

MÉTRICAS PARA CADEIAS DE SUPRIMENTOS SOB AÇÃO DE INCERTEZAS DO MERCADO CONSUMIDOR

Isabella Pereira Zerger¹
Thiago Shoji Obi Tamachiro²
Eduardo de Oliveira Pacheco³

RESUMO

Gerenciar cadeias de suprimentos sujeitas às incertezas da demanda torna-se um fator cada vez mais desafiante para as organizações que desejam obter vantagem competitiva dentro de um mercado dinâmico que evolui a cada instante. Trabalhos apresentados na literatura nas últimas décadas têm destacado o estudo da dinâmica, a integração entre os membros participantes das cadeias de suprimentos e as métricas de desempenho como elementos fundamentais para obtenção da vantagem competitiva. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é investigar por intermédio da simulação o desempenho dinâmico de uma cadeia de suprimentos serial, composta de três níveis produtivos: manufatura, distribuidor e varejista, sob ação de incertezas do mercado consumidor. A política de controle *OUTL* (*Order-Up-To-Level*) em sistema de revisão contínua é utilizada no controle dos níveis dos estoques. O desempenho dinâmico da cadeia de suprimentos serial é mensurado através do efeito chicote, nível de serviço ao cliente, valor médio dos estoques e dos lotes variáveis de reposição bem como as suas incertezas. Com isto, espera-se abrir uma nova perspectiva de investigação.

Palavras-chave: Cadeia de suprimentos; Métricas de desempenho; Dinâmica do Mercado Consumidor; Simulação.

¹ Aluna do curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. Bolsista do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2017-2018). *E-mail*: isazerger@hotmail.com

² Aluno do curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. Voluntário do Programa de Apoio à Iniciação Científica (PAIC 2017-2018). *E-mail*: thiagotamachiro@gmail.com

³ Doutor em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI) da UTFPR. Professor dos cursos de Administração, Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. *E-mail*: eduardo.pacheco@fae.edu

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 crescimento populacional e a formação de grandes centros consumidores a partir da revolução industrial no século XVIII, a necessidade de sistemas de armazenagem cada vez maiores se tornaram necessários para garantir o abastecimento dos centros consumidores. Entretanto, na atualidade os conceitos iniciais sobre armazenagem são estendidos e incorporam as organizações e suas cadeias de suprimentos.

Uma Cadeia de Suprimentos (CS) pode ser definida como um conjunto de entidades diretamente envolvidas nos fluxos de informação e de materiais, desde o fornecimento de matéria prima bruta até o consumidor final Forrester (1961), Ballou (2001). Devido a sua complexidade e ao alto número de variáveis envolvidas que podem ser abordadas pelo modelo, surgem novos desafios para a gestão das CS e estão relacionados com as incertezas na demanda, tempo de resposta, métricas de desempenho, o modelo estrutural ideal, a política de controle entre outros. De um modo geral a literatura acadêmica vem contribuindo nas últimas décadas de forma significativa para atenuar os desafios impostos as CS, por exemplo, as abordagens que tratam dos problemas estruturais, tal como a Dinâmica Industrial (*Industrial Dynamic*) Forrester (1961), Towill; Del Vecchio (1994), Cigolini et al.(2014) estão baseadas na análise do comportamento dinâmico da CS ao longo dos seus níveis produtivos frente a incertezas. As abordagens por simulação são caracterizadas por sistemas dinâmicos (*System Dynamics*) ou eventos discretos (*Discrete Events*) e são as mais utilizadas para estudar o comportamento dinâmico e mensurar as métricas de desempenho, por exemplo, o efeito chicote (*Bullwhip effect*), nível de serviço (*Fill rate*), ruptura de estoque (*Stock out*) entre outras (CHEN; DREZNER; RYAN, 2000; TAKO; ROBINSON, 2012; CANNELLA et al., 2013; DOMINGUEZ et al., 2015a; DOMINGUEZ et al., 2015b).

Motivado por estas considerações este trabalho de pesquisa tem como proposta investigar o comportamento dinâmico de uma cadeia de suprimentos serial (CSS) composta por três níveis produtivos (varejista, distribuidor e manufatura) sujeita a incertezas do mercado, através das métricas de desempenho em termos do efeito chicote, nível de serviço e valor médio dos estoques e do lote de reposição. Paratanto, será construído um modelo de simulação utilizando o software Matlab/Simulink. Como resultado espera-se mostrar que a técnica de simulação é uma ferramenta ideal para mensurar as métricas de desempenho e contribui de forma significativa na validação do modelo proposto, o que abre uma nova perspectiva de investigação frente aos modelos estudados na literatura.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 CADEIA DE SUPRIMENTOS

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 volatilidade do mercado, de gestão dos estoques, das políticas de controle, 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; CIGOLINI et al., 2014; PACHECO et al., 2017; PACHECO, 2017).

