

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ALINE HEIDERICH LEÃO BORGES

**ANÁLISE DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES EM UMA
EMPRESA DO SETOR SIDERÚRGICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE
MONTE CARLO**

**VITÓRIA
2017**

ALINE HEIDERICH LEÃO BORGES

**ANÁLISE DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES EM UMA
EMPRESA DO SETOR SIDERÚRGICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE
MONTE CARLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Marta Monteiro da Costa Cruz

VITÓRIA

2017

ALINE HEIDERICH LEÃO BORGES

**ANÁLISE DE POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES EM UMA
EMPRESA DO SETOR SIDERÚRGICO UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE
MONTE CARLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia de Produção
do Centro Tecnológico da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito parcial para
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
de Produção.

Aprovada em ____ de _____ de ____.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Marta Monteiro da Costa Cruz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Gibson Barcelos Reggiani
Universidade Federal do Espírito Santo

Mônica Nogueira de Moraes

À memória de meu pai, Luciano Leão Borges.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha mãe, pelo esforço depositado em minha educação e pelo incentivo de sempre. Ao Guilherme, pelo apoio e compreensão durante todo este trabalho. À Universidade Federal do Espírito Santo pelas oportunidades e professores que me capacitaram e contribuíram para minha formação. À todas as pessoas envolvidas nesta trajetória, muito obrigada.

RESUMO

O balanceamento de estoques em cadeias de suprimentos complexas, sujeitas às incertezas na demanda e à alta variedade de produtos, é um importante processo que engloba decisões estratégicas significativas para a performance do sistema, podendo afetar o nível de serviço ao cliente e os custos. A concepção de políticas de gestão de estoques auxilia nas tomadas de decisões de quando repor estoques, em quais quantidades e quanto deve ser mantido em estoque de segurança. Este trabalho simula um modelo de gestão de estoques de produtos acabados de uma empresa do setor siderúrgico, a fim de analisar os efeitos que alterações no tamanho de lote, ponto de pedido e estoque de segurança, causam no sistema, utilizando como ferramenta o Microsoft Excel em conjunto com @Risk. Para sistematizar o modelo é empregado o método de Monte Carlo, o qual possibilita a construção de cenários a partir da geração de variáveis aleatórias aderentes a uma distribuição de probabilidade. Os resultados obtidos através das simulações realizadas permitem quantificar os impactos de escolha dos parâmetros da política de gestão de estoques proposta, por meio de indicadores de desempenho de custo e nível de serviço.

Palavras-chave: Gestão de estoques. Políticas de ressuprimento. Simulação de Monte Carlo. @Risk.

ABSTRACT

Inventory smoothing in complex supply chains, subjected to the uncertainties in demand and the high variety of products, is an important process that includes strategic decisions that are significant for system performance and can affect the level of customer service and costs. The understanding of inventory management policies assists in making decisions regarding the moment and quantity of inventory to be replenished, and the amount that should be kept in safety stock. This paper simulates an inventory management model of finished products of a steel company in order to analyze the effects of changes in lot size, order point and safety stock in the system, using Microsoft Excel in conjunction with @Risk as a tool. To systematize the model, the Monte Carlo method is used, which allows the construction of scenarios from the generation of random variables adhering to a probability distribution. The results obtained through the simulations allow quantifying the impacts of choosing the parameters of the proposed inventory management policy, through performance indicators of cost and service level.

Keywords: Inventory management. Replenishment policy. Monte Carlo simulation. @Risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas para o planejamento de estoques	20
Figura 2 - Representação gráfica da quantidade econômica de pedido.....	22
Figura 3 - Cadeia de suprimentos da Empresa	32
Figura 4 - Representação do modelo (Q,PP) em gráfico dente de serra.....	34
Figura 5 - Fluxograma da lógica do modelo de simulação.....	35
Figura 6 - Coleta de dados de demanda da loja.....	38
Figura 7 - Distribuição de probabilidade da demanda do produto A	40
Figura 8 - Distribuição de probabilidade da demanda do produto B	40
Figura 9 - Análise do número de replicações.....	42
Figura 10 - Validação do modelo	43
Figura 11 - Médias dos indicadores de custo para cada par Q, k do Produto A	46
Figura 12 - Médias dos indicadores de custo para cada par Q, k do Produto B	48
Figura 13 - Trade-off Serviço x Custo	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores do coeficiente k para níveis de serviço em probabilidades percentuais	27
Quadro 2 - Premissas do modelo	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Solução analítica do modelo.....	43
Tabela 2 - Cenários simulados.....	44
Tabela 3 - Médias dos indicadores de nível de serviço e estoque para cada par Q, k do Produto A	45
Tabela 4 - Médias dos indicadores de nível de serviço e estoque para cada par Q, k do Produto B	47
Tabela 5 - Análise do ponto de pedido ótimo para nível de serviço estabelecido.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Bobina
G	Grupo de vendas
JIT	Just in time
LEC	Lote econômico de compra
MCU	Margem de contribuição unitária
PA	Produto acabado
PNFP	Probabilidade de não faltar produto
SKU	Stock Keeping Unit

LISTA DE SÍMBOLOS

D	Demanda por unidade de tempo
Cp	Custo por pedido/ressuprimento
Cm	Custo unitário do material
i	Taxa de oportunidade do capital
Q	Tamanho do lote
PP	Ponto de pedido
TR	Tempo de ressuprimento
ES	Estoque de segurança
NR	Nível de reposição
IR	Intervalo de revisão para colocação de pedido
k	Coeficiente de fator de risco, ou a quantidade de desvios padrão
S	Desvio padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento
sD	Desvio padrão da demanda
sTR	Desvio padrão no tempo de resposta
E	Estoque
PE	Posição do estoque
VP	Vendas perdidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVO	16
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	ESTOQUES	17
2.2	POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES	21
2.2.1	Tamanho do lote de reposição	22
2.2.2	Revisão Contínua x Revisão Periódica	23
2.2.3	Estoque de segurança	25
2.3	SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO.....	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	ETAPAS DO TRABALHO	29
4	MODELO DE SIMULAÇÃO.....	32
4.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	32
4.2	MODELAGEM CONCEITUAL.....	33
4.2.1	Coleta e tratamento de dados	38
4.3	MODELAGEM COMPUTACIONAL	39
4.3.1	Tamanho da corrida de simulação	41
4.3.2	Número de replicações	41
4.4	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	42
4.5	EXPERIMENTAÇÃO.....	43
5	RESULTADOS E ANÁLISE	45
6	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	APÊNDICE A – Tela inicial da planilha com a lógica da simulação	56

1 INTRODUÇÃO

O estoque possui papel importante nas empresas uma vez que é visto como um recurso produtivo que irá agregar valor para o consumidor, ao final da cadeia de suprimentos (MARTINS e ALT, 2005). Consequentemente, o gerenciamento eficaz dos estoques facilita na obtenção de vantagem competitiva da empresa em relação à concorrência, assim como possibilita atender aos clientes com rapidez, no momento e quantidade desejada.

Estoque pode ser brevemente definido como “qualquer recurso armazenado” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Estes recursos representam um significativo ativo e geram custos de manutenção de inventário. Em função disso, os estoques exercem grande influência na rentabilidade e impactam diretamente nos resultados da empresa. Entretanto, Ching (2010) ressalta que trabalhar com estoque torna-se cada vez mais inevitável para as empresas devido as incertezas das demandas de produtos ou serviços. Gestão de estoques torna-se, dessa forma, assunto crítico para todo o planejamento empresarial.

Ballou (2006) evidencia que a principal razão em gerenciar estoques está em melhorar o nível de serviço ao cliente e reduzir custos logísticos. Gerenciar estoques é balancear a disponibilidade de produtos, de forma a minimizar os custos de abastecimento, no entanto, deve-se assegurar o suprimento adequado para atender as necessidades de demanda dos clientes. Para isso, é necessário o uso de ferramentas de controle que determinem em quais níveis, e com que frequência, os estoques devem ser repostos. Identificar o momento de se realizar um novo pedido de materiais para evitar falta de estoque é um dos grandes desafios enfrentados pelas empresas.

Serão demonstrados e discutidos neste trabalho alguns dos métodos de planejamento já desenvolvidos que oferecem suporte e auxiliam nas decisões sobre políticas de estoques, como o lote econômico de compras, revisão periódica, revisão contínua e estoque de segurança. A finalidade é apresentar a solução de um problema prático de controle de estoques pela aplicação de técnicas combinadas e utilização de modelagens e simulação, objetivando a otimização dos estoques da empresa estudada, que possui uma extensa variedade de produtos acabados.

A relevância no tema do trabalho está na dificuldade em relação ao controle de estoques nas organizações em geral, principalmente na empresa estudada, visto que o método de gerenciamento de estoques utilizado atualmente causa problemas de alto volume de estoque parado, sem giro, bem como perdas nas vendas por falta de estoque. Em consequência, acarreta em custos e pode trazer desvantagens competitivas para a organização.

1.1 JUSTIFICATIVA

A importância da gestão de estoques para o gerenciamento da cadeia de suprimentos tem se tornado cada vez mais evidente tanto no meio empresarial quanto no acadêmico (WANKE, 2008). Para sobreviver em ambiente competitivo, as empresas estão constantemente sob pressão para alcançar melhor capacidade de atender a demanda do cliente com um processo mais enxuto. Portanto, o foco em gestão e controle de estoques se justifica pela grande preocupação de entregar o produto ao cliente com qualidade, na data esperada e ao menor custo possível; onde a qualidade e a data esperada são exemplos de fatores agregadores de valor ao produto.

Após a época em que foram desenvolvidos os modelos analíticos para o problema dos estoques seguiu-se um período em que prevaleceu abordagens de planejamento da produção que indicavam sistemas com eliminação dos estoques. Entretanto, Garcia e Ferreira Filho (2009) discutem em seu estudo que atualmente “[...] sistemas mais complexos envolvendo cadeias de suprimento mais longas e portanto sujeitas a maior variabilidade vem requerendo modelos analíticos que permitam tratar a questão dos estoques ao longo da cadeia”.

A motivação do estudo foi levantada pela área de Planejamento da Distribuição de uma empresa siderúrgica, a qual possui mais de mil *Stock Keeping Unit* (SKU) a serem distribuídos em diversas unidades de vendas por todo o Brasil. A grande variedade no número de produtos torna complexa as decisões de quanto pedir, quando pedir e quanto manter em estoque de segurança, entre outros fatores críticos.

A gestão de estoques impacta significativamente nos níveis de serviço ao cliente, como também nos custos totais. Por isso, definir um modelo que otimize a disponibilidade de estoque contribui positivamente nos resultados, tendo em vista que um dos maiores ativos da empresa é o estoque. Ao compor estoques a empresa

imobiliza capital de giro que poderia ser aplicado em projetos internos ou investido no mercado financeiro.

1.2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é analisar políticas de gestão de estoques em uma empresa do setor siderúrgico utilizando simulação de Monte Carlo.

Os objetivos específicos são:

- Identificar na literatura os principais modelos de gestão de estoques.
- Analisar a política de gestão de estoques adequada às características da empresa em estudo.
- Desenvolver um modelo de simulação para reposição de estoques na cadeia de suprimentos da empresa siderúrgica selecionada.
- Simular diferentes cenários para avaliação do comportamento dos indicadores de desempenho, utilizando o método de Monte Carlo.
- Propor melhores valores de tamanho do lote, de quando repor os estoques e quanto manter em estoque de segurança, que minimize os custos respeitando o nível de serviço desejado do sistema.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi organizado em seis capítulos. O primeiro capítulo compreende a introdução do tema, bem como as justificativas e objetivos do estudo. O capítulo 2 consiste no referencial teórico, em que são revisados os principais conceitos relacionados à gestão de estoques e simulação de Monte Carlo. No capítulo 3 define-se a abordagem e metodologia para o desenvolvimento do trabalho. O capítulo 4 contextualiza o estudo de caso e apresenta as atividades associadas à modelagem computacional através do software *@Risk*. O capítulo 5 exhibe os resultados obtidos na simulação e a análise dos cenários em relação ao nível de estoque, custos e nível de serviço. Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTOQUES

Estoque, definido especificamente como “acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação” (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009), ao mesmo tempo em que é oneroso e exige grande quantidade de capital, é imprescindível para garantir a segurança das empresas frente a ambientes incertos e complexos.

