	1,99	33	1,27	37
Grupo (B)	Estimado	ImpRp [%]	Estimado	ImpRp [%]	Estimado	ImpRp [%]
I - Normal (67930, 20000)	3,00	25	1,95	35	1,25	37
II - Normal (60000, 20000)	3,31	17	1,93	35	1,25	37
III - Normal (75000, 20000)	2,71	33	2,00	33	1,28	36
Grupo (C)	Estimado	ImpRp [%]	Estimado	ImpRp [%]	Estimado	ImpRp [%]
I - Normal (67930, 30000)	2,85	28	1,92	36	1,23	38
II - Normal (60000, 30000)	3,19	21	1,91	36	1,24	38
III - Normal (75000, 30000)	2,65	35	1,99	33	1,27	37

Fonte: Autoria própria

As Figuras 43, 44 e 45 ilustram a discussão sobre o comportamento do *lead time* estimado (veja equação (13)) e mostram os impactos das variações na média da demanda por grupo sobre o *lead time* estimado.

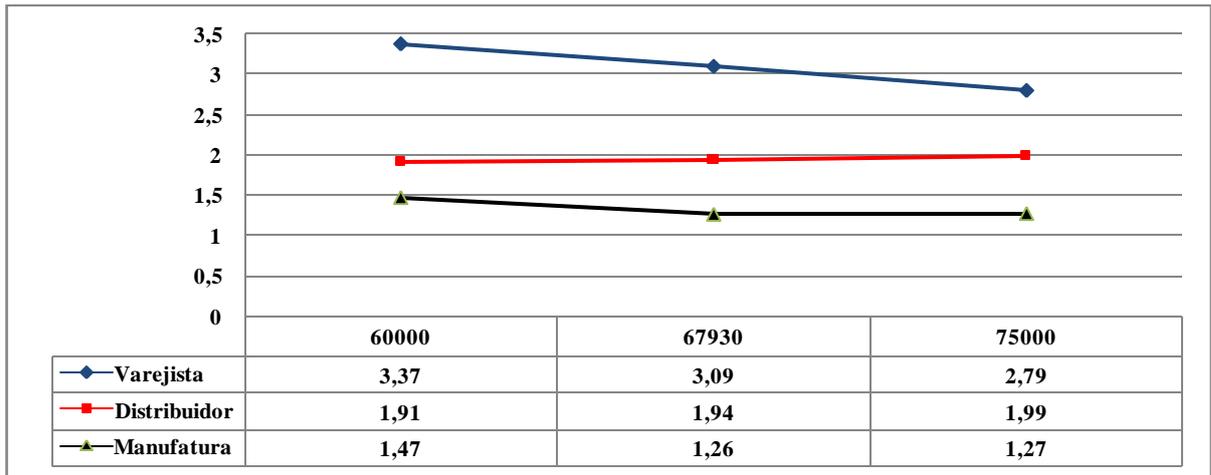


Figura 43 - Gráfico do Lead time estimado (grupo (A))

Fonte: Autoria própria

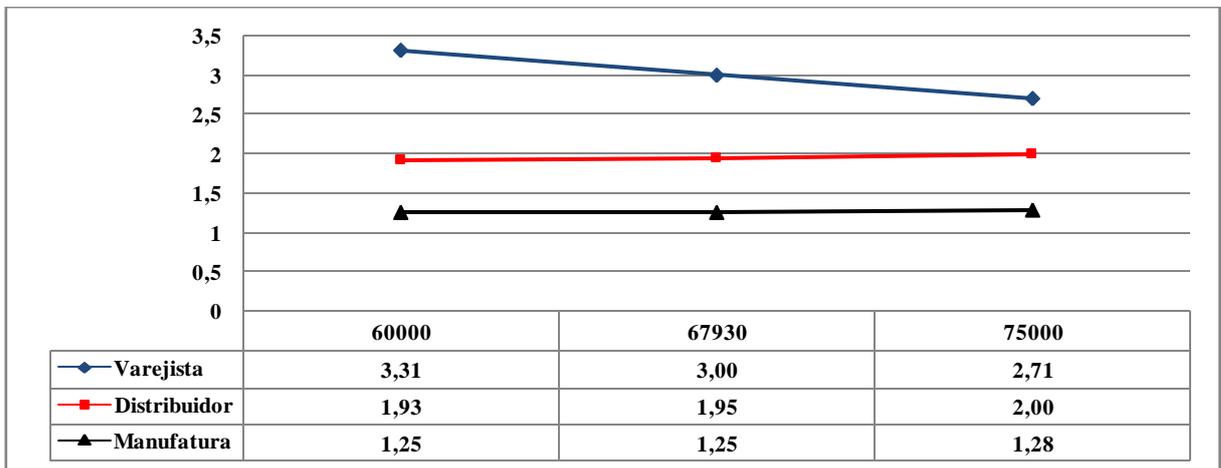


Figura 44 - Gráfico do Lead time estimado (grupo (B))