1.2 POLÍTICA DE CONTROLE

Inicialmente as políticas de controle foram formalizadas em Wilson (1934) e eram 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 (*Continuous Review System*) e sistema de revisão periódica (*Periodic Review System*) (BABAI et al., 2009).

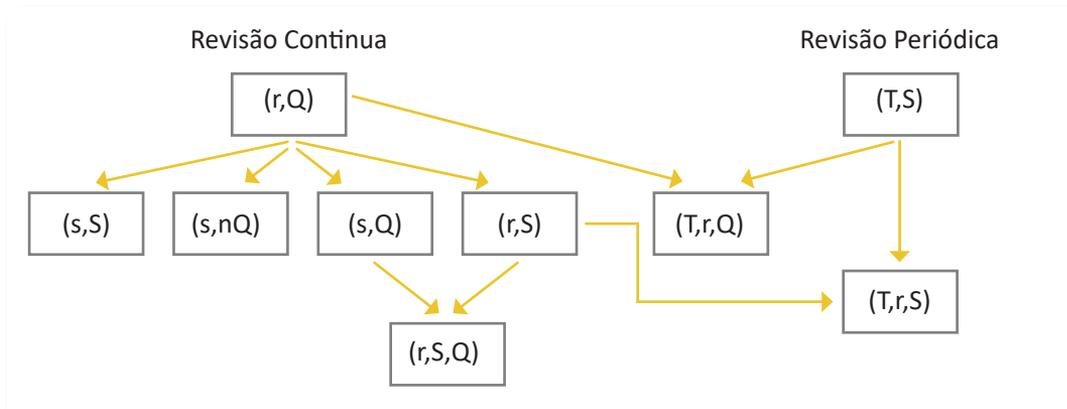
No sistema de revisão contínua, a política de controle estático (r, Q) é caracterizada pela observação constante do nível atual do estoque, e está baseada em ponto de pedido (r) e lote econômico (Q) constantes, ou seja, o ponto de pedido define um nível operacional do estoque e serve como nível de referência para solicitação de ordens de reposição. O lote econômico (Q) representa a quantidade a ser reposta, e está baseado em um modelo de otimização global dos custos de estoques. O que garante o melhor lote de reposição (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. Conhecida também como (*Order-Up-To-Level - OUTL*) e de fácil

compreensão. “Order” significa colocar um pedido de reposição e “Up-To-Level” significa até um nível máximo de ressurgimento (CHEN; DISNEY, 2007).

De um modo geral as políticas de controle estático, são inadequadas para tratar problemas que envolvem incertezas na demanda, por exemplo. São geralmente utilizadas como ponto de partida para a construção de novas políticas em qualquer abordagem. No sistema de revisão contínua 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) Babai; Dallery (2009). 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) (BABAI; DALLERY, 2009). A figura 1, mostra as políticas de controle mais estudadas na literatura e suas adaptações.

FIGURA 1 – Política de controle e adaptações



FONTE: Os autores

1.3 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

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), Tako; Robinson (2012), Cigolini et al. (2014), Pacheco et al. (2017), Pacheco (2017). 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. A seguir o quadro 1, mostra as principais métricas desenvolvidas e utilizadas para estudos na Cadeia de Suprimentos.

QUADRO 1 – 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>BwSI</i>	$\partial InvVrR$	Ângulo de inclinação do <i>InvInSI</i>
Métricas			
Bw	Bullwhip	BwSI	Bullwhip Slope
OrVrR	Order rate variance ratio	InvVrR	Inventory variance ratio
InvInSI	Inventory Instability Slope	FR	Fill Rate
B_{LOG}	BackLog		
Variáveis			
d	Demanda real	O_E	Ordens entregues
L	Lead time nominal		

FONTE: Cannella et al. (2013)

1.3.1 Efeito Chicote

Jay Forrester, engenheiro de sistemas, demonstrou a existência de um comportamento dinâmico nas cadeias de suprimentos, denominado efeito chicote ou amplificação da demanda. Este efeito é definido pela distorção da demanda que vai aumentando ao caminhar a montante da cadeia de suprimentos, acarretando em uma visão errada do mercado aos níveis superiores da cadeia.

De acordo com Lee, Padmanabhanv e Whangs (1997) o problema do efeito chicote vai desde o aumento de custo, redução do nível de serviço, perda nas vendas, escassez de produtos, e atrasos nas entregas até a paralisação total da CS. Os trabalhos de Chen, Drezner e Ryan (2000), Cannella et al. (2013) identificam as principais causas do efeito chicote: atualização constante da previsão de demanda, o lote de pedidos, o jogo de racionamento e a flutuação dos preços.

