



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM  
ENGENHARIA QUÍMICA



# **Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

*Autor: Isabela Clesar da Silva*

*Orientador: Marcelo Farenzena*

Porto Alegre, janeiro de 18

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

---

### Sumário

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	4
2.1	Gestão de Estoques	4
2.1.1	Conceitos da gestão de estoques	4
2.1.1.1	Custos da gestão de estoques	4
2.1.1.2	Regras de tamanho de lote	5
2.1.1.3	Classificação de materias – Curva ABC	6
2.1.2	Principais desafios da gestão de estoques	7
2.1.3	Principais técnicas usadas na gestão de estoques	7
2.1.3.1	MRP II	8
2.2	Estoque de Segurança	8
2.3	Simulação de Monte Carlo	11
3	Metodologia	12
3.1	Escolha do produto analisado	12
3.2	Coleta dos dados	12
3.3	Criação do modelo em função das variáveis selecionadas	12
3.4	Simulação e otimização dos custos para determinação do ES ótimo	14
3.5	Formulação do Problema	15
3.5.1	Caracterização e ambientação do estudo de caso	15
3.5.2	Aplicação do método	16
3.5.3	Escolha do produto analisado	16
3.5.4	Coleta dos dados	17
3.5.4.1	Teste de Kolmogorov-Smirnov .	17
3.5.4.2	Premissas utilizadas	18
3.5.5	Criação do modelo em função das variáveis selecionadas	18
3.5.5.1	Horizonte de tempo da curva de estoques simulada	18
3.5.5.2	Modelagem das cdemanda e suas incertezas	18
3.5.5.3	Modelagem do ressuprimento e suas incertezas	20

3.5.6	Simulação e otimização dos custos para determinação do ES ótimo.	20
4	Resultados	21
4.1	Estudo da relação entre $S_{outj}$ e $S_{stkj}$ com o ES	21
4.2	Otimização dos custos e determinação do ES ótimo	22
4.3	Estudo da relação entre $C_{out}$ e $C_{stk}$ com o ES	23
4.4	Relação entre o nível de serviço e o ES ótimo	24
4.5	ES x taxa de falhas	25
4.6	Incertezas x taxa de falhas	25
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	27
6	Referências	28

**Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

**Agradecimentos**

A Deus, pela vida e por todas as pessoas que colocou no meu caminho.

A minha família pelo amor, apoio e compreensão. Serei eternamente grata ao meu pai e a minha mãe por sempre me ensinarem a importância do estudo.

Ao meu namorado, pelo apoio e carinho em todos momentos.

Aos meus colegas da Braskem, por todos os ensinamentos durante os meus dois anos de estágio.

Aos meus professores, pelos ensinamentos e pela dedicação. Em especial ao professor Marcelo Farenzena por me orientar neste trabalho.

Aos meus colegas, pela companhia e parceria que foram fundamentais durante toda a minha graduação.

## Resumo

Manter estoque de segurança é um método usado pelas empresas para fazer frente às incertezas existentes no planejamento e funcionam como amortecedores entre suprimento e demanda evitando rupturas entre processos e adicionando segurança entre diferentes elos de uma cadeia. Estes estoques agem de forma a reduzir o risco de escassez, mas em contrapartida aumentando o capital imobilizado. Uma gestão de estoque ineficiente pode levar à perda de vendas importantes por falta de produtos ou matérias-primas ou causar uma situação financeira difícil por excesso de itens estocados sem demanda para consumi-los. Desta forma, o estoque de segurança deve ser otimizado para: minimizar a escassez e o capital imobilizado e garantir um dado nível de serviço.

Esta pesquisa tem como objetivo calcular o estoque de segurança que minimize o custo em um ambiente com incertezas na demanda e no ressuprimento. Trata-se de um estudo de caso em uma empresa do setor petroquímico. Para alcançar o objetivo foi realizada a criação de um modelo para a curva de estoques que levou em conta as incertezas na demanda e no tempo de ressuprimento com base na distribuição dos dados do ambiente de pesquisa. Para que os resultados obtidos representassem melhor a realidade, o modelo gerado foi simulado pelo método de Monte Carlo utilizando o software Matlab®.

Com esta pesquisa foi possível obter o valor de estoque de segurança que minimiza o custo de estoques. Além disso, pôde-se concluir que quanto maior for o impacto do custo de falta em relação ao custo de manutenção para o item analisado maior deverá ser a quantidade de estoque de segurança mantido e, portanto, maior deverá ser o nível de serviço ao cliente. Pode-se concluir também que a medida que as incertezas no *lead time* e na demanda aumentam, maior deve ser o valor de estoque de segurança para manter um dado nível de serviço. Pela análise dos resultados obtidos, concluiu-se que utilizar o método da simulação de Monte Carlo para simular a curva de estoques de interesse para o item selecionado foi bastante satisfatório.

**Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

**Lista de Figuras**

Figura 1 – Ponto de reposição .....	5
Figura 2 – Sistema de revisão periódica de compra.....	6
Figura 3 – Conceito de curva ABC.....	7
Figura 4 – Distribuição normal da demanda .....	10
Figura 5 – Curva de estoques em um ambiente sem incertezas destacando o efeito da demanda e do ressuprimento no estoque $S_i$ .....	13
Figura 6 – Simulação da curva de estoque para um cenário destacando o $S_{stkj}$ e o $S_{outj}$ .....	14
Figura 7 – Ilustração dos 1000 cenários de estoques geradas pela simulação de Monte Carlo utilizadas para obter a média das variáveis usadas nas análises.....	15
Figura 8 – Exemplo de uma lista de materiais.....	16
Figura 9 – Escolha do produto a ser analisado utilizando a Curva ABC .....	17
Figura 10 – $S_{outj}$ em função do estoque de segurança.....	21
Figura 11 – $S_{stkj}$ em função do estoque de segurança .....	22
Figura 12 – Curva dos custos para $C_{out} = C_{stk} = 1$ .....	23
Figura 13 – Curva dos custos para diferentes valores de $Y$ . (A) para $Y = 0,1$ , (B) para $Y = 10$ , (C) para $Y = 100$ e (D) para $Y = 1000$ .....	24
Figura 14 – Taxa de falhas em função do estoque de segurança .....	25
Figura 15 – Taxa de falhas em função das incertezas (A) na demanda e (B) no <i>lead time</i> .....	26

### **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Relação entre $S_{outj}$ e $S_{stkj}$ com o estoque de segurança.....	22
Tabela 2 – Relação entre o nível de serviço e $X$ .....	24

### Lista de Símbolos

- $ES$  [kg]: estoque de segurança;
- $ES_{otm}$  [kg]: estoque de segurança ótimo, ou seja, que fornece o menor custo total;
- $k$  [ ]: fator de segurança, determinado pelo escore  $z$  para um dado nível de serviço;
- $\sigma_{DLT}$  [kg]: desvio-padrão da demanda durante o *lead time*;
- $\sigma_{LT}$  [dia]: desvio-padrão do *lead time*;
- $\overline{LT}$  [dia]: *lead time* médio;
- $D_{prev}(i)$  [kg/dia]: saídas ou demandas de matéria-prima previstas no período analisado;
- $\overline{D}$  [kg/mês]: demanda média;
- $\sigma_D$  [kg/mês]: desvio-padrão da demanda;
- $ErroD(i)$  [kg/dia]: erro entre a demanda prevista e a demanda real para o período analisado;
- $\overline{ErroD}$  [kg/mês]: erro entre a demanda prevista e a demanda real médio;
- $\sigma_{ErroD}$  [kg/mês]: desvio-padrão do erro entre a demanda prevista e a demanda real;
- $D(i)$  [kg/dia]: saídas ou demanda de matéria-prima para o período analisado;
- $S(i)$  [kg]: saldo em estoque no período analisado;
- $S(i - 1)$  [kg]: saldo no período anterior ao analisado;
- $P(i)$  [kg]: entradas ou recebimento de matéria-prima no período analisado;
- $\overline{Sstk}(j)$  [kg]: estoque médio do cenário analisado;
- $S_{out}(j)$  [kg]: quantidade de estoque que faltou no cenário analisado;
- $C_{tot}(j)$  [R\$]: função custo total para o cenário analisado;
- $\overline{Sstk}(k)$  [kg]: média do estoque médio dos 1000 cenários gerados pela simulação de Monte Carlo;
- $S_{out}(k)$  [kg]: quantidade média de estoque que faltou nos 1000 cenários gerados pela simulação de Monte Carlo;
- $C_{tot}(k)$  [R\$]: função custo total médio para os 1000 cenários gerados pela simulação de Monte Carlo;
- $C_{min}$  [R\$]: Custo total mínimo para o sistema analisado;
- $C_{stk}$  [R\$]: custo de manter estoque;
- $C_{out}$  [R\$]: custo de falta;



### **Lista de Abreviaturas e Siglas**

MRP I: Material Requirements Planning ou Planejamento de Necessidades Materiais.