Fonte: Autoria própria

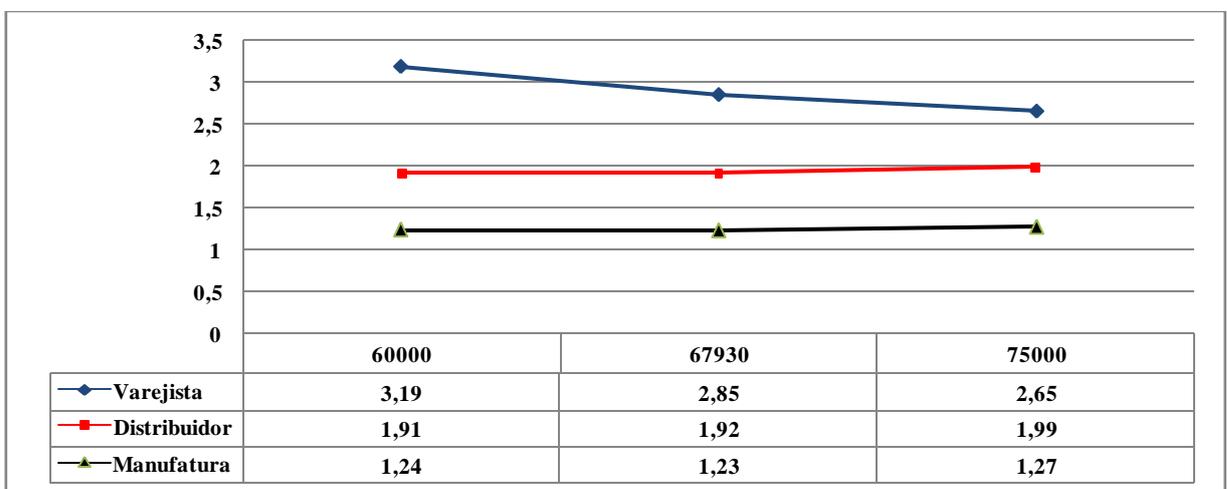


Figura 45 - Gráfico do Lead time estimado (grupo (C))

Fonte: Autoria própria

As Tabelas 26 e 27 apresentam o comportamento dos estoques de absorção da demanda e do *lead time* utilizados para ajustar, o lote de reposição e o ponto de pedido na política de controle *OUTL-P*.

Nota-se que os estoques de absorção da demanda e do *lead time* são similares em média e desvio conforme equação (23) para o nível varejista (destacados em negrito), ou seja, o impacto da chegada de um evento de demanda no estoque varejista apresenta igual distribuição de consumo do estoque. Entretanto, para os níveis a montante, devido à demanda ser substituída pela solicitação de reposição, a equação (23) de proporção (igualdade) não se aplica e deve ser substituída pela equação (25) (veja discussão no Capítulo 2). Os resultados são apresentados nas Tabelas 26 e 27 para os níveis do distribuidor e manufatura. Observa-se também que os estoques de absorção da demanda são mais sensíveis ao efeito de propagação das incertezas, para os níveis a montante da CSS do que o estoque de absorção do *lead time*.

Tabela 26 - Estoque de absorção da demanda (Grupos (A), (B) e (C))

Estoque de absorção	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média ($\Delta d^i \times L$)	I - Normal (67930, 17618)	57622 ± 2897	221842 ± 2630	97027 ± 2144
Média ($\Delta d^i \times L$)	II- Normal (60000, 17618)	33443 ± 1090	198119 ± 3929	78417 ± 1167
Média ($\Delta d^i \times L$)	III- Normal (75000, 17618)	80826 ± 3481	246017 ± 2340	117624 ± 2468
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	I - Normal (67930, 17618)	38622 ± 2349	107113 ± 2607	70095 ± 2390
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	II- Normal (60000, 17618)	25631 ± 1182	97969 ± 2050	53834 ± 1190
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	III- Normal (75000, 17618)	50003 ± 2859	114253 ± 3104	82617 ± 2772
Estoque de absorção	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média ($\Delta d^i \times L$)	I - Normal (67930, 20000)	61634 ± 3009	224517 ± 3038	99255 ± 2256
Média ($\Delta d^i \times L$)	II- Normal (60000, 20000)	37852 ± 1916	200791 ± 2470	80410 ± 1596
Média ($\Delta d^i \times L$)	III- Normal (75000, 20000)	77418 ± 3633	246521 ± 2258	117466 ± 2523
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	I - Normal (67930, 20000)	42401 ± 1806	109872 ± 2259	72582 ± 2177
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	II- Normal (60000, 20000)	27726 ± 1383	100261 ± 2427	57261 ± 1742
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	III- Normal (75000, 20000)	11489 ± 2805	115006 ± 3575	84832 ± 3226
Estoque de absorção	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média ($\Delta d^i \times L$)	I - Normal (67930, 30000)	70680 ± 3264	230424 ± 3724	105577 ± 2486
Média ($\Delta d^i \times L$)	II- Normal (60000, 30000)	45934 ± 2730	206273 ± 3366	86848 ± 2036
Média ($\Delta d^i \times L$)	III- Normal (75000, 30000)	83402 ± 4830	249974 ± 4827	119857 ± 4050
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	I - Normal (67930, 30000)	49916 ± 3438	117790 ± 3432	78626 ± 2999
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	II- Normal (60000, 30000)	35894 ± 2683	106449 ± 2287	64405 ± 2306
Desvio ($\Delta d^i \times L$)	III- Normal (75000, 30000)	65810 ± 3150	121310 ± 4114	90837 ± 3222