Para mensurar o efeito chicote, o modelo 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) de acordo com a equação (1).

$$Bw=(\sigma_q^2)/(\sigma_d^2) \quad (1)$$

1.3.2 Nível de Serviço ao Cliente

A resultante da qualidade, desempenho e planejamento da oferta de produtos e serviços de uma empresa aos seus clientes, de acordo com Ballou (2001), pode ser denominada de nível de serviço. Diante deste contexto, a gestão estratégica é focada à satisfação dos clientes e sua fidelização. Ainda para este autor, o nível de serviço pode ser entendido como uma relação, onde os clientes escolhem seus fornecedores com base em três fatores: preço, qualidade e serviço. Esta combinação pode resultar na conquista de novos clientes e ampliar o mercado de atuação da empresa. 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. Geralmente 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 (2) (CANNELLA et al., 2013; PACHECO et al., 2017).

$$FR = (O_e)/(d) \quad (2)$$

No Quadro 2, apresenta-se um levantamento bibliográfico com trabalhos relevantes na literatura acadêmica abordando o tema cadeia de suprimentos e suas estruturas. Observa-se que a política de controle mais utilizada na literatura são a política de controle (r,Q) em sistema de revisão contínua e a política de controle (T,S) em sistema de revisão periódica. Percebe-se que existem poucos estudos sobre a política de controle *OUTL (Order-Up-To-Level)* em sistema de revisão contínua (r,S) o que pode caracterizar uma lacuna (*gap*) na literatura acadêmica. As cadeias de suprimentos mais estudadas são as de três níveis produtivos e as publicações mais recentes destacam a técnica de simulação como uma ferramenta adequada para analisar o desempenho das cadeias de suprimentos. Também é possível constatar que o efeito chicote é uma das métricas que mais se destacam na literatura, na qual autores como, Diaz e Pires (2003),

Vieira et al. (2003), Cannella et al. (2013), Dominguez et al. (2014), Dominguez et al. (2015a), Dominguez et al. (2015b), buscam identificar as causas e consequências deste efeito, que por sinal pode ser encontrado nas mais variadas empresas como por exemplo, na indústria de embalagens conforme discutido no trabalho de (GONZALEZ et al., 2011). Motivado por estas considerações neste projeto de pesquisa a política de controle a ser utilizada é *OUTL* em sistemas de revisão contínua (r,S), as métricas analisadas serão o efeito chicote, nível de serviço ao cliente e os valores médios dos estoques e do lote de reposição. A técnica de simulação utilizada é a por tempo discreto onde os intervalos de tempo são constantes e conhecidos a priori. Entretanto, pedidos dos clientes (demanda de mercado) podem chegar de forma inesperada e não podem ser descartados.

QUADRO 2 – Levantamento bibliográfico

continua

Autores	Política de controle	Estrutura da Cadeia de Suprimentos	Palavras chaves	Contribuição
Dominguez et al., 2015b	Periódica (T,S)	Serial e Divergente com Quatro Níveis	Retorno; efeito chicote; transporte; cadeia de suprimento divergente; cadeia de suprimento serial; simulação.	Análise comparativa sobre o impacto dos retornos em duas diferentes configurações de cadeia de suprimentos: serial e divergente.
Dominguez et al., 2015a	Periódica (T,S)	Serial Multi-Nível	Gestão de cadeia de suprimento; sistemas multi-agente; simulação; amplificação da demanda; cadeia de suprimentos complexa; ANOVA.	Estudou como os fatores estruturais de cadeias de suprimentos impactam o efeito chicote.
Dominguez et al., 2014	Periódica (T,S)	Serial e Divergente com Quatro Níveis	Efeito chicote; cadeia de suprimento serial; cadeia de suprimentos divergente; simulação; sistemas multi-agente; comportamento de choque.	Tentativa de analisar o efeito chicote em uma SCN divergente, visto que, a maioria dos trabalhos abordam somente SCN serial.
Cannella et al., 2013	Não há	Serial com Três Níveis	Medidas de desempenho; gestão de inventário; custos da cadeia de suprimentos; amplificação da demanda; sistema dinâmico.	Proposição de um sistema de medição de desempenho para análise do efeito chicote.
Gonzalez et al., 2011	Contínua (r,Q)	Serial com Três Níveis	Efeito chicote; consequências do efeito chicote; Setor de embalagens.	Descrever as consequências do efeito chicote no setor de embalagens.