Numa cadeia de suprimentos, de acordo com Corrêa e Corrêa (2005), estoques podem estar localizados no processo de operações em forma de matéria-prima, material em processo, produtos acabados e peças de reposição. Os estoques de matéria prima servem como insumo para fornecedores, enquanto estoque de material em processo buscam regular diferentes taxas de produção entre duas máquinas subsequentes. Em relação aos estoques de produtos acabados, compensam o desequilíbrio entre a taxa de fornecimento e de demanda do mercado. Finalmente, as peças de reposição são mantidas para manutenção, reparo e operação.

Estoques existem para suprir a diferença de ritmo entre fornecimento e demanda, visto que dificilmente pode-se prever a demanda futura e raramente encontra-se material disponível no instante em que é desejado. Caso o fornecimento do material acontecesse exatamente no momento em que fosse demandado, não haveria necessidade de ser estocado. Sendo assim, os estoques são necessários para que os processos de produção e distribuição possam ocorrer. O estoque aumenta quando a taxa de fornecimento supera a taxa de demanda, caso contrário, o estoque diminui. A manutenção dos corretos níveis de estoque em que essas taxas são balanceadas proporciona melhor nível de serviço, ou seja, maior probabilidade do produto estar disponível para o cliente no momento da compra (WANKE, 2008). O desafio na gestão de estoques está exatamente em manter esse nível de serviço elevado simultaneamente com custos reduzidos. Ballou (2006) complementa com outros motivos para manter estoques: (i) incentivar a produção, (ii) permitir economias de escala nas compras e no transporte, (iii) proteger contra alterações nos preços dos fornecedores, (iv) proteger contra oscilações na demanda ou no tempo de ressuprimento e (v) proteger contra contingências.

Embora existam várias razões para manter estoques, os custos atrelados a eles impactam diretamente nos resultados das empresas, integrando variáveis importantes na tomada de decisões estratégicas do negócio. Por isso, no gerenciamento de estoques é necessário avaliar se os benefícios gerados compensam os custos causados pelo estoque.

Operar com baixo custo torna-se, portanto, quesito fundamental para busca de vantagem competitiva, tão almejada pelas organizações atualmente. Este objetivo é mais facilmente alcançado a partir do entendimento dos elementos fundamentais dos custos associados a estoques nas cadeias de suprimentos, os quais podem ser divididos em três categorias (BALLOU, 1993; BOWERSOX e CLOSS, 2001):

- Custo de manutenção de estoques – relativo ao tempo e quantidade de material estocado. Compreendem os custos de inventário, impostos, seguros de incêndio e roubo, depreciação, obsolescência e, o mais expressivo, custo de oportunidade de capital.

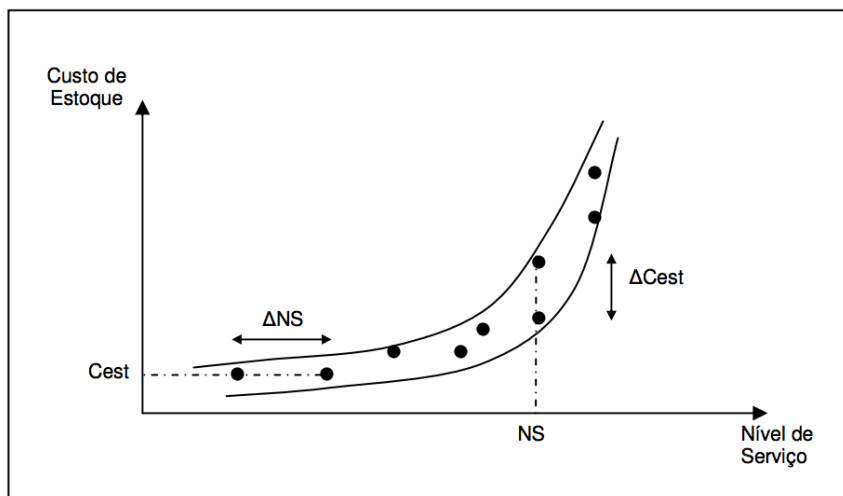
O custo de oportunidade é o capital imobilizado em estoque que poderia ser investido em outros negócios. De acordo com LIMA (2003), este custo pode ser calculado de forma abrangente pela multiplicação do valor do material pela taxa de oportunidade de capital (i) da empresa, sendo esta taxa o valor percentual sobre qual o capital seria remunerado caso fosse aplicado. LIMA (2003) ainda ressalta que, para o cálculo do custo de oportunidade nas indústrias serão considerados apenas os custos variáveis como valor do estoque, pois os custos fixos serão imobilizados independentemente do volume de produção. A relevância do custo de capital giro está no volume de material armazenado que torna a manutenção de estoques dispendiosa, devido a altas taxas de juros praticadas pelo mercado, principalmente no Brasil. Além disso, nem sempre esse custo é facilmente determinado pois muitas empresas possuem dificuldades em estimar sua taxa de oportunidade de capital (SILVA, BARBOZA e MARUJO, 2008).

Estão contemplados também nesta categoria os custos de armazenagem, sendo aqueles associados à armazenagem física dos materiais de maneira adequada. Como exemplo são os custos com as instalações, climatização, iluminação, custo com pessoal do armazém, etc.

- Custo de pedido – estão inclusos nesta categoria os custos de processamento de pedidos, preparo e transmissão de pedidos, envio do pedido ao fornecedor, custo de qualquer tipo de movimentação de material e custos gerais de manter todas as informações.
- Custo de falta de estoque – custo de vendas perdidas por falta de estoque ou devido às falhas de fornecimento (atraso). Estas falhas na disponibilidade do produto causam transtorno ao cliente podendo levar ao cancelamento do pedido e/ou prejudicar a imagem da empresa. Wanke (2008) afirma que o custo da falta pode ser calculado por, pelo menos a margem de contribuição unitária (MCU) de cada produto não vendido, isto é, o custo da falta é quanto se deixa de ganhar quando falta uma unidade de produto em estoque. A MCU é aqui definida como a diferença entre o preço de venda do produto e seus custos variáveis.

A relação entre o custo da falta e o custo do excesso de um produto é crucial para determinar a política de estoque de uma operação. O custo do excesso considera os custos referentes à sobra de uma unidade em estoque, por isto é equivalente ao custo de manter um item em estoque, ou seja, o custo de manutenção (LIMA 2003). Baseado nestes conceitos pode-se concluir que quanto maior o custo de excesso, menor será o nível de estoque e quanto maior o custo da falta maior será a tendência de se proteger contras as incertezas utilizando estoques. Visto que os custos de manutenção estão associados aos custos variáveis, empresas que possuem parcela de custo variável bem acima dos custos fixos tendem a diminuir seus estoques, pois o custo de excesso será alto e a MCU baixa, caso contrário, empresas com grandes percentagens de custos fixos, irão gerar maiores volume de estoque. Ballou (1993) contrasta esta análise com o nível de serviço. Na medida em que aumentam as quantidades estocadas os custos de manutenção aumentam, porém será necessária uma menor quantidade de pedidos, com lotes maiores, para manter os níveis de estoques necessários para atender às necessidades dos clientes. A Figura 1 demonstra o *trade-off* entre custo dos estoques e nível de serviço, com destaque para o fato de que um mesmo custo existe a possibilidade de diferentes níveis de serviço e vice-versa, dependendo de diversos fatores para a formação destas regiões.

Figura 1 - Curvas para o planejamento de estoques



Fonte: Ballou (1993)

O nível de serviço estabelece os níveis de desempenho desejado para o atendimento às necessidades do mercado (BOWERSOX e CLOSS, 2001). Está relacionado com agregação de valor ao cliente. Caso seja estabelecido um nível de serviço de 95% significa que em 95% dos ciclos de ressuprimento toda demanda do cliente será atendida e nos outros 5% dos ciclos ocorre o esgotamento do estoque. Pode ser medido através da probabilidade de não ocorrer falta de estoque em um ciclo de ressuprimento. Outras métricas também podem ser adotadas como *fill-rate* (taxa de atendimento) e taxa de ruptura, que serão abordadas mais adiante neste trabalho. Entretanto, recomenda-se a utilização combinada desses indicadores para medir o nível de serviço. Outro aspecto evidenciado por Ballou (1993), refere-se ao fato de nem todos clientes ou produtos necessitarem ser atendidos pelo mesmo nível de serviço. Uma forma bastante utilizada para diferenciar o controle de estoques por produtos é a Classificação ABC (regra 80/20), método de diferenciação dos estoques segundo sua maior ou menor abrangência em determinado fator (volume, demanda valorizada, peso, etc), consistindo em separar os produtos conforme sua importância relativa (TUBINO, 2000). Desta forma, se prioriza um maior nível de serviço para os produtos mais importantes e para aqueles menos significativos pode-se controlar de maneira mais simples.

2.2 POLÍTICAS DE GESTÃO DE ESTOQUES

As atividades referentes à compra, produção e venda de produtos formam um conjunto de operações complexas e dinâmicas, que devem ser gerenciadas. O ponto fundamental da gestão de estoques é balancear adequadamente os estoques em relação às incertezas do mercado e à satisfação do cliente, otimizando-se os recursos disponíveis e minimizando os estoques e custos, além de evitar situações de itens superdimensionados coexistindo com a falta de outros importantes (POZO, 2010). Política de estoque pode ser definido, de acordo com Bowersox e Closs (2001, p.228) como “normas sobre o que comprar ou produzir, quando acionar e em quais quantidades, podendo incluir também decisões de posicionamento e alocação de estoques em fábricas e centro de distribuição”.

Wanke (2008) divide a administração de estoques em quatro principais decisões, são elas:

- Onde localizar: refere-se à localização dos estoques quanto ao grau de centralização na cadeia de suprimentos;
- Quanto pedir: definição do tamanho dos lotes de reposição;
- Quando pedir: determina em que momento o pedido de ressuprimento será feito;
- Quanto manter em estoque de segurança: estabelece a quantidade de estoque que deve ser mantido para suportar as variações aleatórias da demanda e *lead time*.

Quanto à decisão de onde localizar, o nível de centralização dos estoques pode variar de um único centro de distribuição, corresponde a um alto grau de centralização, até vários armazéns próximos dos clientes, significando baixo grau de centralização. Há duas ideias conflitantes que dificultam as decisões sobre localização: manter estoques no início da cadeia que permitem que menos valor seja agregado ao material. Já no caso de estoques na ponta, permitem uma maior velocidade de atendimento aos clientes (DIAS, 2003). Segundo Wanke (2008) o grau de centralização vai depender das características de giro de estoque (indica a rotação dos produtos no estoque, calcula-se pela divisão da demanda pelo nível médio dos estoques), tempo de atendimento, nível de serviço e custo unitário de aquisição. Quanto maior for o giro de

estoques menor serão os riscos de obsolescência e depreciação, resultando numa maior tendência à descentralização. Estoques localizados próximos aos consumidores pela descentralização reduz o tempo de atendimento e aumenta o nível de serviço aos clientes. Ao contrário dos três aspectos anteriores, custos unitários de aquisição elevados tendem à centralização, pois implicam em altos custos de oportunidade de capital.