Fonte: Autoria própria

Tabela 27 - Estoque de absorção do lead time (Grupos (A), (B) e (C))

Estoque de absorção	Grupo (A)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média ($\Delta L^i \times d$)	I - Normal (67930, 17618)	57622 ± 2897	37609 ± 259	16038 ± 230
Média ($\Delta L^i \times d$)	II- Normal (60000, 17618)	33443 ± 1090	35723 ± 614	13959 ± 190
Média ($\Delta L^i \times d$)	III- Normal (75000, 17618)	80826 ± 3481	39363 ± 180	18305 ± 230
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	I - Normal (67930, 17618)	38622 ± 2349	17019 ± 234	10540 ± 219
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	II- Normal (60000, 17618)	25631 ± 1182	17007 ± 408	8972 ± 147
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	III- Normal (75000, 17618)	50003 ± 2859	16717 ± 278	11442 ± 211
Estoque de absorção	Grupo (B)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média ($\Delta L^i \times d$)	I - Normal (67930, 20000)	61634 ± 3009	37632 ± 458	16157 ± 335
Média ($\Delta L^i \times d$)	II- Normal (60000, 20000)	37852 ± 1916	35885 ± 418	14101 ± 220
Média ($\Delta L^i \times d$)	III- Normal (75000, 20000)	77418 ± 3633	37624 ± 317	16245 ± 247
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	I - Normal (67930, 20000)	42401 ± 1806	17046 ± 464	10435 ± 316
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	II- Normal (60000, 20000)	27726 ± 1383	17283 ± 372	9440 ± 201
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	III- Normal (75000, 20000)	11489 ± 2805	17266 ± 283	10747 ± 228
Estoque de absorção	Grupo (C)	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média ($\Delta L^i \times d$)	I - Normal (67930, 30000)	70680 ± 3264	37614 ± 397	16815 ± 286
Média ($\Delta L^i \times d$)	II- Normal (60000, 30000)	45934 ± 2730	35999 ± 348	14791 ± 209
Média ($\Delta L^i \times d$)	III- Normal (75000, 30000)	83402 ± 4830	39443 ± 499	18264 ± 298
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	I - Normal (67930, 30000)	49916 ± 3438	17817 ± 563	11311 ± 357
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	II- Normal (60000, 30000)	35894 ± 2683	17731 ± 457	10053 ± 312
Desvio ($\Delta L^i \times d$)	III- Normal (75000, 30000)	65810 ± 3150	16663 ± 556	11807 ± 482

Fonte: Autoria própria

4.4 DISCUSSÃO

Os resultados apresentados mostram claramente a conexão entre a melhoria de desempenho e a política de controle *OUTL-P*. Em particular, estabilidade dos estoques, a ruptura dos estoques, o efeito chicote, o nível de serviço e o tempo médio de ruptura dos estoques (veja as Tabelas 11, 16, 13, 17, 18). As Tabelas 9, 12 e 15 mostram como os estoques, o lote de reposição e o ponto de pedido se comportam quando é utilizada a nova política (*OUTL-P*) frente à política (*OUTL-C*) em sistema de revisão contínua.

Destacam-se as Tabelas 12 e 15, relativas ao lote de reposição e ao ponto de pedido respectivamente. Observa-se que o lote de reposição comporta-se frente a incertezas da demanda apresentado aumento do valor médio e redução na variabilidade, e o ponto de pedido incrementa o seu valor nominal para antecipar as solicitações de reposição. Com isto, procura-se proteger o sistema de reposição contra incertezas futura. Estas ações têm origem na utilização dos estoques de absorção como política de ajuste dinâmico, de acordo com as equações (7) e (10) ou (17) e (20), reduzindo a propagação das incertezas ao longo da CSS.

As principais consequências da utilização dos estoques de absorção para ajustar os parâmetros da CSS, são as reduções significativas do efeito chicote e ruptura do estoque varejista, melhora do nível de serviço, redução do tempo médio de ruptura e melhora no comportamento das métricas de *OrVrR*, *InvVrR*, *BwSl* e *InvInSl*.

Além disso, o procedimento de atualização atua na melhoria do *lead time* nominal através da variável *lead time* estimado. Esta variável sugere que, para reduzir os efeitos das incertezas e melhorar as métricas de nível de serviço e ruptura de estoque, é necessária uma resposta rápida de entrega dos produtos para os estoques, sendo quantificada como responsividade da CSS de acordo com as Tabelas 23, 24 e 25 e Figuras 43, 44 e 45.

A combinação da política *OUTL-C* com o procedimento de atualização baseado nos parâmetros para demanda e *lead time* é a origem da política de controle dinâmico *OUTL-P* que contribui de forma relevante no desempenho da CSS, tornando-a mais estável com redução da propagação das incertezas e melhorias no nível de serviço de atendimento ao cliente e responsividade.