Autores	Política de controle	Estrutura da Cadeia de Suprimentos	Palavras chaves	Contribuição
Akyuz & Erkan, 2009	Não há	Não há	Cadeia de suprimento; Medida de desempenho; métricas; maturidade.	O artigo discutiu questões sobre: os problemas dos sistemas de medida de desempenho atuais; importância do BSC e do modelo SCOR; requisitos para métricas de medição de desempenho; e a importância do conceito de ajuste na medição do desempenho da cadeia de suprimentos.
Costa et al., 2005	Não há	Serial com Dois Níveis	Gestão da cadeia de suprimentos; Integração; Informação; Parceria.	Falta de convergência no uso do termo “gestão da cadeia de suprimentos” tanto no campo teórico quanto prático e espera-se que mais pesquisas sejam feitas no sentido de solidificar o conceito e seu uso.
Vieira et al., 2003	Contínua (r,Q)	Serial com Três Níveis	Efeito de chicoteamento; Cadeia de suprimentos; Variabilidade da demanda.	Constatou-se que o efeito de chicoteamento se deve principalmente ao processo de sinalização da demanda. Verifica-se que esse efeito pode levar os custos na cadeia e, conseqüentemente, comprometer o nível de serviço ao cliente final.
Badin et al., 2003	Contínua (r,Q)	Serial com Três Níveis	Integração; Cadeia de suprimentos; Indústria automobilística.	Identificou as barreiras, custos e benefícios da integração da cadeia de suprimentos na indústria automobilística.
Diaz & Pires, 2003	Não há	Não há	Demanda; Amplificação da demanda (<i>Bullwhip Effect</i>); Cadeia de suprimentos.	Procurou-se através da revisão de literatura, identificar as principais causas que levam ao aparecimento do fenômeno da amplificação da demanda (<i>Bullwhip Effect</i>) ao longo da cadeia de suprimentos e conseqüentemente, a práticas a serem aplicadas para minimizar ou eliminar seus efeitos.

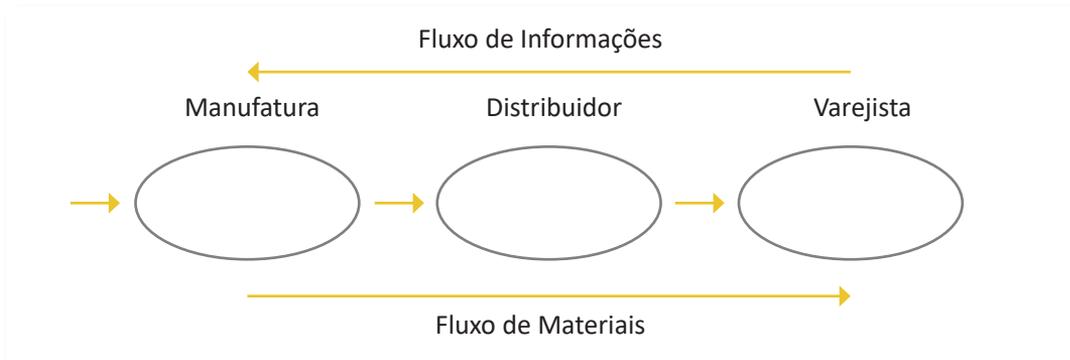
Autores	Política de controle	Estrutura da Cadeia de Suprimentos	Palavras chaves	Contribuição
Quintão, 2003	Não há	Não há	Indicadores de desempenho logístico; Cadeia de suprimentos de refrigerantes e survey.	Com participação de 54 empresas de indústria de refrigerantes, a metodologia survey mostrou que a cadeia de refrigerantes utiliza mais os indicadores de desempenho que avaliam a logística interna do que os que avaliam a logística externa.
Beamon, 1998	Não há	Serial Multi-Nível	Cadeia de suprimentos; Produção; Distribuição; Logística.	Revisão de modelos e métodos existentes de cadeias de suprimentos e identificação de tópicos para futuras pesquisas que facilitará o avanço do conhecimento e da prática na área de projeto e análise de cadeias de suprimentos

FONTE: Os autores

2 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa implementada neste projeto é composta de pesquisa exploratória (pela presença de levantamento bibliográfico e estudos de casos) e da pesquisa explicativa (pela proposta de soluções para o problema de gestão da cadeia de suprimentos e comparação através de experimentos). De um modo geral, pretende-se dizer por que um determinado fenômeno (por exemplo, as incertezas: do modelo, da demanda e do *lead time*) presente em cadeia de suprimentos é produzido. Para isto, será necessário definir inicialmente objetivos e obter informações adicionais sobre o assunto. Neste nível, a pesquisa é realizada por meio de estudos bibliográficos (para explicar o fenômeno a partir de referências teóricas publicadas em documentos, analisando as contribuições científicas do passado e presente sobre o assunto). Na sequência, mediante da construção de hipóteses e soluções, parte-se para a pesquisa explicativa (experimental), obtendo assim uma nova percepção do mesmo e descobrir novas ideias. Neste projeto, pretende-se simular o comportamento dinâmico de uma CSS. As métricas de desempenho têm a função de quantificar o comportamento dos níveis e elos da CSS (PACHECO et al., 2015). Na figura 2, apresenta-se o modelo de CSS.