2.2.1 Tamanho do lote de reposição

Um dos primeiros métodos para controlar estoques, o Lote Econômico de Compra (LEC), proposto por Ford Whitman Harris, obtém a quantidade ótima a ser solicitada em função dos custos de fazer um pedido e de manutenção do estoque. O cálculo para o tamanho de lote econômico é dado segundo a Equação 1 (HARRIS, 1913):

$$LEC = \frac{\sqrt{2 \times D \times Cp}}{i \times Cm} \quad (1)$$

Onde:

D - demanda por unidade de tempo

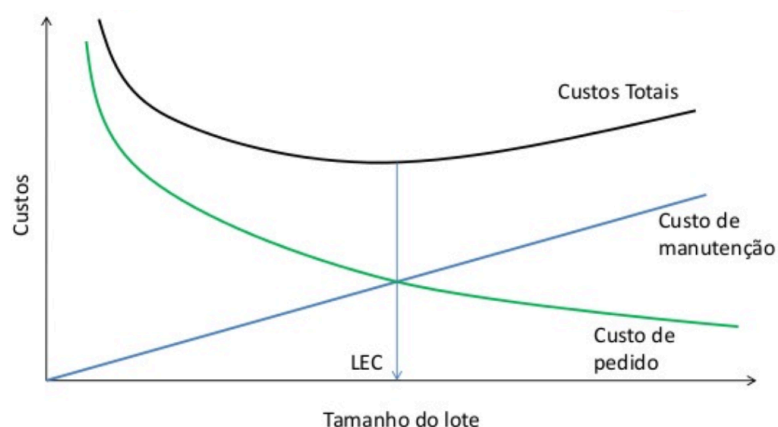
Cp - custo do pedido/ressuprimento

i - taxa de oportunidade do capital

Cm - custo unitário do material

$i \times Cm$ - custo de manutenção/armazenagem

Figura 2 - Representação gráfica da quantidade econômica de pedido



Fonte: Adaptada de Slack, Chambers e Johnston (2009)

Os pressupostos exigidos dificilmente são encontrados na prática, principalmente em situações de demanda instáveis, sendo fatores limitantes da utilização do LEC. Wild (2002) argumenta que o método deve ser utilizado somente quando não há outra alternativa, pois resulta em um nível de estoque geralmente elevado. A mais fundamental crítica da abordagem LEC, discutida por Slack, Chambers e Johnston (2009), está na ênfase reativa do modelo em definir uma quantidade de pedido ótima a partir da diminuição de custos enquanto deveria focar na redução do nível total de estoques conforme a filosofia JIT (*just in time*). Já Wanke (2008) defende que as gestões se complementam: “[...] empresas líderes perceberam não apenas a importância de reduzir estoques, mas a necessidade de aperfeiçoar continuamente o ressurgimento dos pedidos, através de menores custos fixos e tempos de resposta [...]. Independente das problemáticas apresentadas torna-se inegável a contribuição da abordagem do LEC para o gerenciamento do *trade off* existente nos estoques. Além disso, inúmeras variações oriundas deste método caminham na direção de aproximá-lo às condições vivenciadas na prática (ROSA, MAYERLE e GONÇALVES, 2010).

2.2.2 Revisão Contínua x Revisão Periódica

O momento de emitir um pedido de ressurgimento irá depender da política de gestão de estoques adotada. As duas abordagens tradicionais são: Revisão Contínua e Revisão Periódica. A seguir, é apresentada uma descrição dessas políticas.

Na **Revisão Contínua (Q,PP)**, também chamada de *continuous review model*, *reorder point policy*, *(Q,r) model*, *fixed order quantity system*, o ressurgimento de estoques pode ser realizado a qualquer momento e requer um monitoramento constante do nível de estoque disponível (RAO, 2003).

Consiste em estabelecer um nível fixo de reposição que, ao ser atingido, emite um novo pedido de quantidade (Q), também fixa, pré-definida. A este nível fixo chamamos de ponto de pedido (PP). Em síntese, eis o que ocorre: um item é recebido para armazenamento, elevando seu nível de estoque disponível. Conforme o decorrer do tempo, este item é consumido até que o nível de estoque chegue a um determinado valor, o ponto de pedido, em que é disparada uma nova ordem de ressurgimento (SILVA, BARBOZA e MARUJO, 2008).

O intervalo entre pedidos nestes modelos é variável, dependendo somente do atingimento do ponto de pedido (PP). O ponto de pedido é o nível de estoque necessário para suprir a demanda durante o tempo de ressuprimento (*lead time*). Devido às incertezas tanto da demanda quanto do lead time o estoque de segurança é acrescido ao PP para garantir a disponibilidade dos produtos em estoque. Desta forma, o PP pode ser calculado pela Equação 2 a seguir (TUBINO, 2000):

$$PP = D \times TR + ES \quad (2)$$

Em que:

D - demanda por unidade de tempo

TR - tempo de ressuprimento

ES - estoque de segurança

Tubino (2000) discute que, esta política não está necessariamente vinculada ao uso do LEC, a quantidade Q pode ser estabelecida de acordo com algum critério de interesse prático. Entretanto, Rosa, Mayerle e Gonçalves (2010) ressaltam em seus estudos a conveniência de repor os estoques em tamanhos econômicos.

Na política de **Revisão Periódica (NR,IR)**, também conhecida como *periodic review model*, *periodic order model*, *(R,T) model*, *fixed reorder cycle system*, os estoques são monitorados em intervalos regulares e fixos de tempo (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009). A reposição é realizada a cada período ótimo definido (IR) e a quantidade solicitada (NR) varia de acordo com o consumo do período anterior. Por exemplo, a cada 20 dias o nível de estoque é checado e se pede uma quantidade para recompor o estoque até um patamar pré-estabelecido. Não há a necessidade de pontos de pedido e tamanhos de lote fixos (WANKE, 2008).

Uma das vantagens desta abordagem é a possibilidade de escolha do intervalo de forma a coincidir com a emissão de pedidos de vários produtos e contribuindo para a diminuição dos custos em transporte (NOVAES, 2004). Contudo, o intervalo pode ser determinado de maneira a obter o intervalo ótimo entre pedidos que, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), é normalmente calculado de forma determinística, derivada do LEC, conforme a Equação 3:

$$IR = \frac{LEC}{D} \quad (3)$$

Vale ressaltar que a quantidade para ressuprimento será a diferença entre o nível de reposição e a posição do estoque efetiva. Este nível de reposição (NR) pode ser determinado pela Equação 4 (WANKE, 2008):

$$NR = D \times (IR + TR) + ES \quad (4)$$

Em que:

D - demanda por unidade de tempo

IR - intervalo de revisão para colocação de pedido

TR - tempo de ressuprimento

ES - estoque de segurança

A escolha entre qual política adotar para o gerenciamento de estoques irá depender das vantagens quantitativas e qualitativas percebidas entre elas e as características do produto e operação. Geralmente, a revisão periódica é mais implementada pelas empresas devido a facilidade, já mencionada, em emitir vários pedidos aos mesmo tempo, permitindo consolidação de cargas e economia nos custos de colocação de pedido. Além disso, pode ser aplicado em ambientes pouco informatizados por não precisar do monitoramento contínuo do nível de estoque como nos sistemas de revisão contínua e, conseqüentemente, proporciona menores custos de controle de estoques (SILVA, BARBOZA e MARUJO, 2008). Por outro lado, a revisão contínua possibilita operar com estoque médios ligeiramente mais baixos e em situações de alto *lead time* (WANKE, 2008). Uma das vantagens desta política, evidenciada por Ching (2010), quando comparada com a de revisão periódica é a redução na probabilidade de falta de produto, pois o ponto de pedido auxilia na gestão da quantidade adicional de estoque necessária contra as variações da demanda e do tempo de ressuprimento.

2.2.3 Estoque de segurança

No âmbito da administração de estoques as decisões de quanto pedir e quando pedir já foram definidas, porém, para completar há a necessidade de se estabelecer a

quantidade a ser mantida de estoque de segurança. A função desses estoques é de absorver as variações aleatórias intrínsecas à demanda e ao tempo de ressuprimento (TUBINO, 2000). Os estoques de segurança agem nos momentos de faltas de produtos no período compreendido entre o momento da colocação do pedido e momento de seu recebimento (WANKE, 2008).

A forma convencional de determinar os estoques de segurança leva em consideração fatores de custo de manutenção (excesso) e custo da falta. Nível de estoque elevado aumenta a disponibilidade do produto, mas onera o custo de manutenção e baixo volume de estoque aumenta o custo da falta. Entretanto, como já foi discutido anteriormente, há uma dificuldade em se determinar precisamente o balanceamento desses custos, o que faz com as decisões sejam tomadas sobre um fator de risco (k) a se assumir em relação ao nível de serviço ao cliente (TUBINO, 2000). Desta forma, a “[...] quantidade adequada em estoque de segurança a ser mantida está vinculada à incerteza da demanda e ao nível de serviço que se pretende oferecer ao cliente” (CHOPRA e MEINDL, 2003). O nível de serviço pode ser relacionado com a quantidade de desvios padrões da demanda no tempo de ressuprimento a serem cobertos por esse estoque. Foi considerado nesse estudo que tanto a demanda como o tempo de ressuprimento comportam-se como variáveis aleatórias independentes e contínuas. Isto posto, o quanto deve ser mantido em estoque de segurança é dado pela equação a seguir (CORRÊA e CORRÊA, 2005):

$$ES = k * S \quad (5)$$

$$S = \sqrt{(TR * S_D)^2 + (D * S_{TR})^2 + (S_D * S_{TR})^2} \quad (6)$$

Em que:

k – coeficiente de fator de risco, ou a quantidade de desvios padrão

S - desvio padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento

TR - tempo de ressuprimento

S_D - desvio padrão da demanda

D - demanda por unidade de tempo

S_{TR} - desvio padrão no tempo de ressuprimento

O nível de serviço em função de valores de k , supondo a demanda durante o tempo de ressuprimento normalmente distribuída, segue conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Valores do coeficiente k para níveis de serviço em probabilidades percentuais

Probabilidade	k
55%	0,13
60%	0,25
70%	0,52
80%	0,84
85%	1,04
90%	1,28
95%	1,65
98%	2,08
99%	2,33
99,99%	3,62

Fonte: Adaptada de Pozo (2010)

A escolha do modelo mais adequado de gestão de estoques a ser implementado deve considerar os aspectos descritos a seguir.

Um modelo de estoques abrange um escopo de decisões com o intuito de coordenar, nas dimensões tempo e espaço, a demanda existente com a oferta de produtos/materiais, de modo que sejam atingidos os objetivos de custo e nível de serviço especificados, observando-se as características do produto, da operação e da demanda (WANKE, 2008, p. 11).

Essas decisões podem envolver o uso de simulações, análises de cenários ou métodos e procedimentos conceituais qualitativos.

2.3 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Inserida na área de conhecimento de pesquisa operacional, simulação é uma representação da operação de um sistema real ou idealizado que compreende a geração de um modelo, num dado período de tempo, e a observação deste para fazer inferências acerca das características do processo real (BANKS, CARSON e NELSON, 1996).

De acordo com Pidd (2003) a simulação tem o benefício de poder modelar o comportamento de sistemas complexos além de permitir a modelagem de fatores aleatórios, que são inviáveis em modelos analíticos. Uma maneira de simular um sistema, sugerida por Buffa (1973), é pelo desenvolvimento de um modelo que utiliza distribuições de frequência conhecido como método de Monte Carlo.

A simulação de Monte Carlo envolve o uso de números aleatórios e probabilidades para analisar cenários e resolver problemas. O método de Monte Carlo surgiu nos Estados Unidos no projeto Manhattan durante a Segunda Guerra Mundial, e recebe este nome em referência aos jogos de azar, popular nos casinos da cidade de Monte Carlo em Mônaco (HAMMERSLEY e HANDSCOMB, 1964). Segundo Lustosa, Ponte e Dominas (2004), consiste em um método que “[...] utiliza a geração de números aleatórios para atribuir valores às variáveis do sistema que se deseja investigar”. Os dados são armazenados a cada iteração, e ao final da simulação, a sequência de resultados gerados é transformada em uma distribuição de frequência que possibilita calcular estatísticas descritivas, como média, valor mínimo, valor máximo e desvio-padrão, permitindo ainda a projeção de cenários do sistema em análise.

O método funciona basicamente da seguinte maneira: primeiro são definidas as variáveis do sistema em análise baseado em dados passados ou em estimativas subjetivas, depois são avaliados os comportamentos das distribuições de probabilidade das variáveis selecionadas. Na terceira etapa são definidos, para cada variável, os intervalos de incidência dos números aleatórios das distribuições projetadas. Com isso, pode-se gerar os números aleatórios para serem utilizados nos intervalos das variáveis. Por fim, o experimento deve ser simulado para obtenção dos resultados (BECK e ANZANELLO, 2015).