4.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi realizada a simulação do comportamento dinâmico de uma CSS composta de três níveis: varejista, distribuidor e manufatura a partir de dados obtidos de uma demanda real. Foi analisado o desempenho da CSS frente a suas métricas e valores médios estimados considerando três grupos de simulação com variações na média e variância da demanda. Os resultados comparam as políticas *OUTL-C* e *OUTL-P*. As métricas de absorção utilizadas mostraram a relevância desta técnica para redução do efeito chicote, melhora do nível de serviço de atendimento ao cliente, estoques mais estáveis e redução na variabilidade do lote de reposição.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O problema de gerenciamento de cadeias de suprimentos sujeita as incertezas da demanda torna-se um fator cada vez mais relevante para as organizações que desejam obter a vantagem competitiva dentro de um mercado dinâmico que evolui a cada instante. Cadeias de Suprimentos na atualidade representam não somente capital investido ou custos, mas atendem as necessidades da produção; montagem; entrega; transporte; distribuição e facilitam a chegada dos produtos finais aos centros consumidores. Neste trabalho de pesquisa é proposta uma nova política de controle dinâmico *Order-Up-To-Level (OUTL)* em sistemas de revisão contínua com um mecanismo de atualização para o ponto de pedido e tamanho do lote de reposição através dos parâmetros para demanda e *lead time*. Este novo procedimento de atualização introduz o conceito de estoque de absorção que modifica dinamicamente a política de controle clássica *OUTL-C*. A cadeia de suprimentos abordada neste trabalho é serial, composta de três níveis produtivos: varejista, distribuidor e manufatura, mono-produto, sob ação de incertezas da demanda e modelada pela abordagem por eventos discretos. O comportamento dinâmico da cadeia de suprimentos é mensurado em termos das métricas para efeito chicote, nível de serviço ao cliente, responsividade, ruptura de estoque, nível de estoque, parâmetros para a demanda e *lead time*, e das ordens de reposições. Um modelo de simulação considerando três grupos com variabilidade na demanda média e desvio, e baseado em eventos discretos não determinísticos é construído para analisar o desempenho da política de controle proposta frente à política de controle *OUTL-C*.

Os resultados da simulação mostram a redução do efeito chicote mensurados considerando a variável de absorção da demanda o que contrapõe aos resultados encontrados para o clássico mensurado através do lote de reposição variável. O maior nível médio dos estoques (veja a Tabela 10) do proposto impacta diretamente na redução significativa da ruptura do estoque varejista que chega aproximadamente aos 50% e proporciona a melhora no nível de serviço de atendimento cliente (veja as Tabelas 17, 18 e 19). Em relação às ordens de reposição o aumento na média e redução da variabilidade (veja Tabela 13) torna a política proposta mais estável quando se considera a métrica *OrVrR* (veja a Tabela 14). São observadas reduções significativas na amplificação do efeito chicote e como consequência uma redução na métrica *BwSl* (veja a Tabela 15), ilustrada nas Figuras 36, 37 e 38, representada pelos gráficos de inclinação. O que garante maior estabilidade ao modelo proposto frente ao clássico conforme discutidos nos trabalhos de Dejonckheere et al. (2003), Dejonckheere et al. (2004), Miragliotta (2006), Cannella et al.(2013), Dominguez, Framinan e

Cannella (2014), Dominguez, Cannella e Framinan (2015). A métrica *InvVrR* que mensura o comportamento dos estoques nos níveis da CSS, mostra que o aumento dos níveis dos estoques no proposto proporciona uma vantagem em termos de reduções significativa na instabilidade (veja a Tabela 10) e comportamento mais estável quando considera-se a métrica de inclinação dos estoques *InvInSl* (veja a Tabela 11) e gráficos apresentados nas Figuras 29, 30 e 31, conforme discutido no trabalho de CANNELLA et al.(2013).

Outro ponto relevante a ser destacado é o comportamento da métrica proposta que dimensiona a responsividade (veja as Tabelas 23, 24 e 25) da CSS através do *lead time* estimado e do impacto de responsividade (ImpRp). Sendo os resultados derivados da variável de absorção do *lead time*, que conduziu o sistema a um novo patamar de operação. Sugerindo para CSS reduzir o *lead time* nominal por nível para obter melhores resultados de desempenho. Além disso, o aumento no nível médio do ponto de pedido (veja a Tabela 16) contribuiu de forma significativa na antecipação das ordens de reposição e reduzindo as possíveis incertezas no futuro. Os resultados dos estoques de absorção mostram a relevância dos argumentos utilizados, na discussão sobre o seu comportamento para o nível varejista e níveis a montante da CSS. Onde se confirma as hipóteses assumidas (veja o Capítulo 2). Deste modo pode-se contemplar que a política de controle dinâmico proposta apresentou pontos relevantes em relação à política de controle dinâmico clássica.