MRP II: Manufacturing Resources Planning ou Planejamento de Recursos de Produção.

ERP: Enterprise Resources Planning ou Planejamento de recurso corporativo.

ES: Estoque de Segurança.

Teste K-S: Teste Kolmogorov–Smirnov.

PCP: Planejamento e controle de produção.



## 1 Introdução

Atuando em ambientes cada vez mais competitivos, as organizações têm procurado novas tecnologias que lhes permitam utilizar as informações relevantes de forma unificada e integrada, visando apoiar, em caráter permanente e contínuo, o seu processo decisório (Lima et al., 2007). As empresas utilizam a tecnologia para obter competitividade e diferenciais em relação aos seus concorrentes, estabelecer boas relações com fornecedores e estruturar internamente suas operações. A tecnologia adquire importância estratégica para empresa a partir do momento em que essa possibilita mudanças na maneira de realizar cada uma das atividades da cadeia de valor, aumentando sua eficiência individual e principalmente por possibilitar a alteração da natureza dos elos entre as atividades (Barretini, 2010). A busca por maior competitividade no mercado passa pela eliminação de perdas durante o processo produtivo, sendo que uma das mais relevantes e evidentes em uma indústria diz respeito ao estoque.

O investimento em estoque é um dos fatores mais importantes para a adequada administração financeira de uma empresa. Esta proeminência pode ser consequência tanto da participação deste ativo no total de investimento, quanto da relevância de gerir o ciclo operacional. Nesse âmbito, uma política de estoques adequada é fundamental para o bom desempenho de uma organização. Mensurar os custos, avaliá-los e reduzi-los na medida correta fazem parte da estratégia da área de produção. Decisões quanto ao volume, quando e como produzir refletem nos resultados financeiros da empresa e devem, portanto, ser bem observadas.

Segundo Ballou (2006), estoques são acúmulos de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados distribuídos ao longo da cadeia de suprimentos. A gestão dos estoques envolve algumas das mais importantes decisões a serem tomadas pelas empresas. Uma boa política de estoques pode ser fator determinante para o sucesso no cenário competitivo atual. Nesse cenário, na qual todos os produtos já possuem nível de qualidade similar após anos de desenvolvimento e aplicação das ferramentas da qualidade, a disponibilidade de produto ganha importância como fator de decisão de compra para o cliente. Desta forma, o controle de estoque ocupa um papel importante nos sistemas de produção. Uma política imprópria de controle de estoque leva a falhas, que geram despesas, ou a ações desnecessárias, que diminuem os ativos de capital. Assim, métodos de planejamento de fornecimento eficientes para ordenar a quantidade correta de componentes no momento certo devem ser desenvolvidos, principalmente em ambientes em que ocorrem incertezas. Koh, Saad e Jones (2002) classificam estas incertezas em duas categorias principais: entrada (como fonte externa, tempo de ressuprimento ou confiabilidade da demanda) e processo (como quebra da máquina, etc.).

Para minimizar a influência dessas incertezas e garantir a disponibilidade de produto, as empresas recorrem à manutenção de estoques de segurança em diversos pontos da cadeia de suprimentos. De acordo com Martins e Laugeni (2005), o estoque de segurança é uma proteção contra possíveis problemas considerando a incerteza na demanda ou na reposição do estoque. Makridakis (1993) demonstra que a fonte de incerteza na demanda está relacionada com a acurácia dos modelos de previsão. Já, a fonte de incerteza na

## **Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

reposição do estoque está relacionada com a disponibilidade de equipamentos, problemas de qualidade ou atrasos de entrega de fornecedores (Garcia, Lacerda e Benício, 2001).

A escolha da política de reposição é importante e depende do tipo de produto. Hautaniemi e Pirttila (1999) propõem uma classificação dos itens para selecionar um método apropriado. As previsões de demanda fornecem informações sobre as necessidades finais; estas informações devem ser transmitidas dos centros de distribuição para os locais de produção e para os fornecedores de matérias-primas por meio das atividades de planejamento de acordo com Ballou (2006). Para isso, as técnicas de Planejamento de Recursos Materiais (MRP) são amplamente utilizadas. Existe uma grande quantidade de softwares de controle de inventário baseado na abordagem MRP. Em um ambiente determinístico, utilizar esta lógica fornece resultados satisfatórios. Entretanto, para planejar o fornecimento em um ambiente estocástico, esse método precisa de alguma parametrização.

Segundo Dolgui, Louly e Prodhon (2005) na literatura, existem vários modelos para lidar com a incerteza na demanda, mas apenas alguns artigos lidam simultaneamente com incertezas causadas pela demanda e pelo tempo de reposição (*lead time*). Apesar de ainda pouco estudado pela literatura, considerar ambos os aspectos simultaneamente é uma abordagem mais realista e deve interessar a comunidade acadêmica e industrial.

O objetivo deste trabalho é determinar a quantidade de estoque de segurança que minimiza os custos com a gestão de matérias-primas em um ambiente com incertezas na demanda e no *lead time* de fornecimento. A metodologia seguida neste trabalho foi um estudo de caso onde buscou-se compreender, identificar e simular os principais causadores dos problemas de gestão de estoques no ambiente de pesquisa. Para a execução do método os seguintes passos foram seguidos: 1 – Escolha do produto analisado, 2 – Coleta de dados para modelagem, 3 – Criação do modelo em função das variáveis selecionadas; 4 – Simulação e otimização dos custos para determinação do ES ótimo. Optou-se por utilizar a simulação de Monte Carlo e gerar diversos cenários com base nos dados inseridos na metodologia, pois assim é possível obter uma média que incorpora diversas situações e reflete melhor a realidade do que apenas o uso da média e do desvio padrão, sem repetição.

Este trabalho de conclusão é segmentado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução onde o tema, gestão de estoques, é inserido no contexto mais amplo do gerenciamento da cadeia de suprimentos, bem como é ressaltada a importância da manutenção de estoques de segurança. Os objetivos são apresentados, bem como a descrição das etapas utilizadas na metodologia para alcançar os objetivos propostos. No segundo capítulo, a bibliografia partiu de uma visão macro de gestão de estoques, passando por custos da gestão de estoques, regras de tamanho de lote, classificação de materiais, principais desafios e principais técnicas utilizadas na gestão de estoques. Esses tópicos foram revisados com base em obras relevantes e publicações periódicas atualizadas, de acordo com o que é aplicado ou o que é interessante de ser identificado na empresa em estudo. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa, tendo por objetivo garantir os aspectos de validade e fidedignidade do trabalho e também as características da empresa em análise. O quarto capítulo apresenta e discute os

resultados alcançados. Por último, o quinto capítulo apresenta as conclusões mais importantes deste trabalho.

## **2 Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Gestão de Estoques**

Segundo Assaf Neto (2009), estoques são materiais, mercadorias ou produtos que são fisicamente mantidos disponíveis pela empresa, com expectativa de ingresso no ciclo de produção ou de serem comercializados. O autor indica ainda algumas causas da existência de estoques:

i) proteção contra a interrupção no fluxo de produção: os estoques asseguram que interferências no fornecimento de matéria-prima não prejudicarão o fluxo das atividades até a resolução do problema. Se a produção dependesse diretamente da entrega do fornecedor, esta passaria à dependência dos prazos acordados;

ii) características econômicas particulares de cada setor: em alguns setores, a produção encontra-se concentrada em determinadas épocas do ano, enquanto a demanda está distribuída ao longo do ano; assim a organização não consegue uma saída para os seus produtos na mesma proporção da oferta. O contrário também justifica a conservação dos estoques;

iii) perspectiva de aumento imediato do preço do produto: nesse caso admite-se que o ganho obtido por adquirir o produto antes da alta compensa os custos de estocagem;

iv) proteção contra perdas inflacionárias: esse fato é evidenciado quando o mercado de capitais não se encontra plenamente desenvolvido e as alternativas de investimento não são adequadas;

v) política de vendas do fornecedor: quando recebe descontos dos fornecedores para adquirir maior quantidade de matéria-prima, o administrador é incentivado a ter maior comprometimento de recursos em estoques.

Para Ballou (2001), os estoques agem como “amortecedores” entre suprimento e demanda. A demanda pode ser de venda ou de produção, em se tratando de estoques de matérias-primas necessárias às etapas de produção de algum bem. Além disso, o autor assinala que se a demanda for previsível não é necessário manter estoques, isto é, quanto mais precisa for a previsão de demanda, mais simples de controlar os estoques. No entanto, como a previsão é sujeita a incertezas, as empresas utilizam estoques para reduzir os efeitos causados pelas variações de oferta e procura.