Simulação de Monte Carlo é especialmente utilizada em situações de tomada de decisão que envolvem riscos e incertezas, nas quais o comportamento das variáveis não são de natureza determinística, sendo de grande aplicação no campo da logística e cadeia de suprimentos (SARAIVA JÚNIOR, TABOSA e COSTA, 2011).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é classificada como estudo de caso, uma vez que busca analisar de forma aprofundada um objeto (caso) a partir de coleta de dados e presença da interação entre pesquisador e objeto de pesquisa (FILIPPINI, 1997).

No estudo de caso foram coletados os dados necessários para o desenvolvimento de uma modelagem de simulação para auxiliar na tomada de decisão em gestão de estoques. O objeto de estudo deste trabalho é a área de Planejamento da Distribuição de uma empresa do setor siderúrgico, que tem a função de planejar o abastecimento de toda a rede e gerir os estoques de produtos acabados.

3.1 ETAPAS DO TRABALHO

A abordagem de análise em simulação escolhida para este trabalho se justifica pela flexibilidade em relação ao desenvolvimento de diversos cenários realísticos, e principalmente pela capacidade de avaliação sistemas complexos sob condições de incertezas na demanda.

Anteriormente à simulação foi realizado um estudo bibliográfico na área de gestão de estoques, com intuito de constituir embasamento teórico para o desenvolvimento e análises do trabalho. A pesquisa reuniu os conhecimentos necessários por meio de livros, artigos, revistas e periódicos e em trabalhos realizados sobre o tema. Posteriormente deu-se início ao desenvolvimento do modelo de simulação.

As etapas deste trabalho foram adaptadas da metodologia proposta por Chwif e Medina (2015) para estudos em simulação.

Etapas 1 – Definição do problema

Consiste em um claro entendimento do sistema e seus objetivos. A pesquisa foi realizada *in loco* na empresa, orientada pelo responsável e colaboradores da área em estudo e, pelo acompanhamento e realização do trabalho diário durante um período de 6 meses. A primeira etapa inclui obtenção de informações e entendimento de toda a cadeia de suprimentos e as condicionantes específicas do gerenciamento de estoques de produtos em aço a fim de analisar as políticas de gestão de estoques vigentes na empresa.

Etapa 2 – Modelagem conceitual

Desenvolvimento de um modelo preliminar, de acordo com alguma técnica de representação, que irá embasar a modelagem computacional na etapa seguinte. A modelagem conceitual se deu por meio da elaboração de um fluxograma e descrição dos processos.

A segunda etapa depende do mapeamento dos processos de gestão de estoques e da definição das variáveis, bem como das premissas e restrições do sistema. O modelo desenvolvido avalia os níveis de estoque, as vendas perdidas e custos da cadeia de suprimentos como um todo.

Os dados de entrada também são coletados nesta fase. Todos os dados foram disponibilizados pela empresa. A escolha dos possíveis produtos a serem analisados foi baseada naqueles que possuíam histórico de demanda consistente e confiável no período de um ano. Esses produtos foram classificados a partir da construção de um diagrama de Pareto, e coletados os parâmetros associados a cada um dos produtos mais significativos, que serviram como dados de entrada do modelo.

Etapa 3 – Modelagem computacional

Na etapa 3, o modelo deve ser formulado em uma linguagem de simulação apropriada. A ferramenta utilizada para a simulação foi o *@Risk* versão 7.5, *software* da *Palisade*, no formato de um suplemento incorporado ao *Microsoft Excel*, que executa análise de risco por meio da simulação de Monte Carlo. A modelagem no *@Risk* possui as seguintes características exploradas neste trabalho: Entrada de dados por meio de distribuições de probabilidade; Simulador de Monte Carlo; *Input/Output Analyser*; Gráficos e Diagramas de resultados; Análise de sensibilidade e de cenários.

Etapa 4 – Verificação e Validação do modelo

Para a verificação e validação computacional, alguns resultados devem ser gerados, observando se o modelo é uma representação precisa da realidade. Na quarta etapa, primeiramente foi verificado o correto funcionamento da lógica do modelo e depois realizada a validação por meio de indicadores de saída.

Etapa 5 – Experimentação

Na quinta etapa é efetuada a simulação, propriamente dita, e os resultados são analisados e documentados. Foram testadas diferentes situações possíveis para o sistema em questão pela mudança dos *inputs* no modelo.

Etapa 6 – Análise e interpretação

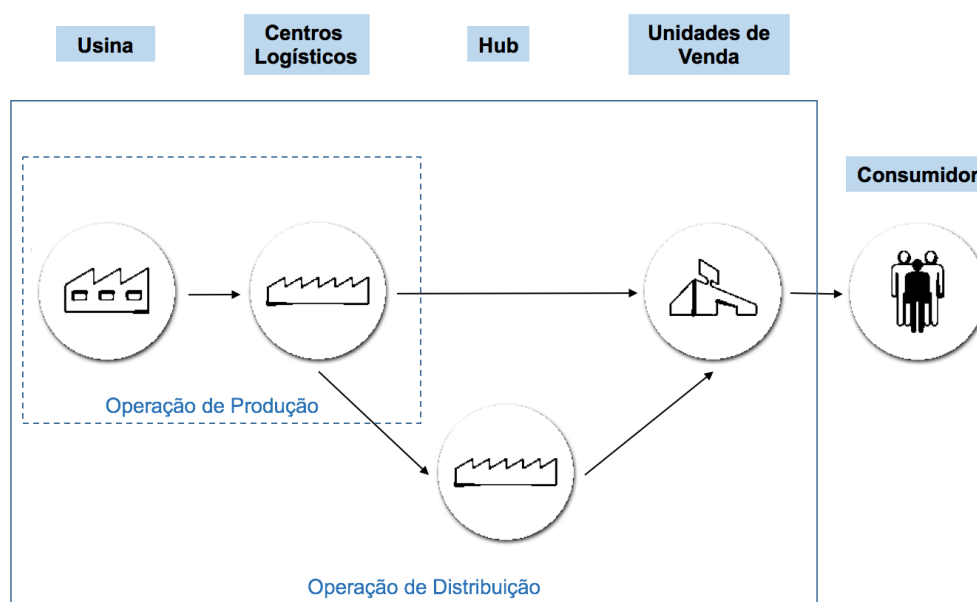
Sexta e última etapa, em que podem ser tiradas conclusões e recomendações sobre o sistema. Com base nos indicadores do modelo (*outputs*), os resultados são analisados e os cenários comparados a fim de identificar a melhor alternativa. Foram feitas inferências a partir dos resultados gerados através dos cenários simulados na fase de experimentação, considerando que esses resultados devem mostrar o que ocorre com o sistema dado as mudanças propostas.

4 MODELO DE SIMULAÇÃO

4.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa foco desse estudo atua no setor siderúrgico, sendo que seu nome não será identificado por sigilo dos dados utilizados. Parte de sua cadeia logística, que será estudada neste trabalho, pode ser resumida conforme abaixo:

Figura 3 - Cadeia de suprimentos da Empresa



Fonte: Adaptado da Empresa (2017)

A usina siderúrgica produz o aço que servirá como matéria prima, em forma de bobina, para a fabricação dos produtos acabados nos Centros Logísticos, que posteriormente são distribuídos às Unidades de Venda para atender a demanda do mercado, podendo passar pelo Hub (centro consolidador de carga). A bobina também é um produto de venda, porém seu abastecimento ocorre diretamente dos Centros Logísticos. A cadeia de suprimentos da empresa, representada pela Figura 3, compreende:

- Usina;
- 5 Centros Logísticos, localizados em diferentes Estados;
- 1 *Hub*, estrategicamente localizado para consolidar cargas advindas de diferentes regiões;
- 72 Unidades de Venda por todo o Brasil.

Um dos problemas que a empresa vem enfrentando é a gestão dos estoques em suas lojas (unidades de venda), este fato é agravado devido ao grande mix de produtos que possui e o número elevado de lojas a serem abastecidas. Ao todo são cerca de 1.300 *SKU's* integrando várias famílias de produtos, chamadas aqui de Grupo de Vendas (GV), como bobinas, chapas, telhas, rolos e outros.

Atualmente não existe uma política de gestão de estoques bem definida na empresa, sendo as decisões de reposição baseadas em solicitações por email ou telefone, sem tamanho de lote pré-determinado e sem considerar estoque de segurança. Diante desta situação, ocorrências de faltas de produtos em estoque têm se tornado frequentes causando perda de vendas, juntamente com casos de estoques sem giro, ou seja, parados na ponta gerando custos de manutenção.

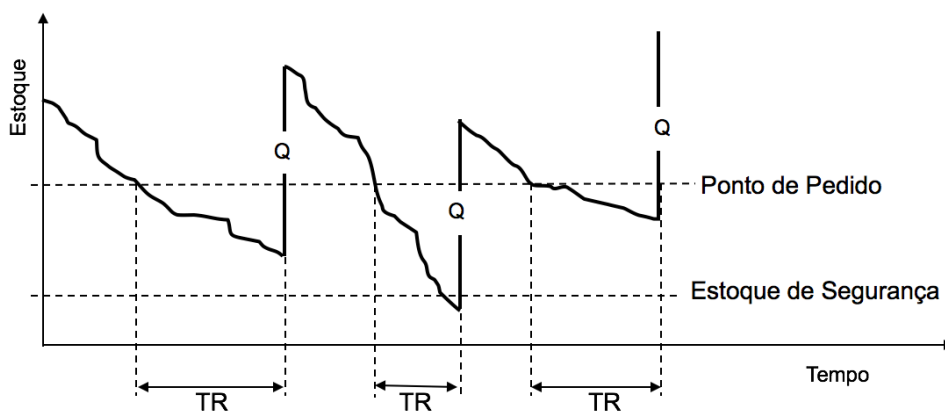
Há, portanto, uma necessidade em balancear os níveis de estoques de forma que minimize os custos e as perdas de vendas por falta de estoque, aumentando o nível de serviço. Com isso, a solução estratégica proposta por esse trabalho busca responder as perguntas de “Quanto pedir?”, “Quando pedir?” e “Quanto manter em estoque de segurança?”, a partir de um modelo de simulação com produtos selecionados, criando cenários com diferentes variáveis que demonstrem os impactos nos indicadores de desempenho do sistema.

4.2 MODELAGEM CONCEITUAL

O modelo conceitual descrito terá como base o trabalho desenvolvido por Wanke (2008). O ponto de partida será a política de gestão de estoques de Reposição Contínua por ponto de pedido (Q, PP), considerada adequada a modelos de gestão de estoques aplicados às operações de distribuição em cadeias descentralizadas, além de ser aderente às práticas já adotadas pela empresa, que possui sistema integrado de monitoramento constante dos estoques em toda a cadeia.

A solução analítica do modelo (Q, PP) com os cálculos do ponto de pedido, tamanho do lote e estoque de segurança foram apresentados no Capítulo 2 deste trabalho e será utilizada como caso base do modelo de simulação. Sua representação gráfica (fig. 4) demonstra basicamente que, assim que o nível estoque atinge o ponto de pedido é disparada uma ordem de colocação de pedido, de tamanho Q , a ser entregue após o tempo de ressuprimento.