Em trabalhos futuros sugerem-se novas investigações considerando efeitos sazonais, modificações na estrutura da CS, por exemplo, utilizando as *SCN* divergente, variações no nível de ressuprimento e estoque de segurança, análise de variância das variáveis e a utilização de técnicas de otimização para obter um melhor compromisso entre absorção da demanda e do *lead time*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOULOU, M. A.; DOLGUI, A.; KOVALYOV, M. Y. A bibliography of non-deterministic lot-sizing models. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 8, p. 2293-2310, 2014.

APRIL, J.; FU, M. C.; GLOVER, F. W. Simulation Optimization: A Review, New Developments, and Applications. Proceedings of the 2005 **Winter Simulation Conference**, ed. M.E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, 2005.

APRIL, J.; BETTER, M.; GLOVER, F.; KELLY, J.; LAGUNA, M. Enhancing Business Process Management With Simulation Optimization. Proceedings of the 2006 **Winter Simulation Conference**, ed. L.F. Perrone, F.P. Wieland, J. Liu, B.G. Lawson, D.M. Nicol & R.M. Fujimoto, 2006.

AKYUZ, A. G.; ERKAN, E. T. Supply chain performance measurement: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 17, p. 5137-5155, 2010.

AXSÄTER, S. **Evaluation of (R, Q)-policies for two-level inventory systems with Poisson demand**, Luleå University of Technology, Sweden, 1990.

AXSÄTER, S. Exact analysis of continuous review (R, Q) policies in two-echelon inventory systems with compound Poisson demand. **Operations research**, v. 48, n. 5, p. 686-696, 1999.

BABAI, Z. M.; DALLERY, Y. A dynamic inventory control policy under demand, yield and lead time uncertainties, **IEEE SSSM (Service Systems and Service Management)**, Troyes, France, 2006A.

BABAI, Z. M.; DALLERY, Y. An analysis of forecast based reorder point policies: the benefit of using forecasts. **12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM06)**, May 2006, Saint-Etienne, France. 2006B.

BABAI, Z. M.; SYNTETOS, A. A. Dynamic Inventory Control System with Lead-time Uncertainty: Analysis and Empirical Investigation. In: Proceedings of the 2nd **International Conference on Operations and Supply Chain Management**, Novotel Bangkok on Siam Square, Bangkok, Thailand, 2007.

BABAI, Z. M.; DALLERY, Y. Dynamic versus static control policies in single stage production inventory systems. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 2, p. 415-433, 2009.

BABAI, Z. M.; SYNTETOS, A. A.; DALLERY, Y.; NIKOLOPOULOS, K. Dynamic re-order point inventory control with lead time uncertainty: Analysis and empirical investigation. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 9, 2461-2483, 2009.

BABAI, Z. M.; JEMAI, Z.; DALLERY, Y. Analysis of order-up-to-level inventory systems with compound Poisson demand. **European Journal of Operational Research**, v. 210, n. 3, p. 552-558, 2011.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**, 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BANKS, J., CARSON II, J. S., NELSON, B. L., NICOL, D. M., (2004), **Discrete Event System Simulation**, 4th edition, New Jersey: Prentice Hall.

BARLAS, Y.; GUNDUZ, B. Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 3, p. 458-473, 2011.

BEAMON, B. M. Supply chain design and analysis: Models and methods. **International Journal Production Economics**, v. 55, p. 281-294, 1998.

BEAMON, B. M. Measurement supply chain performance. **International Journal Production Economics**, v. 19, n. 3, p. 275-292, 1999.

BLANCHINI, F.; PESENTI, R. Min-max control of uncertain multi-inventory systems with multiplicative uncertainties. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 46, n. 8, p. 955-959, 2001.

BREMER, C. F.; LENZA, R. de P. Um modelo de referência para gestão da produção em sistemas de produção Assembly to Order - ATO e suas múltiplas aplicações. **Gestão & Produção**, v. 7, n. 3, p. 269-282, 2000.

BUCKLEY, J. J.; FEURING, T.; HAYASHI, Y. Solving fuzzy problems in operations research: inventory control. **Proceedings of the FUZZ-IEEE**, v. 1, p. 2704-2707, 2001.

CANNELLA, S; CIANCIMINO, E. On the bullwhip avoidance phase: supply chain collaboration and order smoothing. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 22, p. 6739-6776, 2010.

CANNELLA, S.; A. P. BARBOSA, P. A. P.; FRAMINAN, J. M.; RELVAS, S. Metrics for bullwhip effect analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 64, p. 1-16, 2013.

CANNELLA, S.; FRAMINAN, J. M.; BRUCCOLERI, M.; A. P. BARBOSA, P. A. P.; RELVAS, S. The effect of inventory record inaccuracy in information exchange supply chains. **European Journal of Operational Research**, v. 243, n. 1, p. 120-129, 2015.

CHAHARSOOGHI, S. K., HEYDARI, J., & KAMALABADI, I. N. Simultaneous coordination of order quantity and reorder point in a two-stage supply chain. **Computers & Operations Research**, v. 38 (12), p. 1667-1677, 2011.