#### *2.1.1 Conceitos da gestão de estoques*

##### *2.1.1.1 Custos da gestão de estoques*

A boa gestão de estoques passa obrigatoriamente pelo conhecimento de todos os custos que envolvem o seu controle. De acordo com Ross, Westerfield e Jordan (2002) alguns custos que estão diretamente ligados aos estoques podem ser classificados em:

###### *2.1.1.1.1 Custo de manutenção*

Está relacionado a todos os custos necessários para manter certa quantidade de mercadorias por determinado período de tempo. Normalmente, para manter estoques, estão inclusos custos de armazenagem e controle, de seguro, impostos, deterioração,

obsolescência, furto e custo de oportunidade do capital aplicado em estoques, que significa o retorno de investir em outro investimento que não este.

#### 2.1.1.1.2 Custo de Ressuprimento

O Custo de Ressuprimento está ligado aos custos fixos administrativos relativos ao processo de aquisição da quantidade requerida para reposição do estoque.

#### 2.1.1.1.3 Custo de Falta

O custo de falta ocorre quando as empresas buscam reduzir ao máximo seus estoques, podendo acarretar no não-cumprimento do prazo de entrega, proporcionando uma multa por atraso ou cancelamento do pedido do cliente. Além disso, a imagem da empresa se desgasta e isso acarreta um custo elevado e difícil de mensurar.

#### 2.1.1.2 Regras de tamanho de lote

Segundo Corrêa, Gianesi e Caon (2007), independentemente do modelo de gestão de estoques escolhido, o principal objetivo da gestão de estoques se refere a quando e quanto ressuprir o estoque de um determinado item, à medida que ele vai sendo consumido pela demanda. A forma de determinação do momento do ressuprimento e a quantidade a ser ressuprida são o que de fato diferencia os diversos sistemas de gestão de estoques disponíveis. A regra do tamanho de lote é necessária, pois muitas vezes é melhor agrupar várias ordens de compra ao invés de pedir apenas as necessidades líquidas para um período de tempo, pois a segunda opção permite reduzir o estoque, mas não leva em conta aspectos econômicos e organizacionais. Além disso, o custo de pedido é muito mais elevado que o custo em manter o estoque.

As principais regras de lote de compra são:

##### 2.1.1.2.1 Ponto de reposição

Segundo Corrêa, Gianesi e Caon (2007) todas as vezes que determinada quantidade do item é retirada do estoque, verifica-se a quantidade restante. Se esta quantidade restante é menor que uma quantidade predeterminada (chamada “ponto de reposição”), compra-se (ou produz-se internamente, conforme o caso) determinada quantidade chamada “lote de ressuprimento”. O fornecedor leva determinado tempo (chamado “tempo de ressuprimento” ou *lead time*) até que possa entregar a quantidade pedida, ressuprindo o estoque. O funcionamento do modelo de ponto de reposição é ilustrado na Figura 1.

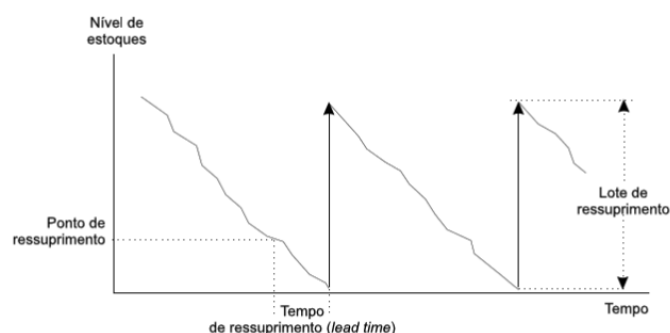


Figura 1 – Ponto de reposição

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

### 2.1.1.2.2 Revisão periódica

Segundo Corrêa, Giansesi e Caon (2007), este modelo é de operação mais simples que o anterior. Periodicamente, verifica-se o nível de estoque do item e, baseados no nível de estoque encontrado, determina-se a quantidade a ser ressuprida, de modo que, ao recebê-la, seja atingido um nível de estoques predeterminado. Este sistema é ilustrado na Figura 2,

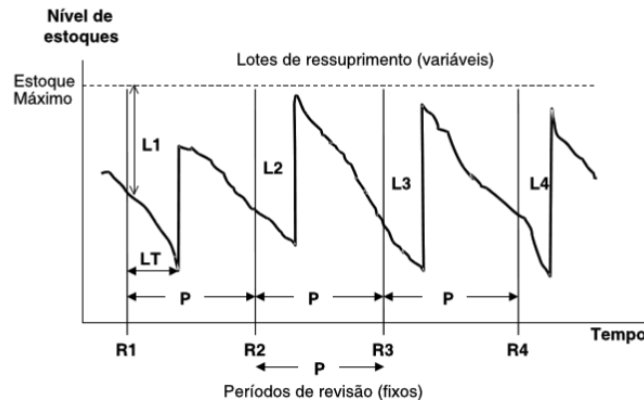


Figura 2 – Sistema de revisão periódica de compra.

onde:

R é o tempo em que é realizada a revisão do estoque e efetuando o próximo pedido de compra;

L é o tamanho do lote de compra;

LT é o tempo de ressuprimento;

P é o período de revisão (fixo).

### 2.1.1.3 Classificação de materias – Curva ABC

A técnica da Curva ABC é uma forma de classificar todos os itens de estoque de determinado sistema de operações em três grupos, baseados em seu valor total anual de uso. Segundo Corrêa, Giansesi e Caon (2007), o objetivo desta técnica é definir grupos para os quais diferentes sistemas de controle de estoque serão mais apropriados, resultando em um sistema total mais eficiente em custos. Usa-se, dessa forma, sistemas mais caros de operar que permitem um controle mais rigoroso para controlar itens mais importantes, enquanto sistemas mais baratos de operar e menos rigorosos são utilizados para itens menos “importantes” (em valor de uso).

A Figura 3 apresenta um exemplo de aplicação de Curva ABC. Pode-se notar que na região classificada como A, poucos itens são responsáveis por grande parte do valor de uso total. Logo, estes deveriam ser os itens a merecerem maior atenção gerencial, para os quais vale mais a pena manter controles de estoque mais precisos e rigorosos. Os benefícios do esforço de redução de estoques médios de itens A são muito maiores do que os benefícios de um esforço similar despendido para manter estoques mais baixos de itens C, que são responsáveis por uma parcela muito menor do valor de uso total dos itens de estoque.



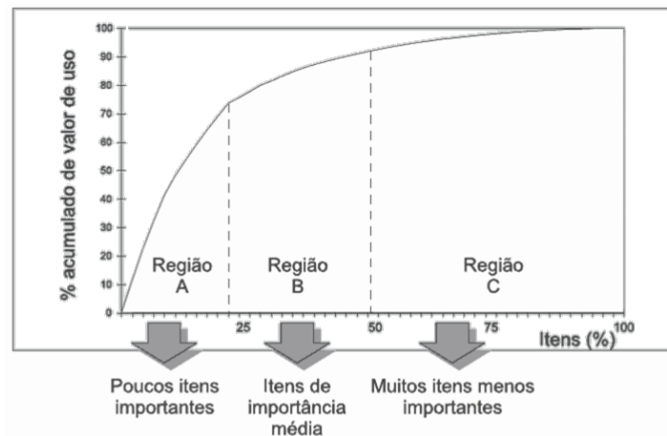


Figura 3 – Conceito de curva ABC

### 2.1.2 Principais desafios da gestão de estoques

Segundo Wakne (2008), o principal desafio da gestão de estoques é o gerenciamento do custo de estoques e nível de serviço aos consumidores, onde nível de serviço está relacionado ao nível de demanda do cliente que pode ser atendido pelo fornecedor. Dentre os diversos fatores que levam as empresas a reduzir seus estoques sem alterar a disponibilidade de produtos aos seus clientes o autor destaca:

- (i) a diversidade crescente no número de produtos, tornando mais complexa e trabalhosa a contínua gestão dos níveis de estoque, dos pontos de pedido e dos estoques de segurança;
- (ii) o foco gerencial na redução do Capital Circulante Líquido, uma das medidas adotadas por diversas empresas que desejam maximizar seus indicadores financeiros.

### 2.1.3 Principais técnicas usadas na gestão de estoques

Existem diversas alternativas de técnicas e lógicas que podem ser usadas para atingir os objetivos estratégicos da organização referente as questões logísticas básicas de o que, quando e quanto comprar ou produzir. Segundo Corrêa, Giansi e Caon (2007), as três principais são: os sistemas MRP II (sigla em inglês de *Manufacturing Resources Planning*), que se baseiam fundamentalmente no cálculo de necessidades de recursos a partir das necessidades futuras de produtos, os sistemas Just in Time, que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora certa e os sistemas de programação da produção com capacidade finita, que se utilizam fundamentalmente das técnicas de simulação em computador.