Figura 4 - Representação do modelo (Q,PP) em gráfico dente de serra



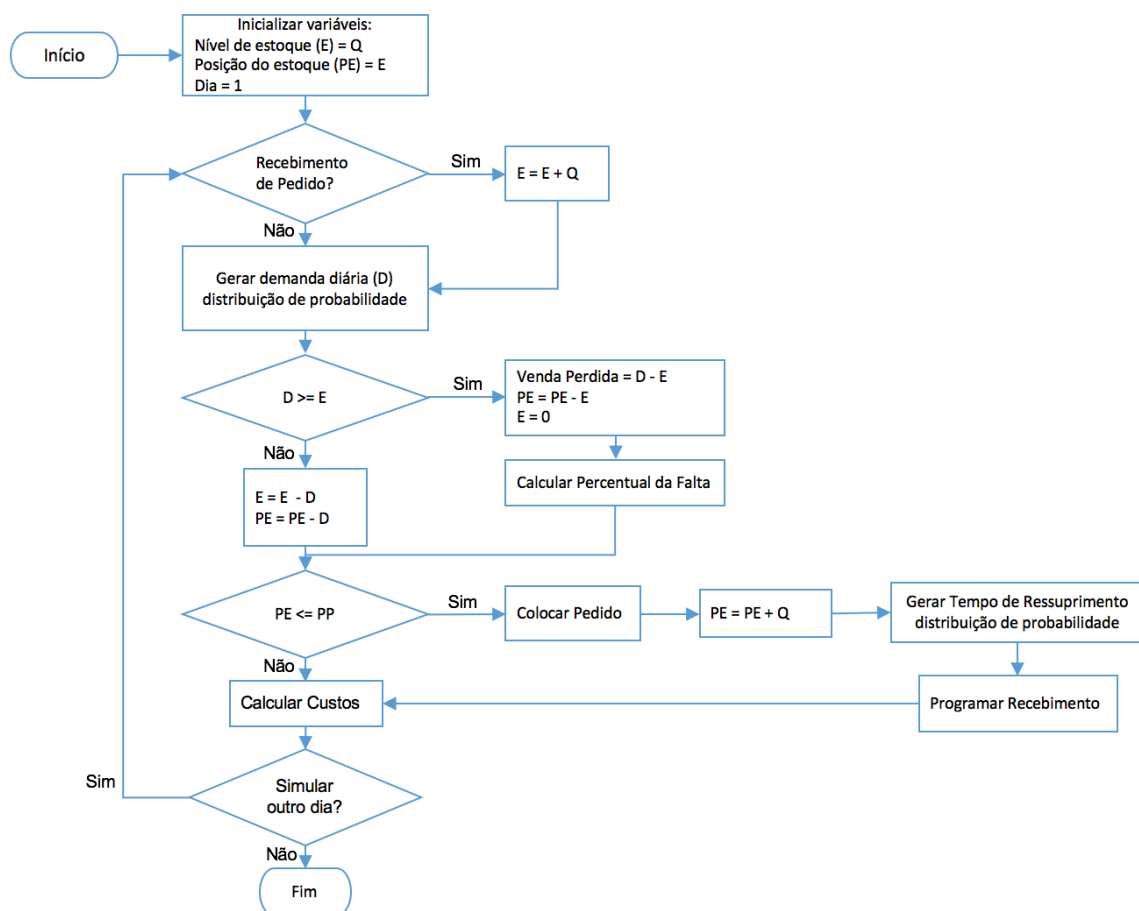
Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007)

No modelo de simulação, o ponto de pedido será avaliado pela posição do estoque (PE), que é o estoque disponível mais o estoque solicitado e ainda não entregue, dessa forma, um novo pedido só é colocado quando o saldo da posição do estoque atingir o ponto de pedido. A seguir é apresentada a explicação das etapas do modelo, representado pelo fluxograma da Figura 5.

- 1) Início: se inicia a simulação;
- 2) Considerar que não existem pedidos a serem recebidos e que o nível de estoque inicial (E) é igual ao tamanho no lote (Q);
- 3) A cada dia é verificado se existe pedido a ser recebido. Caso haja pedido programado para recebimento neste dia o tamanho de lote (Q) é adicionado ao nível de estoque disponível ($E = E + Q$);
- 4) Demanda diária (D) é gerada de acordo com a distribuição de probabilidade;
- 5) Em seguida é checado se existe estoque suficiente para atender a demanda ($D \leq E$)
 - a) Não: se não existir, é registrada a quantidade de vendas perdidas (VP) pela falta de estoque ($VP = D - E$). O nível de estoque disponível (E) será diminuído da posição do estoque (PE) e igualado a zero. Percentual de Falta e Custo de venda perdida são calculados;
 - b) Sim: se o estoque disponível for suficiente, toda a demanda é atendida e o nível de estoque será diminuído desta quantidade ($E = E - D$);

- 6) Verifica se a posição do estoque (PE) é menor ou igual ao ponto de pedido (PP). Se sim o pedido é colocado e então programado o recebimento do lote (Q) para após o tempo de resposta gerado de acordo com a distribuição de probabilidade. A posição do estoque é aumentada de Q ($PE = PE + Q$) enquanto o nível de estoque disponível (E) permanece inalterado;
- 7) Calcula o custo de manutenção de estoque para o nível de estoque no dia após o atendimento da demanda e computa o custo total;
- 8) Para ir para o próximo dia deve-se retornar à etapa 3;
- 9) Fim: encerra simulação.

Figura 5 - Fluxograma da lógica do modelo de simulação



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

As premissas gerais utilizadas na modelagem são:

- Tempo de resposta (TR) é o tempo de processamento de pedido mais o tempo de transporte. Cada produto possui um número mínimo de dias para seu processamento de pedido e tempo médio de transporte para cada localidade. Com isso, a distribuição de probabilidade do tempo de resposta assumida será a triangular, sendo os tempos de resposta mínimo, médio, máximo e o desvio padrão identificados a partir dos dados coletados.
- Custo de ressurgimento (C_p) é a soma do custo de gerar um pedido e de transporte do material, por pedido, podendo variar para cada tipo de produto.
- Demanda (D) baseada no consumo real, em toneladas, do produto nos últimos 12 meses, considerando 22 dias úteis no mês.
- Custo unitário (C_m) referente aos custos variáveis de produção dos materiais.
- A taxa de oportunidade de capital assumida será de 15% ao ano.
- Custo da falta (C_f) dado pela margem de contribuição por tonelada do produto, considerada correspondente a 20% do custo unitário.
- Todos os custos foram estimados em valores proporcionais às características dos produtos, consultando profissionais da área na qual o estudo foi realizado. Vale enfatizar que, por razão de confidencialidade de preços, não serão demonstrados os custos dos produtos.
- Nível de serviço médio desejado de 85%.

A decisão de reposição dos estoques é controlada por três variáveis do modelo de simulação:

- Tamanho do lote - decisão de quanto pedir (Q);
- Ponto de pedido - decisão de quando pedir (PP);
- Estoque de segurança - determinado pelo fator de risco (k), decisão de quanto manter em estoque de segurança

As variáveis de saída do modelo serão as médias dos indicadores de desempenho relacionados ao nível de serviço e custo, como também o volume de vendas perdidas e nível de estoque disponível diário. Dentre os indicadores de custo estão:

- Custo dos estoques - calculado como a soma dos custos diários de manutenção de cada item de estoque.

$$\text{Custo Estoque} = \sum_j^N E_j \times Cm \times (\sqrt[30]{1+i} - 1) \quad (7)$$

Nesta fórmula o nível de estoque E indica a quantidade de estoque final do dia j, N corresponde ao tamanho da corrida e i a taxa de oportunidade de capital mensal.

- Custo dos pedidos - a formulação adotada considera que o custo de colocar pedido é em função da quantidade que é pedida.

$$\text{Custo Pedido} = C_p \times \text{Quantidade de Pedidos} \quad (8)$$

- Custo da política - custo da política de estoques referente à soma do custo de manutenção dos estoques e do custo dos pedidos.
- Custo da falta - o custo de quando um produto não está disponível no estoque é calculado pelo volume total de vendas perdidas.

$$\text{Custo Falta} = C_f \times \text{Volume de Vendas Perdidas} \quad (9)$$

O nível de serviço será considerado a média entre os indicadores:

- Probabilidade de não faltar produto (PNFP) - reflete as chances de haver falta durante o ressuprimento, independente do volume da falta, mais especificamente, 90% de probabilidade de não faltar produto indica que, em média, de cada 100 ressuprimentos, terá falta em 10 deles.

$$PNFP = 1 - \left(\frac{\text{Quantidade de Vendas Perdidas}}{\text{Quantidade de Ressuprimentos}} \right) \quad (10)$$

- Nível de atendimento da demanda (*Fill Rate*) - razão entre a demanda atendida e a demanda total

$$\text{Fill Rate} = 1 - \left(\frac{\text{Volume de Vendas Perdidas}}{\text{Demanda total}} \right) \quad (11)$$

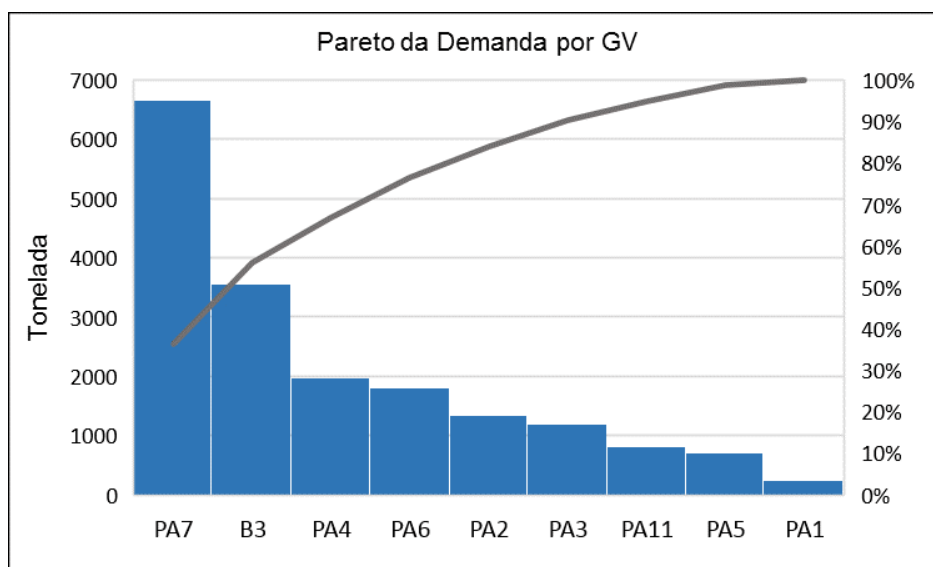
4.2.1 Coleta e tratamento de dados

Ao iniciar a pesquisa foi selecionado o período histórico de um ano para obtenção de dados, em seguida, as informações de demanda dos produtos com base de dados consistente e confiável neste período foram extraídas e organizadas em uma planilha.

Depois, realizou-se escolha aleatória de uma loja entre as cinco maiores em volume de vendas anual para ser estudada. A partir disso, foi construído um diagrama de Pareto dos produtos comercializados na loja em análise para a identificação daqueles mais representativos. Vale ressaltar que existem 6 grupos de vendas referentes às bobinas (B) e 12 famílias de produtos acabados (PA) na cadeia de suprimentos da empresa.

Pela Figura 6, percebe-se que os grupos de venda PA7 e B3 são os de maior demanda na loja. Dessa forma, foram selecionados um produto de cada, pelo critério de maior demanda média mensal, e coletados seus dados característicos para posterior uso como premissas do modelo computacional.

Figura 6 - Coleta de dados de demanda da loja



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

O produto selecionado do grupo de vendas PA7 será chamado de “Produto A” e o referente ao grupo de vendas B3 de “Produto B”. A seguir estão evidenciados no Quadro 2 os dados determinísticos de cada produto que serão simulados.

Quadro 2 - Premissas do modelo

Dados	Produto A	Produto B
Custo unitário	Confidencial	Confidencial
Custo de ressuprimento	R\$ 50 / t	R\$ 200 / t
Taxa de oportunidade do capital	15% (a.a)	15% (a.a)
Custo da falta	20%	20%
Demanda média mensal	160,05 t	108,25 t
Desvio padrão da demanda diário	2,78 t	2,81 t
Tempo de ressuprimento (mín.)	2 dias	4 dias
Tempo de Ressuprimento (médio)	4 dias	5 dias
Tempo de Ressuprimento (máx.)	9 dias	9 dias
Desvio padrão no tempo de ressuprimento	1,69 dias	1,53 dias

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Pode-se constatar que o produto B possui maior custo e tempo mínimo de ressuprimento em relação ao A, visto que a bobina é um material de peso elevado e grandes dimensões, o que dificulta e onera seu processo logístico.