CIGOLINI, R.; PERO, M.; ROSSI, T.; SIANESI, A. Linking supply chain configuration to supply chain performance: A discrete event simulation model. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 40, p. 1-11, 2014.

CHEN, F. Echelon reorder points, installation reorder points, and the value of centralized demand information. **Management science**, v. 44 , n.12 (part-2), p. S221-S234, 1998.

CHEN, H.; LI, P. Optimization of (R, Q) policies for serial inventory systems using the guaranteed service approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 80, p. 261-273, 2015.

CHEN F.; DREZNER Z.; RYAN J. K. Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: the Impact of Forecasting, Lead-times and Information. **Management Science**, v. 46 n. 3, p. 436-443, 2000.

CHEN, Y. F., & DISNEY, S. M. The myopic order-up-to policy with a proportional feedback controller. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 2, p. 351-368, 2007.

CHRISTOPHER, M. The agile supply chain competing in volatile markets. **Industrial Marketing Management**, v. 29, p. 37-44, 2000.

DIAZ, C. A. P.; PIRES, S. R. I. Variação da demanda ao longo da cadeia de suprimentos: o efeito da amplificação de demanda. **Anais do XXIII - Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 2003.

DISNEY, S. M.; LAMBRECHT, M. R. On replenishment rules, forecasting, and the bullwhip effect in supply chains. **Foundations and Trends® in Technology, Information and Operations Management**, v. 2, n. 1, p. 1-80, 2008.

DISNEY, S. M.; TOWILL, D. R. A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain. **International Journal of Production Research** v. 40, n. 1, p. 179-204, 2002.

DISNEY, S. M.; TOWILL, D. R. On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy. **Omega** v. 31, n. 3, p. 157 -167, 2003.

DISNEY, S. M.; TOWILL D. R. A methodology for benchmarking replenishment-induced bullwhip. **Supply Chain Management**, v. 11, n. 2, p. 160-168, 2006.

DEJONCKHEERE, J., DISNEY, S. M.; LAMBRECHT, M. R.; TOWILL, D. R. Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 3, p. 567-590, 2003.

DEJONCKHEERE, J., DISNEY, S. M.; LAMBRECHT, M. R.; TOWILL, D. R. The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: A control engineering perspective. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 3, p. 727-750, 2004.

DOMINGUEZ, R.; FRAMINAN, J. M.; CANNELLA, S. On bullwhip-limiting strategies in divergent supply chain networks. **Computers & Industrial Engineering**, v. 73, p. 85-95, 2014.

DOMINGUEZ, R.; CANNELLA, S.; FRAMINAN, J. M. The impact of the supply chain structure on bullwhip effect. **Applied Mathematical Modelling**, v. 39, n. 23, p. 7309-7325, 2015.

EVERS, P. T. The effect of lead times on safety stocks. **Production and Inventory Management Journal**, v. 40, n. 2, p. 6-10, 1999.

FIORIOLLI, J. C.; FOGLIATTO, F. S. Modelagem matemática do Efeito Chicote em ambientes com demanda e lead time estocásticos. In: **XXXIX SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2007, Fortaleza. Anais do XXXIX SBPO. Rio de Janeiro: Sobrapo, 2007.

FIORIOLLI, J. C.; FOGLIATTO, F. S. Modelagem do efeito chicote em ambientes com demanda e lead time estocásticos mediante uma nova política de tratamento dos excessos de estoque. **Revista Produção**, v. 19, n. 1, p. 027-040, 2009

FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.; DEKKER, R.; VAN DER LAAN; VAN NUNEN, J.; VAN WASSENHOVE, L. Quantitative models for reverse logistics: a review. **European Journal of Operational Research** v. 103, p. 1-17,1997.

FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. MIT Press, Cambridge, Mass, 1961.

FORSBERG, R. Exact evaluation of (R, Q)-policies for two-level inventory systems with Poisson demand. **European journal of operational research**, v. 96, n. 1, p. 130-138, 1996.

FU, M. C. Optimization for simulation: Theory vs. practice, **Journal on Computing** v. 14, p. 192-214, 2002.

GREWAL, C. S.; ENNS, S. T.; ROGERS, P. Dynamic reorder point replenishment strategies for a capacitated supply chain with seasonal demand. **Computers & Industrial Engineering**, v. 80, p. 97-110, 2015.

HARRIS, F. W. "**Operations and cost (Factory Management Series)**". A.W. Shaw Company. Chicago. Cap. IV, p. 48-52, 1915.

HSIEN, J., L. Two-echelon stochastic inventory system with returns and partial backlogging. **International Journal of Systems Science**, v. 46, n. 6, p. 966-975, 2015.

HOSODA, T.; DISNEY, S. M. The governing dynamics of supply chains: The impact of altruistic behaviour. **Automatica** v. 42, n. 8, p. 1301-1309, 2006.

JOHNSON, G.; THOMSON, H. Optimality of myopic inventory policies for certain dependent demand processes. **Management Science**, v. 21, p. 1303–1307,1975.

JOHANSEN, S. G.; THORSTENSON, A. Optimal and approximate (Q, r) inventory policies with lost sales and gamma-distributed lead time. **International Journal of Production Economics**, v. 30, p. 179-194,1993.