A metodologia utilizada neste trabalho será o MRP II que segundo Ebner E Vollmann (1988) e Orlicky E Plossl (1975) é a metodologia de planejamento e controle de produção mais usada nas companhias. Nahmias e Vollman (2005) concordam que apesar de apresentar falhas se não for bem parametrizado, o conceito MRP é ainda amplamente utilizado. Além disso, os autores falam que uma das principais desvantagens do conceito MRP é que ele não leva em consideração as incertezas inerentes no planejamento, tais como as incertezas na demanda e no ressurgimento.

## **Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

### **2.1.3.1 MRP II**

O modelo MRP dos anos 70 apresentava três elementos básicos para gerenciamento da produção: programa mestre de produção; lista de materiais; e quantidades em estoque. O programa mestre de produção consiste na definição das quantidades de cada produto final que se deseja produzir em cada período dentro do horizonte de planejamento. Na lógica MRP, os produtos finais, que incluem produtos acabados e peças de reposição, são denominados produtos com demanda independente, uma vez que a demanda é definida externamente ao sistema de produção, conforme as necessidades do mercado. Em contrapartida, a demanda por matérias-primas e componentes está ligada à programação da produção e, por isso, são denominadas demanda dependente. Neste caso, esta demanda interna, apesar de bastante irregular em função da intermitência das operações, é previsível (Laurindo e Mesquita, 2000).

Esse modelo permite o cálculo das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos de manufatura, ou seja, materiais, mão de obra e equipamentos, tudo isso objetivando baixo estoque e eficiência na entrega. O mesmo dispara ordens de produção de acordo com o cronograma da fabricação dos produtos finais, onde as necessidades dos componentes são calculadas a partir desses produtos, ou seja, é feita a chamada “explosão dos produtos finais” (Oliveira Neto et al., 2010).

Sob a ótica da programação e planejamento convencional da produção, o MRP II busca, pela sua própria definição, os estoques necessários para a realização da produção. Em outras palavras, por mais que se busque trabalhar com níveis baixos de armazenamento, o sistema MRP acaba por gerar estoques, os quais Slack et al. (2002) define como acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação. Por ser um sistema completamente informatizado o MRP II apresenta uma ampla difusão do seu uso pelas indústrias. No entanto, observa-se que ainda há muitos receios, no aspecto operacional, em “lidar com o sistema”, dificuldades de entendimento e rejeições que impedem, muitas vezes, a operacionalização total e eficaz desses sistemas pelas empresas (Oliveira, 2006).

Na literatura, podem-se encontrar diversos estudos com o objetivo de definir os parâmetros usados no MRP para um ambiente com incertezas. Neles, frequentemente, apenas o nível de incerteza na demanda (quantidade) e no *lead time* (tempo) são considerados (Nahmias, 1997; Vollmann, 2005; Berry e Whybark, 1997). O primeiro significa que a demanda não é exatamente conhecida com a antecedência necessária, ou seja, a demanda prevista para um período pode ser diferente da demanda real para este mesmo período. O último significa que o *lead time* real pode ser diferente do *lead time* planejado, sendo assim, o ressuprimento planejado para o período pode não chegar no tempo apropriado.

## **2.2 Estoque de Segurança**

GALBRAITH (1973) define incerteza como a diferença entre a quantidade de informação requerida para realizar uma tarefa e a quantidade de informação que já se possui. No mundo real, há muitas formas de incerteza que podem afetar o processo produtivo. Ao longo dos anos, inúmeros estudos vêm sendo realizados com o intuito de calcular os parâmetros usados no planejamento de produção de forma adequada para lidar com essas

incertezas, principalmente no que diz respeito às incertezas na demanda. O modelo de Simpson (1958) pode ser considerado como um dos trabalhos iniciais que trataram da incerteza da demanda em sistemas de produção com vários estágios. O modelo determina a combinação dos tempos de serviço oferecidos em cada etapa para satisfazer as ordens dos clientes em um nível de serviço predeterminado. Inderfurth (1991) estende esse trabalho e estabelece a política ótima para as cadeias de fornecimento, levando em consideração o impacto da correlação da demanda e o tamanho do estoque de segurança. Inderfurth e Minner (1998) lidam com diferentes medidas de serviço que restringem a quantidade de estoque de segurança. Seu modelo propõe encontrar o valor de segurança que cobre as flutuações da demanda durante um período de tempo chamado de tempo de cobertura.

A definição mais direta sobre o estoque de segurança, segundo Ballou (2006), é de que se trata de certa quantidade de estoque necessária para suprir a demanda dada a incerteza na própria demanda e no *lead time*. Portanto, o estoque de segurança só é aplicado aos modelos de estoque estocásticos, onde o resultado do sistema depende, além dos dados de entradas fornecidos, de outros fatores aleatórios que representam as incertezas presentes na gestão de estoques. Buzzacott e Shanthikumar (1994) afirmam que, o estoque de segurança tem como finalidade balancear o custo de estoque com o custo da falta de estoque. Esse balanço, segundo Winston (2003), também é chamado de nível de serviço. De acordo com Baker (1985), admitindo que as incertezas influenciam o nível de serviço são normalmente distribuídas, um fator de serviço  $K$  é atribuído para um nível de serviço desejado, ou seja, o fator  $K$  é um múltiplo de desvios-padrão da fonte de incerteza, e pode ser obtido através do escore  $z$  da distribuição normal padrão. Por exemplo, para um nível de serviço desejado de 90%, o fator  $K$  seria de 1,28 desvios-padrão da incerteza envolvida. Segundo Santos e Rodrigues (2006), quando a demanda é incerta e normalmente distribuída, a relação entre a quantidade de estoque de segurança necessária para um nível de serviço desejado é definida como:

$$ES = \sigma_{DLT} * K \quad (1)$$

onde:

ES é o estoque de segurança;

$\sigma_{DLT}$  é o desvio-padrão da demanda durante o *lead time*;

$K$  é o fator de segurança, determinado pelo escore  $z$  para um dado nível de serviço.

Pela abordagem apresentada, não ter estoque de segurança significa trabalhar com um nível de serviço de 50% ( $K=0$ ), ou seja, em 50% dos casos será possível atender a demanda do cliente e nos outros 50% não será possível, como pode ser visto na Figura 4. A medida que aumenta a quantidade de estoque de segurança aumenta também o nível de serviço, ou seja, maior vai ser o percentual da demanda do cliente que será atendida.

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

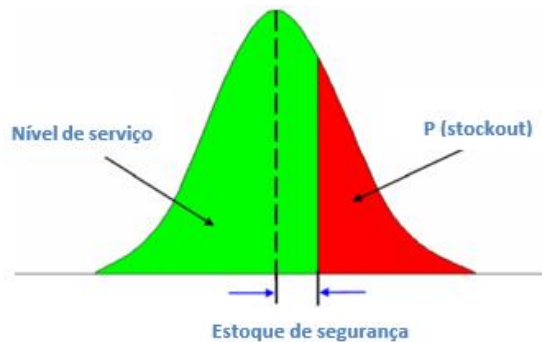


Figura 4 – Distribuição normal da demanda

Considerando um *lead time* também com distribuição normal, o cálculo do estoque de segurança pode ser descrito por:

$$\sigma_{DLT} = \sqrt{((\sigma_D)^2 * \overline{LT} + (\sigma_{LT})^2 * \overline{D}^2)} \quad (2)$$

onde:

$\overline{LT}$  é o lead time médio;

$\overline{D}$  é a demanda média;

$\sigma_D$  é o desvio-padrão da demanda;

$\sigma_{LT}$  é o desvio-padrão do *lead time*.

Pela formulação apresentada, pode-se concluir que valores muito altos de nível de serviço podem gerar uma necessidade de estoque de segurança muito alto, tornando-se muitas vezes impeditiva sua implementação. Por outro lado, segundo Ross, Wesrerfield e Jordan (2002) os custos da falta de estoque também costumam ser altos, principalmente quando o cenário não permite que a demanda não atendida possa ser suprida futuramente (não é permitido *backorder*).

Além da dificuldade de se determinar o nível de serviço que proporcione o mínimo custo total, Eppen e Martin (1988) mostraram que nem sempre a demanda se comporta como uma distribuição normal, o que pode causar erros na determinação do estoque usando a abordagem acima mencionada. Chopra, Reinhardt e Dada (2004) apresentam os efeitos da incerteza do *lead time* no estoque de segurança, comparando *lead times* com distribuições normal e gama. Segundo Dolgui, Louly e Prodhon (2005), os estoques de segurança são importantes para a produção, uma vez que eles visam contornar as incertezas presentes no planejamento.

Graves e Willams (2000) simplificam o problema de definição do estoque de segurança de sua natureza estocástica para ser um problema de otimização determinística. A demanda do cliente é considerada como uma variável aleatória, enquanto o tempo de execução do ressuprimento é assumido como determinístico. A demanda estocástica é suprida por um valor máximo obtido a partir de sua média e desvio padrão. Persona et al. (2007) também considera a demanda como uma variável aleatória normalmente

distribuída enquanto considera o tempo de entrega constante ao abordar o problema da determinação do estoque de segurança baseados em custos.