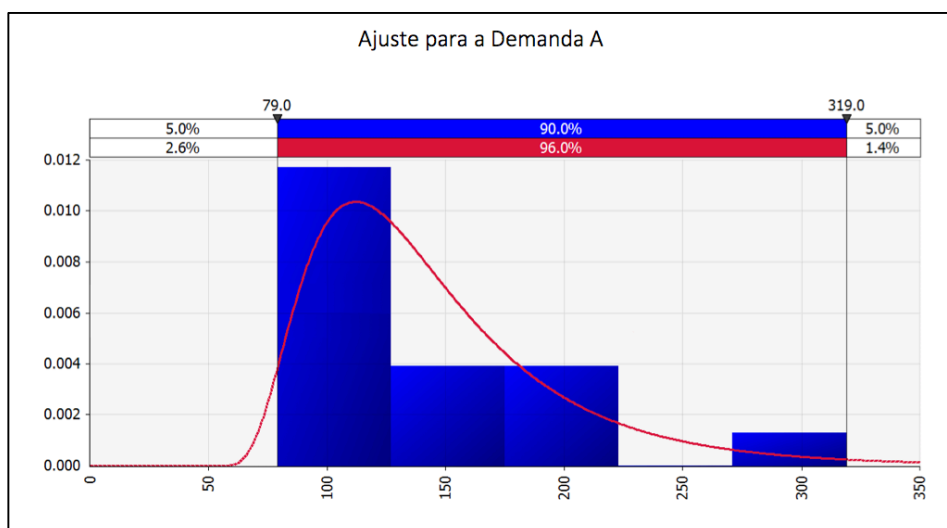
4.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

O problema já foi mapeado, os produtos para análise selecionados e definido o modelo de reposição de estoques, parte-se para a modelagem computacional, na qual será embasado este estudo de caso.

Com todas informações levantadas, é necessário obter as distribuições de probabilidade da demanda dos produtos A e B, que servirão como *input* do modelo de simulação. Para a obtenção da distribuição da demanda foi utilizada a ferramenta *fitting* do *@Risk*. As entradas são os históricos de 12 meses de consumo dos produtos, e a saída é um *ranking* de distribuições aderentes aos dados de acordo com os testes

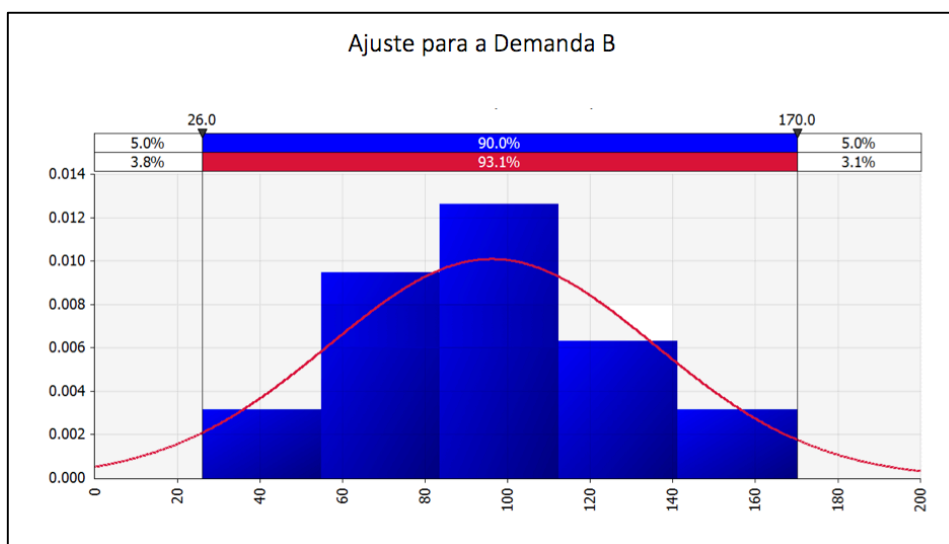
Bayesiano, *Akaike*, *Kolmogorov-Smirnov*, *Chi-quadrado* e *Anderson-Darling*. Os resultados do diagnóstico estão demonstrados nas figuras abaixo.

Figura 7 - Distribuição de probabilidade da demanda do produto A



Fonte: @Risk (2017)

Figura 8 - Distribuição de probabilidade da demanda do produto B



Fonte: @Risk (2017)

O resultado do ajuste da demanda do produto B mostrou ser aderente à distribuição normal, com demanda mensal variando em torno da média de cerca de 100 toneladas.

Já o produto A possui um padrão de vendas mais irregular com picos ao longo do período analisado, conforme pode ser constatado na Figura 7, a demanda deste produto segue uma distribuição lognormal.

Na sequência realizou-se a programação da lógica do modelo no *MS-Excel* e no *@Risk*, utilizando as próprias funções do *Excel* e outras provenientes do *@Risk*, como exemplo as funções de distribuição de probabilidade para gerar a demanda e tempo de resposta. A tela inicial da planilha do *Excel* que exemplifica o resultado da estruturação desta lógica se encontra no Apêndice A deste trabalho.

4.3.1 Tamanho da corrida de simulação

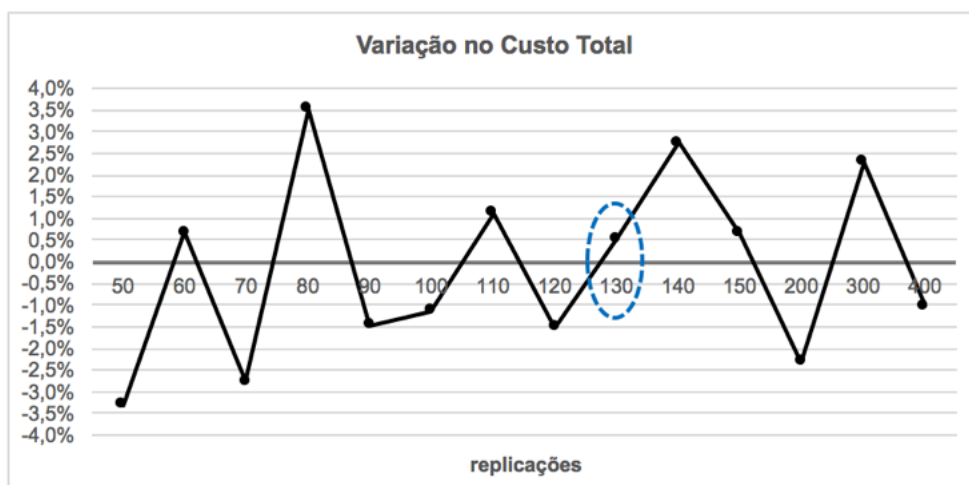
O tamanho da corrida configura o período em que uma simulação será gerada. Tempos muito curtos são indesejáveis pois podem comprometer os resultados gerados, por outro lado o uso de corrida longa consome tempo de processamento desnecessariamente. Para o presente trabalho, o horizonte escolhido é de 365 dias. O tempo de um ano é o período em que se deseja analisar o desempenho do sistema simulado, além de ser suficiente para garantir mais de um ciclo de giro de estoques dos produtos integrantes da cadeia de suprimentos estudada.

4.3.2 Número de replicações

Replicação “[...] é uma repetição da simulação do modelo, com a mesma configuração, a mesma duração e com os mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração dos números aleatórios diferente” (CHWIF e MEDINA, 2015). Para definir o número ideal de replicações para rodar a simulação foi considerado como critério o qual obtivesse menor variação nos resultados, dentro de um intervalo de confiança de 95%. Para isso, foram rodadas simulações com número crescente de replicações e calculada a média de uma variável de saída.

Percebe-se pela Figura 9 que os resultados do Custo Total variam 0,5% com 130 replicações. Dessa forma, os resultados da simulação serão dados pela média das variáveis de saída geradas em 130 replicações, garantido a consistência estatística.

Figura 9 - Análise do número de replicações



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

4.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

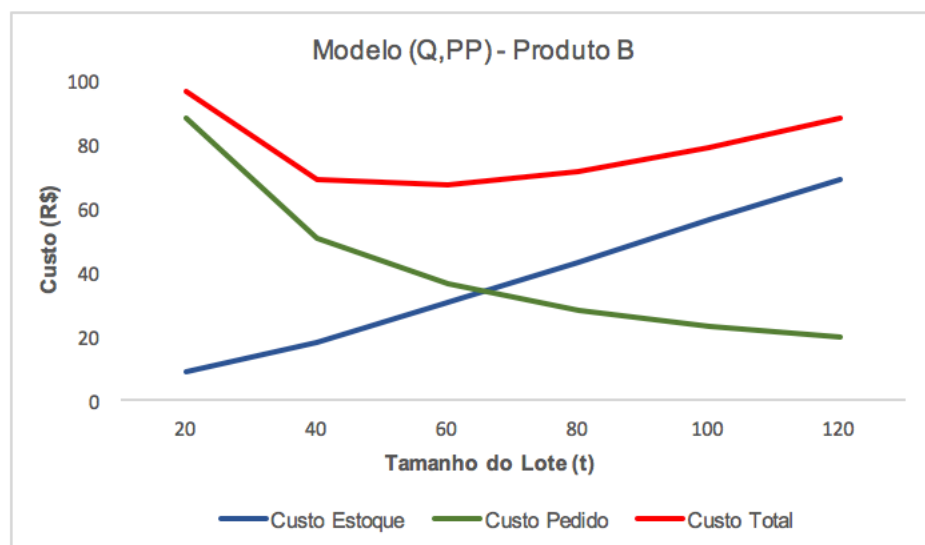
Procedimentos de verificação e validação são necessários para testar a confiabilidade do modelo de simulação quanto à representação do sistema real para que possa ser utilizado por tomadores de decisão.

A verificação do modelo se deu pela elaboração do fluxograma, apresentado anteriormente neste capítulo na etapa de modelagem conceitual, juntamente com uma análise de sua estrutura lógica. Foram examinadas as variáveis de saída para uma grande variedade de dados de entrada a partir de experimentos no modelo inicial. Foi verificado se o modelo seguia a lógica de ponto de reposição contínua corretamente, ou seja, se o pedido de tamanho de lote fixo era emitido assim que o saldo da posição de estoque chegava no ponto de pedido.

Para o processo de validação foram realizados testes no modelo com diferentes valores de tamanho de lote de modo a identificar as mudanças nos indicadores de custo.

A Figura 10 demonstra que o modelo é bastante aderente ao proposto, visto que a variação do lote no produto B forma a curva clássica do *LEC* presente na literatura, evidenciado no Capítulo 2 deste trabalho.

Figura 10 - Validação do modelo



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

4.5 EXPERIMENTAÇÃO

Primeiramente foi encontrada a solução teórica para cada produto, submetendo à variável tamanho de lote ao valor do *LEC*. Para o nível de serviço pretendido de 85%, utilizou-se *k* igual a 1, conforme Quadro 1 apresentado no Capítulo 2.

Tabela 1 - Solução analítica do modelo

Solução analítica (LEC, PP)		
Parâmetros	Produto A	Produto B
<i>LEC</i>	83,19	61,33
<i>D x TR</i>	21,83	24,05
<i>S</i>	15,57	16,45
<i>k</i>	1,00	1,00
<i>PP</i>	37,40	40,50

Fonte: elaborado pela autora (2017)

Nota: $PP = (D \times TR) + (k \times S)$

Deve ser notado que no modelo teórico são assumidos que tanto a demanda quanto o tempo de ressuprimento obedecem a distribuição normal. Sendo assim, o Quadro 1 com diferentes valores de *k* que afetam o nível de serviço, não é ideal neste estudo. Na prática a real distribuição da demanda no tempo de resposta pode não ser aderente à distribuição normal, o que leva a rupturas no estoque. Em vista disso, com o objetivo analisar o comportamento dos indicadores do modelo (*Q*, *PP*), diferentes

combinações de tamanhos de lote Q e de valores k (determinam $PP + ES$) serão testados através do modelo de simulação, tentando identificar qual combinação se torna mais vantajosa.

Três situações de tamanhos de lote são consideradas neste trabalho: $Q < LEC$, $Q = LEC$ e $Q > LEC$ para quatro diferentes valores de k , de acordo com a Tabela 2. Os valores de tamanho de lote foram arredondados em múltiplos de 12 t, peso médio de uma bobina.