FIGURA 2 – Cadeia de suprimentos serial (CSS)



FONTE: Os autores

3 SIMULAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS SERIAL

Assume-se que o fluxo de informação da demanda entre os elos da CS é assimétrico, ou seja, não existe certeza sobre a sua dinâmica. Os dados reais estão baseados em históricos mensais a partir de 2001 até 2010 totalizando 120 meses. Assume-se na simulação que [p/m] representa produto(s) por mês. Utilizou-se a técnica de distribuição de frequência (histograma) para identificação dos dados históricos, onde foram estimadas as médias e os desvios padrões, e como critério de análise o teste não paramétrico de *Kolmogorov-Smirnov* (inferência de dados) para um nível de significância de $\alpha = 0,05$. O p-valor (*p-value*) estimado é superior a 0.08 em todos os meses 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 distribuição normal. A distribuição de probabilidade Normal foi ajustada pelo software estatístico *Minitab* (RYAN; JOINER, 2001).

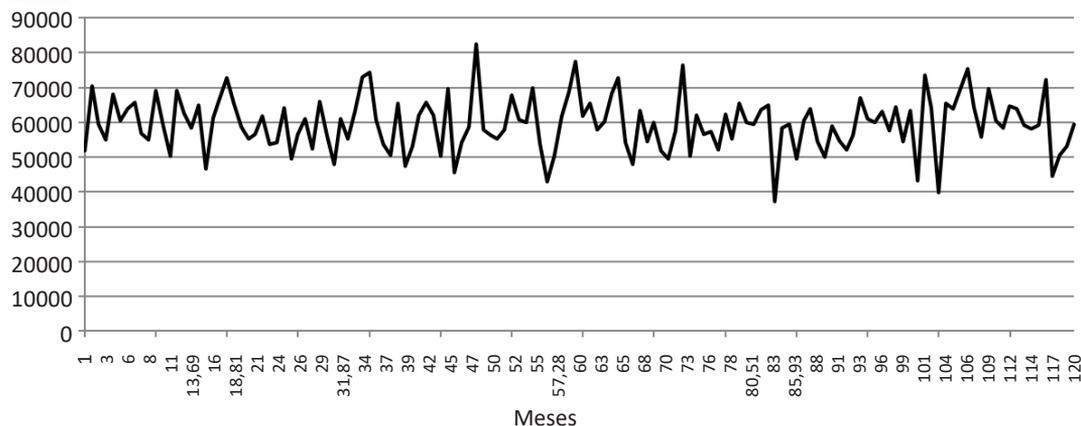
Dois grupos de simulação (A e B) foram implementados, correspondente a Tabelas 1. As Figuras 3 e 4 ilustram as demandas de mercado. O objetivo é investigar as possíveis alterações do comportamento dinâmico da CSS causadas pela variação da demanda média de mercado consumidor. A política de controle utilizada na simulação é a (*r,S*) caracterizada como *Order-Up-To-Level (OUTL)* em sistema de revisão contínua, veja a Figura 2.

Tabela 1 – Demanda de mercado caracterizada pela distribuição normal para os cenários dos Grupos (A e B) com desvio igual a 17619 [p/m]

Grupos	Demanda [p/m]
A	Normal (60000, 17618)
B	Normal (75000, 17618)