KHATOR, S. K.; DESHMUKH, M. System dynamics modeling of agility in supply chain. Technical and Organizational Integration of Supply Chains. **Proceedings of the XXII International Conference on Industrial Engineering and Operational Managements (Part One: Operations Management)**, p. 17-23, 2002.

KHMELNITSKY, E.; GERCHAK, Y. Optimal control approach to production systems with inventory-level-dependent demand. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 47, n. 2, p. 289-292, 2002.

KLEIJNEN, J. P.; SMITS, M. T. Performance metrics in supply chain management. **Journal of the Operational Research Society**, v. 54, n. 5, p. 507-514, 2003.

KLEIJNEN, J. P. Supply chain simulation tools and techniques: a survey. **International Journal of Simulation and Process Modelling**, v. 1, n. 1-2, p. 82-89, 2005.

KUMAR, D.; RAMAKRISHNA, H. Assessment of Supply Chain Agility Using Fuzzy Logic for a Manufacturing Organization. The IUP **Journal of Supply Chain Management**, v. 8, n. 4, December 2011, p. 7-15

LEE, H. L.; PADMANABHANV, V.; WHANGS, S. "The Bullwhip Effect in Supply Chain," **Sloan Management Review**, v. 38, p. 93 - 102, 1997.

LEE, D. W.; CHUANG, B. R. Continuous review inventory model with a service level constraint and defective items. **Journal of Statistics and Management Systems**, v. 12, n. 1, p. 197-206, 2009.

MENTZER, J. T.; de WITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C. D.; ZACHARIA, Z. G. Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

MIRAGLIOTTA, G. Layers and mechanisms: A new taxonomy for the bullwhip effect. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 2, p. 365-381, 2006.

OLIVEIRA, F. M. H.; CARVALHO, C. M. Análise de políticas de gestão em cadeias de suprimentos por modelos de simulação, **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 11, n. 13, p. 313-329, 2004.

PESSOA, T. B. C., MIRANDA, G. B., LIMA, L. S., MARUJO, L. G., 2010, Conceitos sobre a Integração entre Modelos de Simulação e Otimização. **Anais do XXX - Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**.

PACHECO, E. O.; LÜDERS R.; DELDAGO M. R. Using Discrete Event System Concepts in Supply Chain Management Composed by Three Production Levels Subject to Uncertainty. 22nd **International Conference on Production Research - ICPR**, 2013.

PACHECO, E. O.; LÜDERS R. **Dimensionamento do lote de reposição variável de uma cadeia de suprimentos composta de dois níveis produtivos baseado em eventos discretos não determinísticos**, 2014. Anais do XLV SBPO.

PACHECO; E. O.; LÜDERS; R.; PÓVOA; A. P. B. Performance metrics for a supply chain subject to stochastic demand, 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM). p. 823-831, DOI: 10.1109/IESM.2015.7380251. **IEEE Conference Publications**, 2015.

PACHECO; E. O.; LÜDERS; R.; PÓVOA; A. P. B.; CANNELLA; S. Supply chain inventory control policy with stochastic demand events, 5th **International Conference on Engineering Optimization** - Iguassu Falls, Brazil, 19-23 June 2016

PACHECO; E. O.; LÜDERS; R.; PÓVOA; A. P. B.; CANNELLA; S. Order-up- to-level Policy Update Procedure for a Supply Chain Subject to Market Demand Uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**. v. 133, p. 347-355, 2017.

RADHAMANI, V., SIVAKUMAR, B., & LAWRENCE, A. S. A comparative study on replenishment policies of inventory system with postponed demands. **International Journal of Systems Science: Operations & Logistics**, (ahead-of-print), p. 1-21, 2015.

RYAN, B. F. & Joiner, B. L. **Minitab Handbook**. Duxbury Press, Pacific Grove, 2001.

SANA, S. S. Optimal production lot size and reorder point of a two-stage supply chain while random demand is sensitive with sales teams' initiatives. **International Journal of Systems Science**, (ahead-of-print), p. 1-16, 2014.

SARIMVEIS, H.; PATRINOS, P.; TARANTILIS, C. D.; KIRANOUDIS, C. T. Dynamic modeling and control of supply chain systems: a review. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 11, p. 3530-3561, 2008.

SILVER, E. A.; PETERSON, R. **Decision Systems for Inventory Management and Production Planning**. John Wiley and Sons, New York, 1985.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Designing and Managing the Supply Chain - Concepts, Strategies, and Case Studies**. 1^a ed, McGraw-Hill, 2000.

SONIA, R. C.; ANA, P. F. D. B. P.; SUSANA, R. Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty **European Journal of Operational Research**, v. 226, p. 436-451, 2013.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. McGraw-Hill, 2000.

TAKO, A. A.; ROBINSON, S. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. **Decision support systems**, v. 52, n. 4, p. 802-815, 2012.

TEMPELMEIER, H. A multi-level inventory system with a make-to-order supplier. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. (23-24), p. 6880-6890, 2013.