### 2.3 Simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo é um método matemático que envolve números aleatórios e distribuições de probabilidade para simulação de cenários e análise de resultados (Donatelli e Konrath, 2005). Segundo Lustrosa, Ponte e Dominas (2004), a simulação de Monte Carlo utiliza a geração de números aleatórios para atribuir valores às variáveis do sistema que se deseja investigar. Sendo assim, gera randomicamente diversos valores para as variáveis de entrada e, de acordo com as combinações realizadas, retorna as variáveis de saída que são o foco do estudo (Moore e Weatherford, 2005).

Segundo Saraiva et al. (2011), o resultado é armazenado a cada iteração e, ao final de todas as repetições, a sequência de resultados gerados é transformada em uma distribuição de frequências que possibilita calcular estatísticas descritivas, como média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão. Ainda é possível, projetar cenários futuros de operação do sistema de análise (Lustrosa, Ponte e Dominas, 2004).

Shamblim e Stevens (1974) propõem seis passos que devem ser seguidos para aplicação do método. Primeiramente, deve-se definir as variáveis envolvidas no sistema em análise com base em dados passados ou em estimativas subjetivas dos pesquisadores. Em um segundo momento, deve-se avaliar como se comportam as distribuições de probabilidade das variáveis selecionadas. A terceira etapa do método consiste em definir, para cada variável selecionada, os intervalos de incidência dos números aleatórios, com base nas distribuições de frequência acumuladas projetadas. A quarta etapa consiste em gerar os números aleatórios utilizados na simulação e na quinta etapa utilizar os números gerados nos intervalos de classe de cada variável selecionada no início do estudo. Por fim, deve-se simular o experimento para obtenção dos resultados.

Por seu caráter genérico, a simulação de Monte Carlo pode ser utilizada em qualquer estudo que pretenda simular cenários. Tendo em vista tal fato, é comum encontrar aplicações desse modelo em diversos setores. Saraiva et al. (2011) utilizaram essa técnica para realizar uma análise econômica de pedido, enquanto que Rogers et al. (2004) avaliaram o risco da gestão financeira de estoques por meio dessa ferramenta. Menossi (2002) avaliou os riscos associados a redução de estoque de matéria-prima em uma indústria petroquímica. Beck e Anzanello (2014) avaliaram os impactos de distintos pontos de reposição, *lead time* e tamanho de lote sobre os custos da gestão de estoques. Antônio, Júnior e Anzanello (2016) comparam dois modelos de gestão de estoque variando o nível máximo de estoque e avaliando o nível de serviço obtido.

## **Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

### **3 Metodologia**

Neste capítulo será descrita a metodologia utilizada para a otimização do estoque de segurança de matérias-primas no ambiente de pesquisa.

Para a execução do método os seguintes passos foram seguidos:

- (i) Escolha do produto analisado;
- (ii) Coleta de dados para modelagem;
- (iii) Criação do modelo em função das variáveis selecionadas;
- (iv) Simulação e otimização dos custos para determinação do ES ótimo

#### **3.1 Escolha do produto analisado**

A empresa na qual este trabalho se baseia é uma empresa do setor petroquímico, constando em seu portfólio um amplo número de produtos. Para obter as características desejadas pelos diversos clientes que a empresa atende, os produtos são fabricados utilizando diferentes matérias-primas, resultando assim em um número elevado de matérias-primas no ambiente pesquisado. Os seguintes critérios foram usados para auxiliar na escolha da matéria-prima cujo dados foram coletados:

- (i) os produtos com maior participação na movimentação em armazéns e maior participação econômica perante outros tendem a possuir maior impacto em futuras melhorias, portanto devem ser priorizados. Para realizar esta análise foi utilizado o método da Curva ABC (Tópico 2.1.1.3);
- (ii) é importante que o produto selecionado possua informações disponíveis para as variáveis escolhidas para modelagem.

#### **3.2 Coleta dos dados**

Depois da escolha do item a ser analisado, foi realizada a busca de dados históricos para modelar a curva de estoques junto aos indicadores do ambiente pesquisado. A coleta de dados de entrada para o modelo levou em conta as variáveis responsáveis por alterar o nível de estoques, ou seja, os recebimentos e as demandas. Para que análises estatísticas posteriores pudessem balizar o modelo gerado, foi preciso encontrar a função de distribuição de probabilidade destes dados. Caso não fosse possível identificar um padrão de distribuição conhecido na literatura (normal, exponencial, beta, entre outras), uma função de distribuição deveria ser gerada com base nas frequências apresentadas em seus dados históricos. Quanto às variáveis causadoras de problemas de estoques, incerteza na demanda e nos recebimentos, o mesmo procedimento foi realizado. Se não houvesse dados históricos, as variáveis poderiam ser modeladas e utilizadas, porém seria preciso trabalhar em um processo de análise de sensibilidade ou análise de cenários para simulação dos resultados possíveis para os parâmetros estimados.

#### **3.3 Criação do modelo em função das variáveis selecionadas**

Para que o modelo gerado pudesse representar o custo em função do estoque de segurança, as variáveis escolhidas tinham que estar de algum modo vinculadas ao excesso de estoques ou não atendimento a pedidos, as principais saídas geradas pelo modelo. O

modelo computacional foi gerado em função das variáveis acumuladoras e consumidoras de estoque de modo que sempre respeitem o balanço de massa para o sistema:

$$S(i) = S(i - 1) + P(i) - D(i) \quad (3)$$

onde:

$S(i)$ : saldo em estoque no período analisado;

$S(i-1)$ : saldo no período anterior ao analisado;

$P(i)$ : entradas ou recebimento de matéria-prima no período analisado;

$D(i)$ : saídas ou demanda de matéria-prima no período analisado;

$i$ : horizonte de análise, em dias. Com  $i = 0, 1, 2, \dots, i$  máximo, onde  $i$  máximo é o último dia analisado.

O horizonte de análise ( $i$ ) foi considerado numa linha de tempo contínua, com consumos diários e tempos entre recebimentos respeitando o tempo de ressuprimento e sua incerteza. A unidade de medida dos estoques ( $S(i)$ ) utilizada foi em kg de matéria-prima. A demanda ( $D(i)$ ) e o ressuprimento ( $P(i)$ ) foram então modelados de acordo com a função de distribuição de probabilidade que se adequa aos dados para o item escolhido. Gerando assim curvas de estoque que representam melhor a realidade do ambiente de pesquisa do que a apresentada na Figura 5 que não considera as incertezas existentes na demanda e no *lead time*.

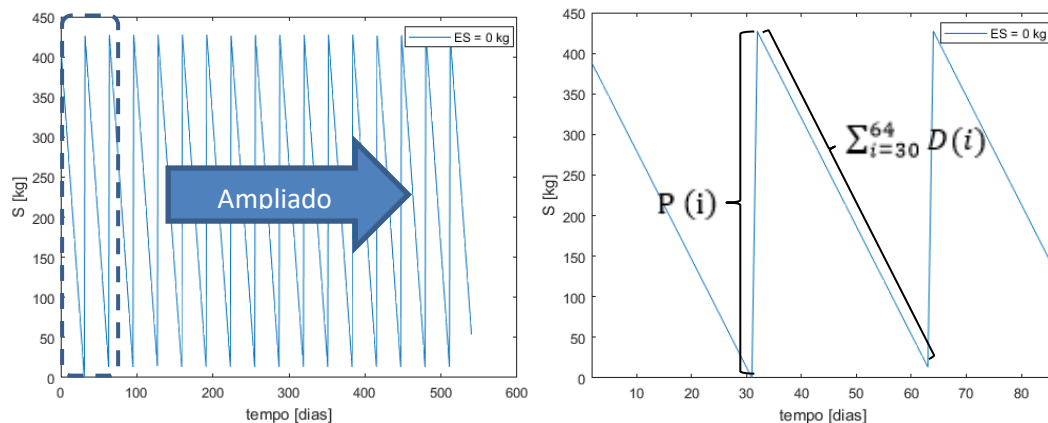


Figura 5 – Curva de estoques em um ambiente sem incertezas destacando o efeito da demanda e do ressuprimento no estoque  $S(i)$

Além disso, foi utilizado um modelo para a simulação dos custos totais de estoque, conforme a . Nele, a função custo  $C_{tot}(j)$  é apontada como função do excesso em estoque multiplicado por uma constante de excesso em estoque  $C_{stk}$ , somada à escassez multiplicada por outra constante de falta de estoques  $C_{out}$ . Os valores considerados para a constante de excesso em estoque  $C_{stk}$  foram parametrizadas de forma a apresentar os custos do produto, adicionados aos custos unitários de ressuprimento, e, para constante de escassez  $C_{out}$ , a parametrização foi realizada para representar o custo de não ganho de um atendimento a uma demanda/pedido por produto. Este valor foi parametrizado para representar a margem de contribuição do item Valor de Venda subtraído dos Custos adicionado de uma penalização. Onde  $j$  é o cenário analisado, com  $j = 1, 2, 3, \dots, N$ , onde  $N$  é o número total de cenários simulados utilizando Monte Carlo.

### Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

$$C_{tot}(j) = C_{out} * S_{out}(j) + C_{stk} * \bar{S}_{stk}(j) \quad (4)$$

onde  $\bar{S}_{stk}(j)$  é o estoque médio mantido durante o cenário analisado e  $S_{out}(j)$  é a medida de não atendimento da demanda do cliente que foi obtida pelo somatório da demanda não atendida por falta de matéria-prima, conforme Figura 6.

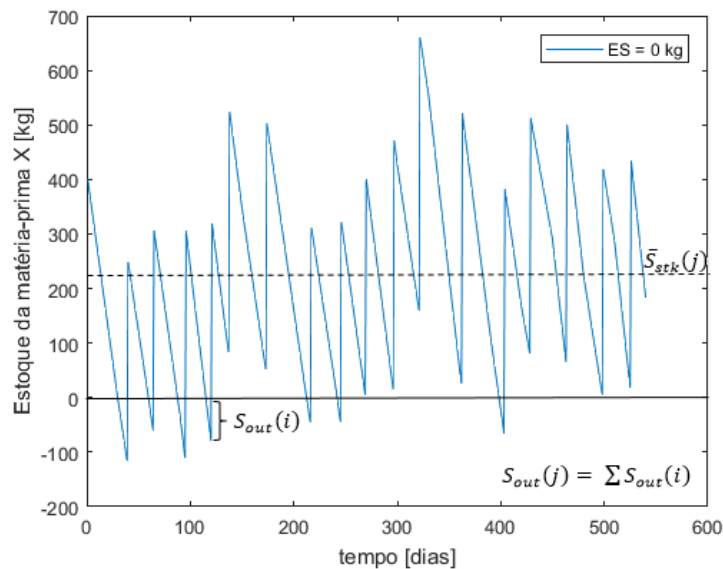


Figura 6 – Simulação da curva de estoque para um cenário destacando o  $\bar{S}_{stk}(j)$  e o  $S_{out}(j)$

#### 3.4 Simulação e otimização dos custos para determinação do ES ótimo

A simulação de Monte Carlo foi utilizada a fim de testar o modelo gerado diversas vezes, buscando mitigar possíveis problemas de viés produtivo. As análises foram realizadas utilizando a média das saídas de interesse obtidos pela simulação de Monte Carlo para  $N = 1000$ , conforme mostrado na Figura 7.



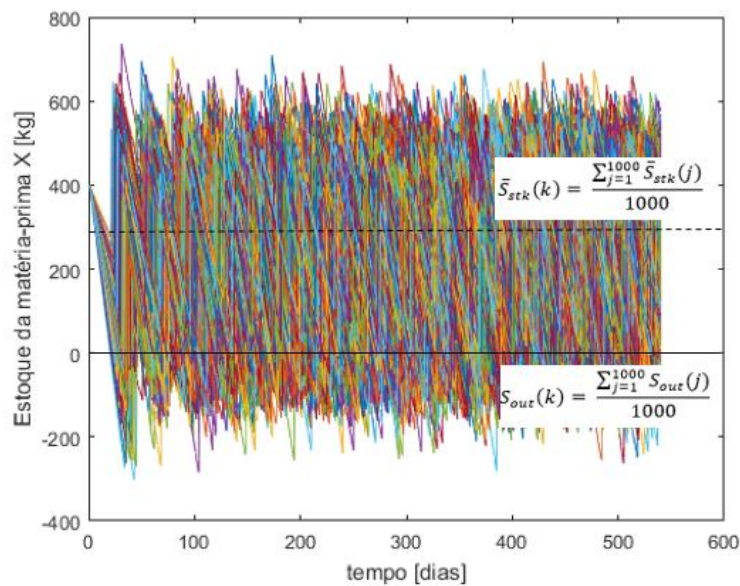


Figura 7 – Ilustração dos 1000 cenários de estoques geradas pela simulação de Monte Carlo utilizadas para obter a média das variáveis usadas nas análises

As saídas foram utilizadas para encontrar o valor de estoque de segurança ótimo que deve ser mantido a fim de otimizar os custos variando a relação entre as constantes  $C_{out}$  e  $C_{stk}$ .

### 3.5 Formulação do Problema

#### 3.5.1 Caracterização e ambientação do estudo de caso

O planejamento de matérias-primas da indústria petroquímica em que esta pesquisa se baseia ocorre de forma integrada. Os pedidos de produto final são realizados pelos clientes junto à área comercial que informa as demandas para o programador e controlador de produção (PCP). PCP cria o plano mestre de produção onde consta os montantes de produção agregados por lote de produto final para os próximos meses de produção levando em conta a produção necessária para atender a demanda prevista do cliente, as capacidades de produção de cada planta e as equações de balanço de inventário. O planejador de produção utiliza o plano mestre de produção gerado por PCP para obter a demanda de matéria-prima necessária para atender as demandas dos produtos finais pelo método de gestão de estoques chamado de MRP II/ERP utilizando a lista mestre de matérias. Na lista de matérias é estabelecida a relação de quantidade e *lead time* entre o produto final e suas matérias-primas, conforme ilustrado na Figura 8. O ressurgimento ocorre seguindo a lógica de ponto de reposição, onde novos recebimentos são programados para chegar quando o estoque tende a ser igual o estoque de segurança. Os custos com falta de matéria-prima tendem a ser elevados, pois pode ocasionar a não produção de diversos produtos deixando de atender o cliente.

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

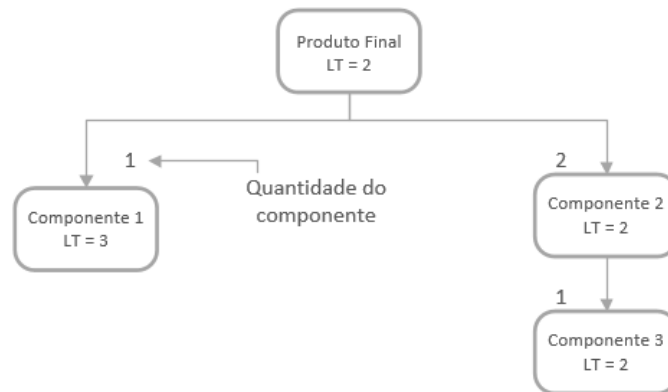


Figura 8 – Exemplo de uma lista de materiais

### 3.5.2 Aplicação do método

Nesta seção a metodologia proposta será aplicada no ambiente de pesquisa.

### 3.5.3 Escolha do produto analisado

Como a empresa lida com diversas matérias primas, foi utilizado o método da Curva ABC para identificar a matéria-prima com maior impacto financeiro para ser analisada neste trabalho. Sendo assim os seguintes passos foram seguidos:

- 1) para cada item de estoque, foi determinado quantidade total utilizada no ano anterior (em alguns casos onde foi possível, usou-se as quantidades projetadas para uso no futuro);
- 2) determinou-se o custo médio de cada um dos itens de estoque;
- 3) calculou-se para cada item de estoque o custo anual total de uso, multiplicando o custo médio de cada item, levantado em 2, pela quantidade correspondente utilizada levantada em 1;
- 4) ordenou-se em uma lista todos os itens em valor decrescente do valor de uso estabelecido em 3.
- 5) calcularam-se os valores acumulados de valor de uso para toda a lista, na ordem definida em 4.
- 6) calcularam-se os valores acumulados determinados em 5 em termos percentuais relativos ao valor total acumulado de valor de uso para o total dos itens.
- 7) plotou-se num gráfico os valores calculados no item 6, conforme
- 8) Figura 9.
- 9) definiram-se as três regiões conforme a inclinação da curva resultante: região A, de grande inclinação; região B, de média inclinação (em torno de 45°); região C, de pequena inclinação.