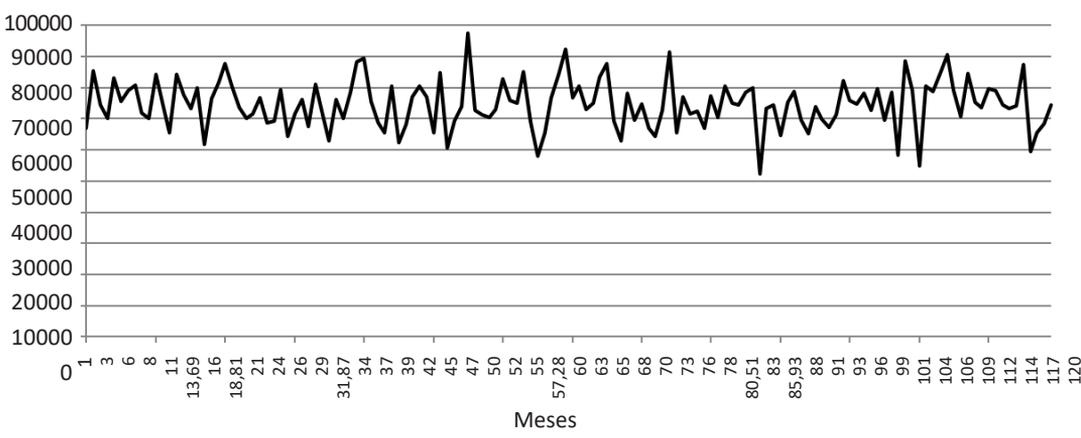
FONTE: os autores

FIGURA 3 – Gráfico da demanda de mercado Grupo (A)



FONTE: Os autores

FIGURA 4 – Gráfico da demanda de mercado Grupo (B)



FONTE: Os autores

A tabela 2 mostra os parâmetros que configuram a CSS para os cenários de simulação. A demanda prevista atua diretamente no estoque varejista, o nível de reposição representa a política de controle (r,S) . O estoque de segurança é definido utilizando o modelo discutido no trabalho de Evers (1999). O *lead time* é caracterizado como o tempo de entrega do produto entre os níveis das CSS. O nível de serviço ao cliente é considerado de 95% para todos os níveis da CSS.

TABELA 2 – Parâmetros para os três níveis da CSS

Parâmetros	Unidade	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Demanda	[p/m]	67930	67930	67930
Nível de Reposição	[p]	680432	416864	498491
Estoque de Segurança	[p]	69062	77214	91361
Lead Time	[m]	4	3	2

FONTE: Os autores

A Tabela 3 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 3 – Parâmetros de simulação

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

FONTE: Os autores

3.1 PRESSUPOSTOS DA SIMULAÇÃO

Neste artigo 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 ressurgimento;
- II. Os estoques por nível da CSS foram parametrizadas com base na política de controle (r,S) em sistema de revisão contínua;
- III. Somente o nível varejista está sob ação da demanda;
- IV. A demanda de mercado assume valor médio previsto de 67930 [p/m] 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. Os estoques da CSS são parametrizados a cada início do novo período produtivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da medição de desempenho da cadeia de suprimentos para dois grupos distintos através das métricas evidenciadas na revisão teórica apresentada, pode-se considerar que com a variação da média, conforme a tabela 1, as métricas de desempenho variaram diferenciando o comportamento ao longo da cadeia de suprimentos, como mostrado na Tabela 4 e Tabela 5.

TABELA 4 – Métricas de desempenho para o Grupo [A]

Nível da CSS	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média do Estoque	293905 ± 3751	360453 ± 3880	443843 ± 3023
Desvio Padrão do Estoque	121803 ± 2162	135098 ± 1891	133704 ± 1118
Lote de Reposição	359373 ± 4418	346546 ± 3463	333495 ± 3073
Desvio Padrão do Lote de Reposição	79364 ± 6425	102337 ± 3436	119475 ± 2333
BullWhip Effect	20,29	33,74	45,98
Nível de Serviço ao Cliente	0,9835	0,9345	1,0000

FONTE: Os autores

TABELA 5 – Métricas de desempenho para o Grupo [B]

Nível da CSS	Varejista	Distribuidor	Manufatura
Média do Estoque	231104 ± 5447	345717 ± 2705	430392 ± 3349
Desvio Padrão do Estoque	137605 ± 4425	155804 ± 3839	153645 ± 2037
Lote de Reposição	392120 ± 2768	379218 ± 2164	366012 ± 2060
Desvio Padrão do Lote de Reposição	82175 ± 5828	108639 ± 4067	128310 ± 2690
BullWhip Effect	21,75	38,02	53,04
Nível de Serviço ao Cliente	0,9665	0,9243	0,9993