Tabela 2 - Cenários simulados

Combinações de tamanho de lote e ponto de pedido simuladas						
Variáveis de Decisão	Produto A			Produto B		
	$Q < LEC$	$Q = LEC$	$Q > LEC$	$Q < LEC$	$Q = LEC$	$Q > LEC$
	$Q = 72 \text{ t}$	$Q = 84 \text{ t}$	$Q = 96 \text{ t}$	$Q = 48 \text{ t}$	$Q = 60 \text{ t}$	$Q = 72 \text{ t}$
$PP (k = 0,5)$	29,6	29,6	29,6	32,3	32,3	32,3
$PP (k = 1,0)$	37,4	37,4	37,4	40,5	40,5	40,5
$PP (k = 1,5)$	45,2	45,2	45,2	48,7	48,7	48,7
$PP (k = 2,0)$	53,0	53,0	53,0	57,0	57,0	57,0

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

5 RESULTADOS E ANÁLISE

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos para o produto A dos indicadores de nível de serviço (Vendas perdidas, PNFP e *Fill rate*) e estoque médio disponível, nos diferentes cenários.

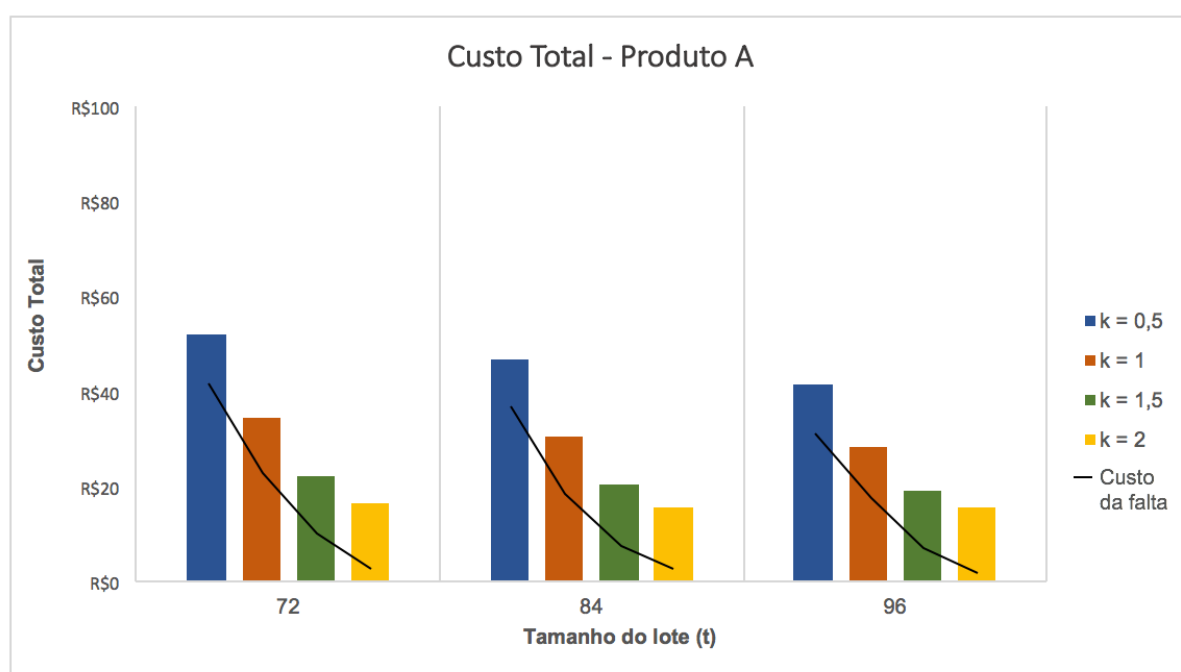
Tabela 3 - Médias dos indicadores de nível de serviço e estoque para cada par Q, k do Produto A

Resultados do Produto A				
k	Indicadores	Q < LEC	Q = LEC	Q > LEC
		72	84	96
0,5	Vendas Perdidas (t)	226,8	200,3	170,9
	PNFP	0%	0%	1%
	<i>Fill Rate</i>	88%	90%	91%
	Estoque médio (t)	31,2	37,2	43,2
1,0	Vendas Perdidas (t)	127,2	105,3	94,7
	PNFP	16%	19%	19%
	<i>Fill Rate</i>	93%	95%	95%
	Estoque médio (t)	36,2	42,7	48,4
1,5	Vendas Perdidas (t)	55,2	47,2	38,5
	PNFP	60%	60%	63%
	<i>Fill Rate</i>	97%	98%	98%
	Estoque médio (t)	43,0	49,1	55,5
2,0	Vendas Perdidas (t)	16,6	15,3	13,1
	PNFP	87%	86%	86%
	<i>Fill Rate</i>	99%	99%	99%
	Estoque médio (t)	51,3	57,2	63,3

Fonte: Adaptado do relatório de resultados @Risk

Analisando os dados pode-se perceber que os únicos cenários que atingiram o valor mínimo desejado de nível de serviço de 85% foram aqueles com $k = 2$, ou seja, com maior ponto de pedido. A melhor política em termos de nível de serviço para o produto A é a $Q = 72$ e $k = 2$ com uma média de 93% entre os indicadores PNFP e *Fill rate*. Deve ser lembrado que a solução analítica sugeria que o nível de serviço seria alcançado em $Q = 84$ e $k = 1$, entretanto gerou baixa PNFP, resultando numa taxa de 57% apenas, não cumprindo ao esperado. Nota-se que o estoque médio é impactado pela variação no tamanho de lote e ponto de pedido, sendo elevado em média 15% de $k = 0,5$ para $k = 1$, 32% para $k = 1,5$ e 54% para $k = 2$.

Figura 11 - Médias dos indicadores de custo para cada par Q, k do Produto A



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Os custos totais do produto A reduzem em média 34%, 57% e 68% para cenários de $k = 1$, $k = 1,5$ e $k = 2$, respectivamente, em relação ao de ponto de pedido mais baixo $k = 0,5$. A combinação que gerou menor custo total foi a de $Q = 96$ e $k = 2$, este fato pode ser explicado pelo impacto significativo que o custo da falta causa no sistema. Vale ressaltar que o custo da falta diminui, quase que exponencialmente, para elevações no ponto de pedido, em contrapartida há um aumento de cerca de 10% no custo de manutenção de estoques a cada incremento de k juntamente com um ligeiro aumento no custo de pedidos. Isto devido a necessidade de manter maior nível de estoque médio, como pode ser observado na Tabela 3.

O cenário que gerou menor custo dentro do limite desejado de nível de serviço foi para $Q > LEC$ e $k = 2$. Portanto, tamanho de lote de 96 t e ponto de pedido de 53 t.

Os resultados médios dos indicadores obtidos na simulação do produto B estão apresentados a seguir na Tabela 4 e na Figura 12.

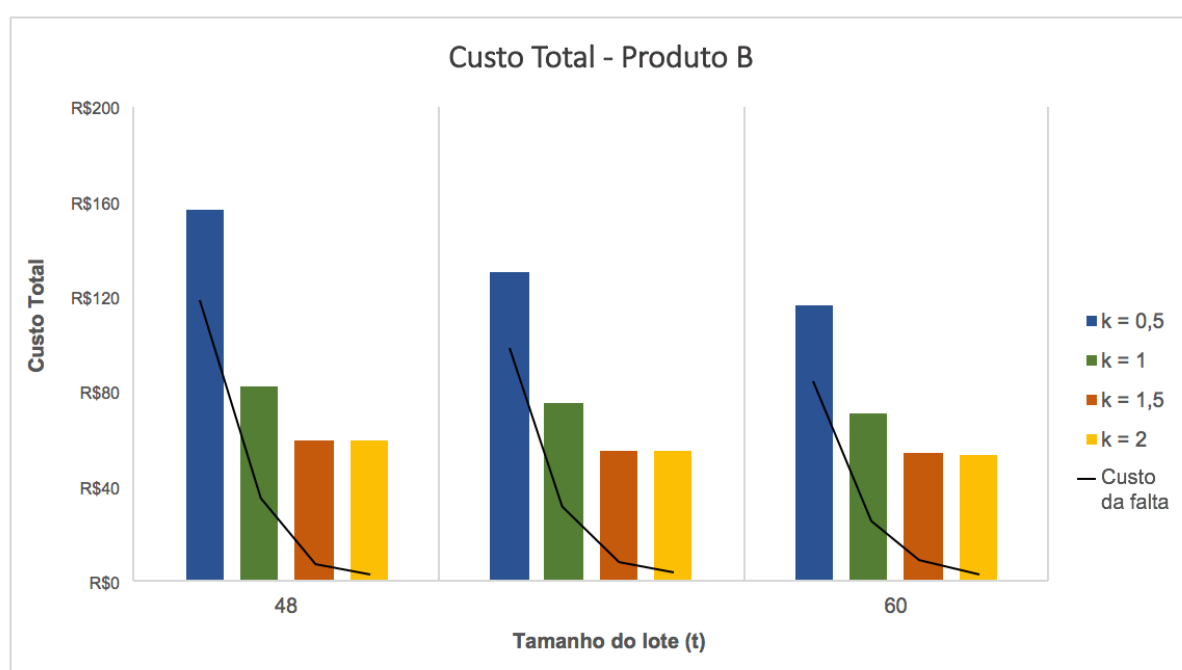
Tabela 4 - Médias dos indicadores de nível de serviço e estoque para cada par Q, k do Produto B

Resultados do Produto B				
k	Indicadores	$Q < LEC$	$Q = LEC$	$Q > LEC$
		48	60	72
0,5	Vendas Perdidas (t)	127,5	100,5	84,2
	PNFP	2%	4%	4%
	Fill Rate	90%	92%	94%
	Estoque médio (t)	22,3	28,4	34,5
1,0	Vendas Perdidas (t)	40,3	35,4	30,0
	PNFP	59%	55%	54%
	Fill Rate	97%	97%	98%
	Estoque médio (t)	28,9	34,3	40,4
1,5	Vendas Perdidas (t)	9,9	7,4	6,2
	PNFP	89%	90%	89%
	Fill Rate	99%	99%	100%
	Estoque médio (t)	36,1	41,9	48,1
2,0	Vendas Perdidas (t)	5,3	1,4	1,0
	PNFP	97%	98%	98%
	Fill Rate	100%	100%	100%
	Estoque médio (t)	43,2	50,0	56,1

Fonte: Adaptado do relatório de resultados @Risk

Os resultados do produto B demonstram melhores indicadores de nível de serviço. A meta de 85% é alcançada para qualquer política a partir de $k = 1,5$, chegando até em 99% para $Q = 72$ e $k = 2$. Apesar disso, a solução teórica com tamanho de lote *LEC* e $k = 1$ resultou em 76%, também não atingindo o nível de serviço proposto. O estoque médio aumenta para maiores tamanhos de lote e em maior proporção na elevação do ponto de pedido, sendo 30% maior para $k = 1$ em relação ao primeiro cenário, 62% para $k = 1,5$ e 94% de aumento em $k = 2$.

Figura 12 - Médias dos indicadores de custo para cada par Q, k do Produto B



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Pode-se observar pela Figura 12 que os custos totais do produto B são mais elevados em relação ao A devido ao alto valor agregado deste tipo de material. O comportamento do indicador custo total se difere na medida em que diminui consideravelmente com o primeiro aumento no ponto de pedido em média 48,0% para $k = 1$ e deste para $k = 1,5$ diminui mais 28%, entretanto a variação no custo total entre $k = 1,5$ e $k = 2$ é de -1%. Neste último cenário há maiores níveis de estoque médio o que acarreta em aumento no custo de manutenção, demonstrando uma tendência do mesmo em ultrapassar o valor compensando pela redução no custo de falta e elevar o custo total do sistema. O custo da falta, relacionado às vendas perdidas, mostrou desempenho semelhante ao observado no produto A.