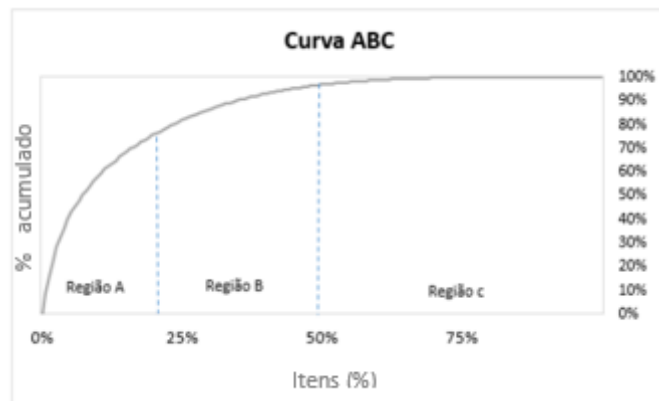


Figura 9 – Escolha do produto a ser analisado utilizando a Curva ABC

Como esperado a região A possui cerca de 20 % do número total de itens e representa financeiramente cerca de 80 % do valor gasto com o uso de todos os materiais. Além disso, pode-se observar que as regiões A e B juntas têm cerca de 50% do número total de itens em estoque e que representam mais que 95% do valor movimentado total. O uso da curva ABC é essencial em ambientes com muito itens e serve para priorizar os itens que tem maior impacto e, portanto, que devem ter uma maior atenção. Desta forma dentre todos os itens, foi escolhido para ser analisado o de maior impacto financeiro que pertence a Região A, o qual será chamado de item X.

#### 3.5.4 Coleta dos dados

Para simular a curva de estoque foi realizada a coleta dos dados, referente à demanda, ao erro na previsão da demanda e ao *lead time* no período de um ano, para o item X nos indicadores do ambiente de pesquisa e foi verificado se a distribuição dos dados seguiam a distribuição normal através do teste Kolmogorov-Smirnov.

##### 3.5.4.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov .

O teste de Kolmogorov-Smirnov também chamado de teste K-S destina-se a averiguar se uma amostra pode ser considerada como proveniente de uma população com uma determinada distribuição. O teste funciona comparando para cada número real  $x$ , duas percentagens:

- a percentagem de valores da amostra inferiores ou iguais a  $x$ ;
- a percentagem de valores da população inferiores ou iguais a  $x$ , admitindo que a população tem a distribuição  $D$ .

Se o valor absoluto da maior das diferenças obtidas puder ser considerado suficientemente pequeno, então os dados levarão à aceitação da hipótese  $H_0$ . Neste trabalho, a hipótese de a população ter distribuição normal foi aceita. Sendo assim, estas curvas foram modeladas conhecendo a média e o desvio padrão destes dados. Caso a distribuição normal não pudesse ser usada uma outra distribuição que melhor se adeque aos dados deveria ser encontrada e utilizada.

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

---

### 3.5.4.2 Premissas utilizadas

Os dados utilizados para gerar o modelo da curva de estoque desenvolvido em Matlab® Versão 2017a, seguiram as seguintes premissas:

- (i) modelo de estoque estocástico de revisão contínua, com revisão diária do estoque;
- (ii) a demanda seguirá uma distribuição normal;
- (iii) o erro na demanda seguirá uma distribuição normal;
- (iv) o *lead time* seguirá uma distribuição normal;
- (v) o reposição do estoque será no início do período proposto pela curva de estoque e considerando as incertezas no fornecimento;
- (vi) a quantidade a ser repostada no estoque considerará a demanda prevista durante o *lead time* para o próximo período;
- (vii) toda a demanda não atendida no período será perdida, ou seja, não será permitido formar *backorder*;
- (viii) para fins de simplificação, o estoque inicial foi suposto igual à demanda média mais o estoque de segurança,  $S(1) = \bar{D} + ES$ ;

### 3.5.5 Criação do modelo em função das variáveis selecionadas

#### 3.5.5.1 Horizonte de tempo da curva de estoques simulada

O vetor tempo representa o eixo das abscissas da curva de estoques e variou de 0 até  $i$  máximo. Ele foi expresso em dias e  $i$  máximo foi obtido multiplicando o nº meses totais que se deseja simular multiplicado por 30, considerando que cada mês tem trinta dias.

$$i \text{ máximo} = n^{\circ} \text{ meses totais} * 30 \quad (5)$$

O tempo total de duração de cada cenário foi modelado levando em conta o tempo em que a curva de estoque deseja ser analisada, i.e., 12 meses, mais o *lead time* médio do item em questão, i.e. 30 dias, acrescido de um período de segurança, de 5 meses, que será descontado das análises. O período de segurança está relacionado aos valores iniciais obtidos pelo modelo. Eliminado os dados obtidos durante esse período pode-se garantir que o estado estacionário foi atingido e obter assim resultados e conclusões que representem melhor a realidade.

$$n^{\circ} \text{ meses totais} = n^{\circ} \text{ meses} + \frac{LT}{30} + n^{\circ} \text{ meses. seg} \quad (6)$$

onde:

$n^{\circ} \text{ meses totais}$  : número total de meses simulados nas análises;

$n^{\circ} \text{ meses}$ : número de meses que deseja-se analisar;

$n^{\circ} \text{ meses seg}$ : número de meses que serão descontados das análises.

#### 3.5.5.2 Modelagem das cdemanda e suas incertezas

A demanda foi modelada de acordo com a distribuição dos dados obtida para o item X no ambiente de pesquisa no último ano. A demanda prevista foi obtida utilizando o plano

mestre de produção informado por PCP e conhecendo-se a lista de materiais de todos os produtos finais. A quantidade a ser comprada será realizada com base nessa demanda prevista que é obtida pela Equação 7. Esta equação foi dividida por 30 para fornecer o consumo diário, com base na média e desvio padrão da demanda mensal.

$$D_{prev}(i) = \frac{\bar{D} + \sigma_D * randn}{30} \quad (7)$$

onde:

$D_{prev}(i)$ : demanda prevista para o período analisado;

$\bar{D}$ : demanda média;

$\sigma_D$  : desvio-padrão da demanda;

$randn$ : função usada para gerar números aleatórios normalmente distribuídos (média nula e desvio padrão unitário).

No ambiente de pesquisa, a incerteza na demanda é a principal variável causadora de problemas de gerenciamento de estoques, uma vez que a demanda realmente consumida pode ser maior ou menor que a demanda prevista por inúmeros fatores, por exemplo, devido um aumento na produção que não havia sido planejado. No caso de a demanda real ser maior que a demanda prevista, pode ocorrer a falta de matéria-prima e o não atendimento de um pedido aumentando assim os custos de falta. No caso de a demanda real ser menor que a demanda prevista, leva a um aumento de estoque de matéria-prima e consequente aumento do custo de manutenção de estoques. Sendo assim, foi obtido o erro entre a demanda prevista por PCP e a demanda realizada. A equação também foi dividida por 30 para fornecer o consumo diário, com base na média e desvio padrão da demanda mensal.

$$ErroD(i) = \frac{\overline{ErroD} + \sigma_{ErroD} * randn}{30} \quad (8)$$

onde:

$ErroD(i)$  erro entre a demanda prevista e a demanda real para o período analisado;

$\overline{ErroD}$ : erro entre a demanda prevista e a demanda real médio;

$\sigma_{ErroD}$ : desvio-padrão do erro entre a demanda prevista e a demanda real;

A demanda obtida pela Equação 9 representa a quantidade de item X que realmente é consumida do estoque durante o período i e que é utilizada na Equação 3 para gerar as curvas de estoques. Ela foi obtida pela soma da demanda prevista com o erro da demanda, representando assim a incerteza na demanda que existe durante o planejamento de matérias-primas. Afinal, na maioria dos casos a demanda real é diferente da demanda prevista utilizada para realizar o ressuprimento. Desta forma, é essencial considerar, a incerteza na demanda para obter o valor de estoque de segurança adequado para o sistema analisado. Note que a demanda obtida é constante ao longo do mês e varia de um mês para o outro.

$$D(i) = D_{prev}(i) + ErroD(i) \quad (9)$$

### Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

---

#### 3.5.5.3 Modelagem do ressuprimento e suas incertezas

O ressuprimento foi modelado para ocorrer quando o estoque disponível no período  $i$  (que é o estoque atual do período  $i$  descontado do estoque de segurança) mais os recebimentos programados é menor ou igual a demanda prevista pelo cliente entre  $i$  o *lead time* médio.

$$[S(i) - ES] + \sum_i^{end} P(i) \leq \sum_i^{i+LT} D_{prev}(i) \quad (10)$$

Para todo valor de  $i$  que satisfaça a equação acima, um novo recebimento será programado para chegar no empo igual a  $i + LT$ . Caso não existissem incertezas no ressuprimento ou estas fossem insignificantes, o  $LT$  poderia ser considerado igual ao *lead time* médio. Como no ambiente de pesquisa, as incertezas no *lead time* são significativas, elas devem ser consideradas. Neste caso, o  $LT$  foi obtido levando em conta a distribuição normal e restringindo que o recebimento não poderia ser programado com dez dias a menos que a média do *lead time*, pois parte se do princípio que o fornecedor não poderia entregar assumindo tal antecedência.

$$LT = \max(\overline{LT} - 10, \text{ceil}(\overline{LT} + \sigma_{LT} * \text{randn})) \quad (11)$$