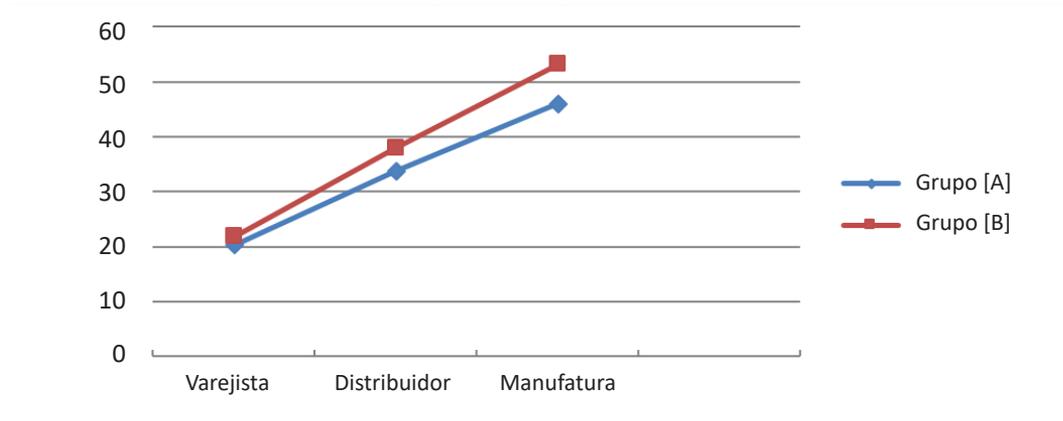
FONTE: Os autores

Como apresentado na Tabela 4 e Tabela 5, para ambos os grupos o comportamento da média de estoque ao longo da cadeia de suprimentos foi diferente nos três níveis, sendo a maior média de estoque no primeiro elo da cadeia, o de manufatura. A menor média ocorreu no último elo da cadeia, isto se deve ao fato de a cadeia apresentar desvios de demanda, em varejista.

Quanto ao desvio padrão do estoque, este foi maior no elo do distribuidor, pois é o ponto da cadeia que mais sofre impacto da variação do estoque, tanto do lado de fornecimento (manufatura), quanto do lado de clientes (varejista).

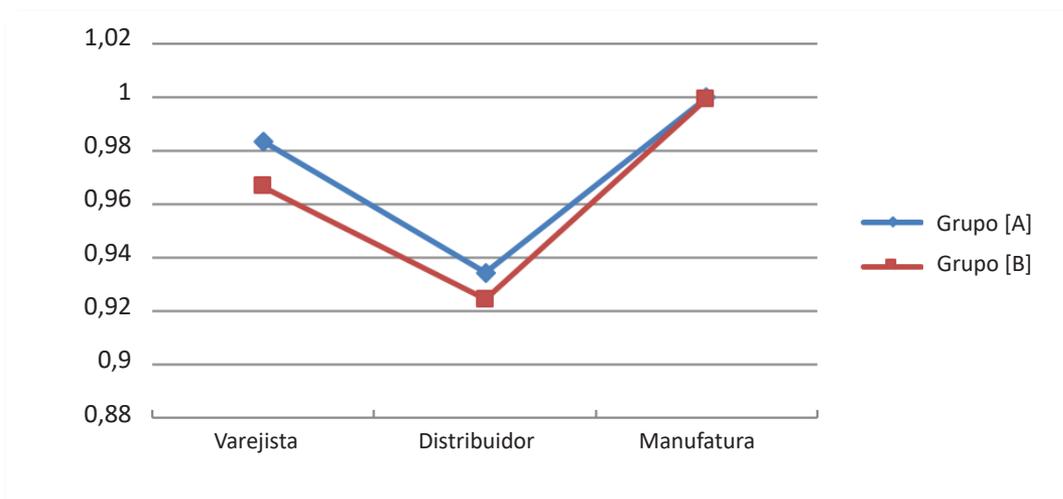
O lote de reposição para este grupo deve ser maior no elo varejista, pois este já sofreu todos os impactos de estoque dos elos anteriores, assim como o desvio padrão do lote de reposição é menor neste elo.

FIGURA 5 – Gráfico do Efeito Chicote (*BullWhip Effect*)



FONTE: Os autores

FIGURA 6 – Gráfico do Nível de Serviço ao Cliente (*Fill Rate*)



FONTE: Os autores

Sendo o efeito chicote a primeira métrica estudada ao longo da cadeia de suprimentos como apresentado na Figura 5, este é significativamente maior no nível da manufatura, pois esta baseia sua produção nos pedidos previstos ou não altera os níveis de produção, enquanto que a flutuação de demanda do último elo da cadeia é absorvido pelo estoque de segurança do elo médio, sendo assim, o elo que absorve a demanda, tende a aumentar seus pedidos para o primeiro elo, produzindo assim um efeito chicote mais significativo no início da cadeia. Este comportamento comprova o impacto negativo sobre a estabilidade dos pedidos recebidos na cadeia de abastecimento.

A segunda métrica demonstra o nível de serviço ao cliente apresentado na Figura 6, onde o nível distribuidor é o menor, pois este trabalha como um filtro de absorção da flutuação de demanda (veja as Tabelas 4 e 5).

CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentada uma discussão sobre o tema métricas de desempenho em cadeia de suprimentos, tendo como base, trabalhos relevantes na literatura acadêmica, ressaltando o efeito chicote e o nível de serviço. Do ponto de vista de política de controle, foi apresentado um quadro cujo objetivo é posicionar as políticas de controle que mais se destacam na literatura acadêmica. Um modelo de simulação em sistema de revisão contínua, fundamentado na política de controle *OUTL*, é utilizado para comprovar o desempenho da cadeia de suprimentos serial. Os resultados do efeito chicote destacam que para variações da média da demanda de mercado na ordem de $\pm 10\%$, produziram-se variações na ordem de $\pm 20\%$ no nível da manufatura. Do ponto de vista do nível de serviço, observa-se que o nível distribuidor não mantém o nível de serviço na ordem de 95%, caracterizando que uma parcela significativa das flutuações é absorvida. Sugere-se uma investigação mais aprofundada, utilizando novas métricas (veja Quadro 1) e simulações para confirmar o comportamento deste fenômeno.

REFERÊNCIAS

- AKYUZ, G. A.; ERKAN, T. E. Supply chain performance measurement: a literature review. **International Journal of Production Research**, Ankara, v. 48, n. 17, p. 5137-5155, Aug. 2009.
- 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, Nov. 2009.
- BADIN, N. T.; NOVAES, A. G.; DUTRA, N. G. S. Integração da cadeia de suprimentos na indústria automobilística. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2003.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BEAMON, B. M. Supply chain design and analysis: models and methods. **International journal of production economics**, Cincinnati, v. 55, n. 3, p. 281-294, Aug. 1998.
- CANNELLA, S. et al. Metrics for bullwhip effect analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 64, n. 1, p. 1-16, Dec. 2013.
- 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, Dec. 2007.
- 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, Mar. 2000.
- CIGOLINI, R. et al. Linking supply chain configuration to supply chain performance: A discrete event simulation model. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 40, p. 1-11, Sept. 2014.
- COSTA, J. C.; RODRIGUEZ, J. B.; LADEIRA, W. J. A gestão da cadeia de suprimentos: teoria e prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005.
- DIAZ, C. A. P.; PIRES, S. R. I. Variação da demanda ao longo da cadeia de suprimentos: o efeito da amplificação da demanda. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2003.
- DOMINGUEZ, R.; CANNELLA, S.; FRAMINAN, J. M. On returns and network configuration in supply chain dynamics. **Transportation Research**, Part E, v. 73, p. 152-167, Jan. 2015a.
- _____.; _____.; _____. Serial vs. divergent supply chain networks: a comparative analysis of the bullwhip effect. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 52, p. 2194-2210, Oct. 2014.
- _____.; _____.; _____. The impact of the supply chain structure on bullwhip effect. **Applied Mathematical Modelling**, v. 39, n. 23, p. 7309-7325, Dec. 2015b.
- EVERS, P. T. The effect of lead times on safety stocks. **Production and Inventory Management Journal**, v. 40, n. 2, p. 6-10, 1999.
- FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. Cambridge, Mass: MIT, 1961.

GONZALEZ, I. V. D. P. et al. Consequências do efeito chicote: um estudo de caso em um fabricante de embalagens. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 8., 2001, Resende. **Anais...** Resende, 2011.

HARRIS, F. W. **Operations and cost (Factory Management Series)**. Chicago: Shaw, 1915.

LEE, H. L.; PADMANABHANV, V.; WHANGS, S. The bullwhip effect in supply chain. **Sloan Management Review**, v. 38, n. 3, p. 93-102, 1997.

PACHECO, E. O. **Uma política de controle dinâmico de estoques em uma cadeia de suprimentos serial com incerteza na demanda de mercado usando eventos discretos**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

PACHECO, E. O. et al. 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.

PACHECO, E. O.; LÜDERS R.; PÓVOA, A. P. B. Performance metrics for a supply chain subject to stochastic demand. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND SYSTEMS MANAGEMENT (IESM), 2015,. **Proceedings...** 2015. p. 823-31.

QUINTÃO, R. T.; CONCEIÇÃO, S. V.; DRUMOND, M. F. B. Avaliação da utilização de indicadores logísticos de desempenho na cadeia brasileira de suprimentos de refrigerantes. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2003.

RYAN, B. F.; JOINER, B. L. **Minitab handbook**. Pacific Grove: Duxbury, 2001.

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, Mar. 2012.

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, Apr. 1994.

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. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2003.

WILSON, R. H. A Scientific routine for stock control. **Harvard Business Review**, v. 13, n. 1, p. 116-128, 1934.