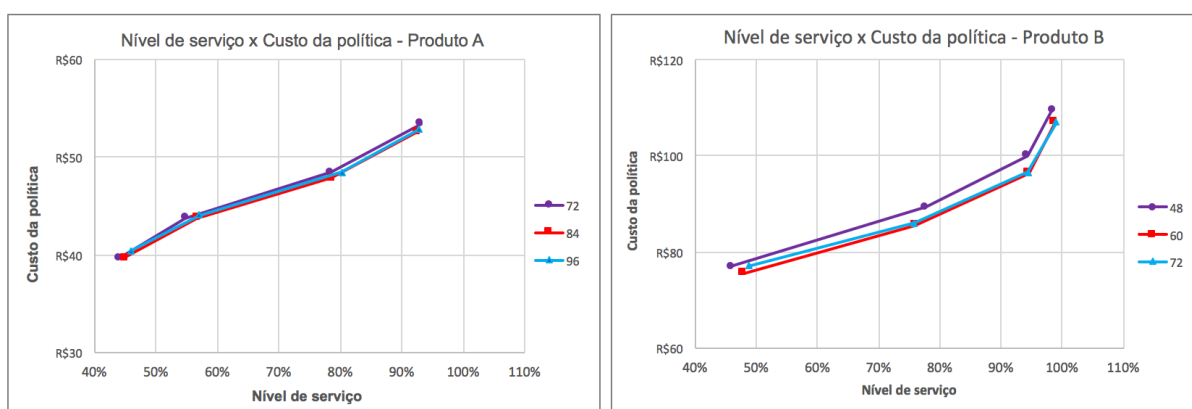
Conclui-se que o cenário ótimo, que minimiza o custo total a pelo menos 85% de nível de serviço, para este produto é dado com $k = 1,5$ e $Q > LEC$, ou seja, 72 t de tamanho de lote e ponto de pedido de 48,7 t.

A partir dos resultados dos cenários gerados para os dois produtos algumas generalizações podem ser feitas: o nível de estoque médio disponível aumenta na medida em que são aumentados o tamanho do lote e o ponto de pedido; o ponto de pedido possui maior impacto na diminuição das vendas perdidas que o tamanho de lote; maiores níveis de estoque de segurança geram melhores nível de serviço; o indicador *Fill rate* é sempre maior que o PNFP, este último devido a alta cobertura de estoque característica da cadeia de suprimentos estudada.

Com a simulação pode-se concluir que, mantendo-se o tamanho de lote constante e aumentando-se o ponto de pedido, o nível de serviço é elevado, tanto para produto A (distribuição lognormal) quanto para o produto B (distribuição normal). Isto se deve ao fato de que maiores valores de k geram maior nível de estoque de segurança, oferecendo proteção contra faltas e consequentemente aumentando a probabilidade de não faltar produto.

Foi realizada uma análise de sensibilidade para verificar a relação entre o custo da política empregada, desconsidera o custo da falta, e o nível de serviço para os cenários simulados de cada produto, representada pela Figura 13.

Figura 13 - Trade-off Serviço x Custo



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Pode ser constatado pelo comportamento da curva do produto B que pontos de pedido maiores (identificados pelos marcadores das linhas do gráfico) proporcionam elevados níveis de serviço, contudo o custo da política cresce exponencialmente. Já para o produto A, que possui demanda mais incerta, o custo cresce de forma quase linear, porém não atinge bons níveis de serviço rapidamente, somente ultrapassando a marca de 90% no último valor de ponto de pedido testado na simulação.

Verifica-se ainda pela Figura 13 que o impacto causado pela variação no tamanho de lote sobre o nível de serviço é bem menor do que o causado pelo ponto de pedido. O papel do tamanho de lote nos indicadores está atrelado aos custos de manutenção do estoque. Quando há um aumento no tamanho do lote Q e k permanece inalterado, constata-se um aumento nos custos da política em consequência da elevação nos custos de manter estoques em conjunto com pequena parcela de diminuição no custo de pedidos. Esse comportamento é esperado pois grandes tamanhos de lote levam a maiores níveis de estoque e a menor frequência de colocação de pedidos. Porém, o produto B com tamanho de lote $Q = 48$ demonstrou exceção a esta regra, visto que resultou em custos mais elevados do que para maiores valores de Q , a explicação reside na ideia de que este tamanho de lote é insuficiente para cobrir o *lead time* do produto B gerando grande número de pedidos e aumentando os custos de ressurgimento.

Como intuito de analisar os parâmetros que afetam o nível de serviço nos dois produtos, foi utilizada a ferramenta *Goal Seek* do @Risk, que busca atingir meta estabelecida em um dos *outputs* do modelo provocando alterações em alguma variável selecionada. Dessa forma, mantendo-se o tamanho de lote dos produtos $Q = LEC$ e realizando alterações na variável k , o valor ótimo encontrado que proporciona o nível de serviço escolhido pode ser observado pela Tabela 5.

Tabela 5 - Análise do ponto de pedido ótimo para nível de serviço estabelecido

Meta: PNFP = 85%		
Ponto de Pedido	Produto A Q = 84	Produto B Q = 60
k	1,9	1,4

Fonte: Adaptado de resultados do *Goal Seek* @Risk

O mesmo procedimento foi realizado provocando variações em Q e mantendo a

variável $k = 1$, porém a ferramenta não encontrou uma solução ótima para nenhum dos produtos testados. Este resultado confirma a suposição de que o tamanho de lote possui impacto reduzido no nível de serviço. O valor de Q deve ser definido em uma quantidade mínima para que não haja rupturas considerando o tempo de ressuprimento, após esta quantidade seu aumento deve ser mensurado avaliando os custos de manutenção e ressuprimento, visando o estabelecimento de um ponto satisfatório entre o nível de serviço e os custos da política de gestão de estoques.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apoiou-se na modelagem de simulação, a partir do método de Monte Carlo, para analisar impactos nos custos e nível de serviço decorrentes de distintos parâmetros de políticas de gestão de estoques. O resultado obtido com o modelo de reposição contínua escolhido se mostrou favorável para a empresa, desde que adotados estoques de segurança com pelo menos 1,5 desvios padrão para o produto com demanda normalmente distribuída e 2 desvios padrão para produto com demanda aderente à distribuição lognormal.

Foi possível identificar com a simulação que o aumento no ponto de pedido melhora expressivamente os indicadores relacionados ao nível de serviço e, no caso estudado, diminui os custos totais do sistema. É importante salientar que os produtos analisados possuem alto valor agregado, o que faz com que as vendas perdidas gerem impacto significativo nos custos totais, sendo esta situação característica do setor em estudo. Deste modo, verificou-se que, mesmo com custos de manutenção de maiores níveis de estoque, há redução nos custos totais juntamente com elevação no nível de serviço, este fato é mais agravado para produtos com grande variabilidade de demanda.

Sugere-se para trabalhos futuros a simulação de cenários para produtos de diferentes padrões de demanda e *lead time*, além da obtenção de parâmetros com maior histórico de dados consistentes, com intuito de tornar as conclusões mais aderentes à realidade. Existe ainda a possibilidade de prolongar o estudo considerando o teste de outras políticas de gestão de estoques na cadeia de suprimentos, como a revisão periódica ou sistemas de programação ativos baseado em previsão de demanda, a fim de se comparar o comportamento dos indicadores de desempenho.

O trabalho contribui no âmbito prático para escolha e parametrização de políticas de gestão de estoques. A flexibilidade do modelo de simulação desenvolvido permite diferentes tipos de análise e considerações, podendo ser adaptado para a realidade de outras empresas, servindo como ferramenta exploratória para auxiliar na tomada de decisões estratégicas em cadeias de suprimentos.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. **Discrete-event system simulation**. New Jersey: Prentice hall, 1996.

BECK, T.; ANZANELLO, M. J. Análise da gestão de estoques utilizando simulação de Monte Carlo. **Revista Gestão Industrial**, Paraná, 11, n. 4, 2015.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial**: o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.

BUFFA, E. S. **Modern production management**. 4. ed. New York: John Willey & Sons, 1973.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada - Supply Chain**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. S. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2005.

DIAS, G. P. P. Gestão dos estoques numa cadeia de distribuição com sistema de reposição automática e ambiente colaborativo. **Dissertação de Mestrado: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2003.

DIAS, G. P. P. Gestão dos estoques numa cadeia de distribuição com sistema de reposição automática e ambiente colaborativo. **Tese de Doutorado: Universidade de São Paulo.**, São Paulo, 2003.

FERREIRA FILHO, V. J. M. et al. **Gestão de estoques**: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos. 1. ed. Rio de Janeiro: e-papers, 2006.

FILIPPINI, R. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations and Production Management**, Vicenza, v. 17, n. 7, p. 655-670, 1997.

GARCIA, E. S.; FERREIRA FILHO, V. J. M. Cálculo do ponto de pedido baseado em previsões de uma política de gestão de estoques. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, 29, n. 3, Setembro 2009.

HAMMERSLEY, J. M.; HANDSCOMB, D. C. **Monte Carlo methods**. Londres: Methuen, 1964.

HARRIS, F. W. How many part to make at once. **Factory, The Magazine of Management**, 10, n. 2, 1913.

LIMA, M. P. Estoque: custo de Oportunidade e Impacto sobre os Indicadores Financeiros. **CEL-COPPEAD**, 2003. Disponível em: <<http://www.centrodelogistica.com.br/new/fs-conheca.htm>>. Acesso em: 12 Novembro 2017.

LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. Simulação. In: CORRAR, L. J.; THEÓPHILO, C. R. **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

MARTINS, P. G.; ALT, P. R. C. **Administração de materiais e recursos patrimoniais**. São Paulo: Saraiva, 2005.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**: estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: Unicenp, 2007.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2003.

POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais**: uma abordagem logística. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

RAO, U. S. Properties of the periodic review (R,T) inventory control policy for stationary, stochastic demand. **Manufacturing Service Operations Management**, 5, n. 1, 2003.

ROSA, H.; MAYERLE, S. F.; GONÇALVES, M. B. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Produção**, 20, n. 4, 2010.

SANTORO, M. C.; FREIRE, G. Análise comparativa entre modelos de estoque. **Produção**, São Paulo, 18, n. 1, 2008.

SARAIVA JÚNIOR, A. F.; TABOSA, C. M.; COSTA, R. P. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção**, 21, n. 1, 2011.

SILVA, G. R. Desenvolvimento de um modelo de simulação para avaliação do desempenho de uma cadeia de suprimentos multicamadas do ramo de mineração através da adoção da estratégia colaborativa VMI (Vendor Managed Inventory). **Tese de Doutorado: Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2010.

SILVA, T. G.; BARBOZA, F.; MARUJO, L. G. Análise dos impactos das diferentes políticas de gestão de estoques de suprimentos em uma empresa do setor de bebidas através de simulação. **Revista Gestão Industrial**, Paraná, 04, n. 04, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

WANKE, P. **Gestão de estoques na cadeia de suprimento: decisões e modelos quantitativos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WILD, T. **Best practice in inventory management**. Oxford: Elsevier, 2002.

APÊNDICE A – Tela inicial da planilha com a lógica da simulação

Solução analítica (teórica)	
TLE	61.3
D*TR	24.0
sC	16.5

Parâmetros de Decisão	
Q	48.0
k	0.5
PP	32.3

Premissas (inputs)	
Caq	
CTR	200
i	0.2
Cf	
D	4.8
sD	2.8
TR (min)	4
TR (medio)	5
TR (max)	9
sTR	1.5

Resultados (outputs)			
CE		Vendas Perdidas	109.9
CP		PNFP	16%
CF		Fill Rate	92%
CT		Estoque Medio	22.2

Dia	Estoque Inicial	Demanda	Ressuprimento	Estoque Final	Vendas Perdidas	Colocar Pedido?	Tempo de Ressuprimento	Dia de Recebimento do Pedido	Posição do Estoque
1	48.0	1.4		46.6			6		46.6
2	46.6	2.2		44.4					44.4
3	44.4	4.4		40.1					40.1
4	40.1	7.1		32.9					32.9
5	32.9	9.9		23.1		1		11	71.1
6	23.1	5.9		17.2					65.2
7	17.2	6.2		10.9			10		58.9
8	10.9	9.6		1.3					49.3
9	1.3	2.7		0.0	1.4				48.0
10	0.0	4.8		0.0	4.8				48.0
11	0.0	10.4	48	37.6					37.6
12	37.6	4.3		33.3					33.3
13	33.3	1.1		32.2		1		23	80.2
14	32.2	4.8		27.3					75.3
15	27.3	4.7		22.6					70.6