TOWILL, D. R. Dynamic Analysis of an inventory and order based production control system. **International Journal of Production Research**, v. 20, p. 671-678, 1982.

TOWILL, D. R.; DEL VECCHIO, A. L. The application of filter theory to the study of supply chain dynamics. **Production Planning and Control**, v. 5, n. 1, p. 82-96, 1994.

TOWILL, D. R. Industrial dynamics modelling of supply chains. **Logistics Information Management**, v. 9, n. 4, p. 43-56, 1996.

VIEIRA, C. S.; BARBOSA, M.; CONCEIÇÃO, S. V. O efeito do chicoteamento (bullwhip effect) na cadeia de suprimentos para a empresa FMX de produtos farmacêuticos e

cosméticos. **Anais do XXIII - Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 2003.

VILLEGAS, F. A.; SMITH, N. R. Supply Chain Dynamics: Analysis of Inventory vs. Order Oscillations Trade-Off. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 6, p. 1037-1054, 15 March 2006.

WADHWA, S., BIBHUSHAN, & CHAN, F. T. Inventory performance of some supply chain inventory policies under impulse demands. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 12, p. 3307-3332, 2009.

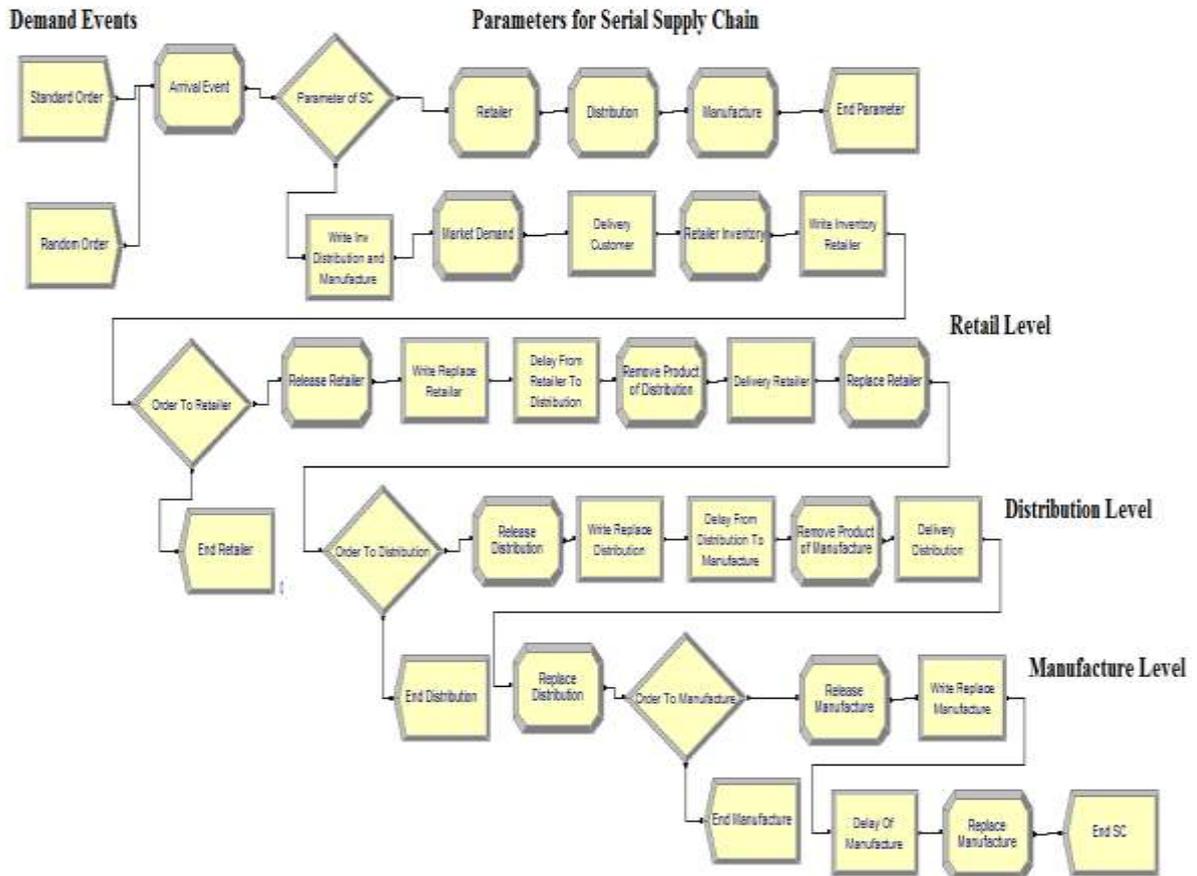
WILSON, R. H. **A Scientific Routine for Stock Control**. Harvard Business Review 13: 116-128, 1934.

YOU, F.; GROSSMANN, I. E. Design of responsive supply chains under demand uncertainty. **Computers and Chemical Engineering**, v. 32, p. 3090-3111, 2008.

ZIPKIN, P. H. **Foundations of Inventory Management**. 2000. McGraw-Hill, USA.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Modelo de Simulação Clássico



APÊNDICE B - Modelo de Simulação Proposto