Depois de definido quando cada entrega será realizada, precisa-se definir quanto será entregue. Esta quantidade deverá ser suficiente para suprir a demanda prevista durante o *lead time* pelo plano mestre de produção a partir do dia do recebimento, obtida pelo  $\sum_i^{i+LT} D_{prev}(i)$ , na  $\sum_i^{i+LT} D_{prev}(i)$ , mais uma quantidade extra para repor parte do estoque de segurança que possa ter sido usada. Por exemplo, caso o estoque previsto em  $i + LT$  seja de 120 kg de matéria-prima e o  $ES = 120\text{kg}$ , pedindo apenas o  $\sum_i^{i+LT} D_{prev}(i)$  será suficiente para que o estoque previsto no próximo recebimento seja igual ao  $ES$ . No entanto, se o estoque previsto em  $i + LT$  for de 110 kg de matéria-prima e o  $ES = 120\text{kg}$  e for pedido apenas a quantidade de matéria-prima para atender a demanda do cliente durante o *lead time* no próximo recebimento o estoque previsto será de 10 kg abaixo do  $ES$ , fornecido por  $S(i + LT) - ES$ . Para que o estoque previsto no próximo recebimento seja igual ao  $ES$  mesmo quando o  $S(i + LT) \neq ES$  deverá ser pedido a mais essa diferença.

$$P(i + LT) = \sum_i^{i+LT} D_{prev}(i) - (S(i + LT) - ES) \quad (12)$$

#### 3.5.6 Simulação e otimização dos custos para determinação do $ES$ ótimo.

Para encontrar o custo total mínimo para o item  $X$  do ambiente de pesquisa foi calculado o custo total obtido pela Equação 4, variando a quantidade de estoque de segurança, possibilitando assim encontrar o custo mínimo e conseqüentemente o valor ótimo de estoque de segurança que deve ser mantido.

## 4 Resultados

Os resultados foram obtidos com base nos seguintes dados utilizados para gerar o modelo da curva de estoque para o item X do ambiente de pesquisa:

- Demanda, com  $\bar{D} = 400$  kg e  $\sigma_D = 50$  kg;
- Erro na demanda, com  $\overline{ErroD} = 0$  e  $\sigma_{ErroD} = 50$ ;
- *Lead time*, com  $\overline{LT} = 30$  dias e  $\sigma_{LT} = 4$  dias;
- Estoque inicial, com  $S(1) = 400 + ES$ ;

### 4.1 Estudo da relação entre $S_{out}(j)$ e $\bar{S}_{stk}(j)$ com o ES

Foi realizada a análise do impacto da variação da quantidade de estoque de segurança nas variáveis de escassez  $S_{out}(j)$  e de excesso de estoque  $\bar{S}_{stk}(j)$ . A Figura 10 mostra a relação entre a média no número de faltas (para a simulação Monte Carlo realizada) e o estoque de segurança.

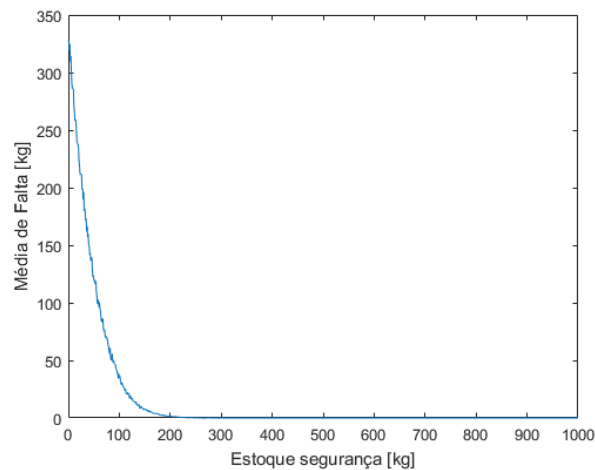


Figura 10 –  $S_{out}(j)$  em função do estoque de segurança

Pela Figura 10, pode-se observar que aumentando o estoque de segurança a quantidade média de falta de matéria-prima diminui exponencialmente até chegar a zero. Isto pode ser explicado pelo fato de, que aumentando a quantidade de estoque de segurança, o sistema é capaz de absorver mais as incertezas presentes no planejamento sem ter falta de estoque. A Figura 10 mostra a relação entre o estoque médio (para a simulação Monte Carlo realizada) e o estoque de segurança.

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

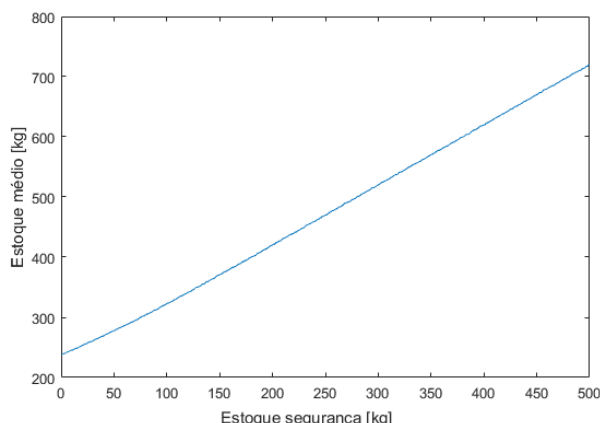


Figura 11 –  $S_{stk}(j)$  em função do estoque de segurança

Por outro lado, observando a Figura 11, pode-se perceber que aumentando o estoque de segurança aumenta-se o estoque médio do sistema linearmente. A Tabela 1 mostra a relação entre a média das variáveis de falta de estoque e de estoque médio e o estoque de segurança.

Tabela 1 - Relação entre  $S_{out}(j)$  e  $\bar{S}_{stk}(j)$  com o estoque de segurança

ES	0	100	200	300	400	500
$S_{out}(k)$	330	30	1	0	0	0
$\bar{S}_{stk}(k)$	240	310	410	510	610	710

Na Tabela 1, pode-se verificar em um ambiente sem estoque de segurança a quantidade média de falta é maior que o estoque médio para o item X. Para estoque de segurança a partir de 200 kg de matéria-prima a quantidade média de falta é praticamente nula, no entanto o estoque médio é quase o dobro do estoque médio sem estoque de segurança. Desta forma, para obter o estoque ótimo para o sistema que equilibre a diminuição de quantidade média de falta com o aumento do estoque médio em função do aumento do estoque de segurança é preciso levar em conta os custos envolvidos.

### 4.2 Otimização dos custos e determinação do ES ótimo

O custo total do estoque é fornecido pela Equação 4 e é função da soma entre a parcela relacionado ao custo com falta de estoque, obtida pela quantidade média de falta multiplicada pelo custo de falta, com a parcela relacionada à manutenção de estoque, obtida pelo estoque médio multiplicado pelo custo de manutenção de estoque. A fim de ilustrar o efeito da parcela relacionada a falta e a manutenção de estoques no custo total, em um primeiro momento será considerado que o custo de falta ( $C_{out}$ ) é igual ao custo de manutenção ( $C_{stk}$ ).

Utilizando a Equação 4, com  $C_{out} = C_{stk} = 1$  e variando a quantidade de estoque de segurança de 0 a 500 obteve-se a Figura 12. Nela nota-se que o custo total (curva verde) tem forte influência da parcela relacionada à falta de estoques (curva vermelha) até alcançar o seu valor mínimo quando passa então a ser mais influenciado pela parcela



relacionada a manutenção de estoques (curva azul). Isto é esperado uma vez que assume-se que o custo de falta e de manutenção de estoques são iguais, o custo total passa a ser diretamente proporcional à quantidade de falta e ao estoque médio, cuja relação com o estoque de segurança já foi analisada no item 4.1. Encontrando o custo mínimo de estoque pode-se obter o estoque de segurança ótimo para o sistema que para este caso é de 106 kg de matéria-prima para um custo de R\$ 350.

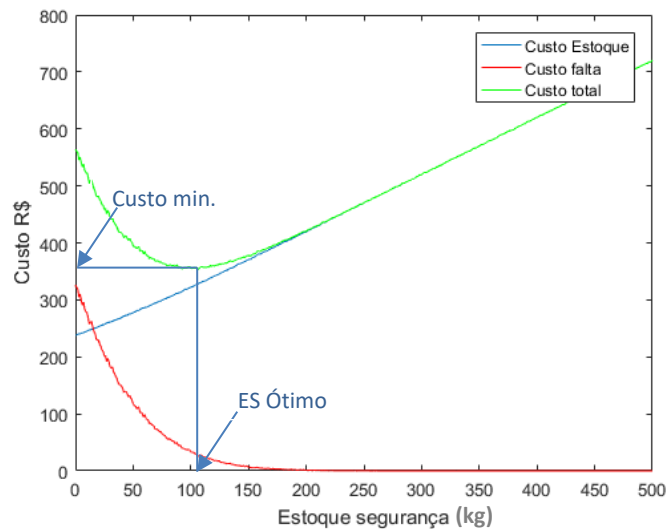


Figura 12 – Curva dos custos para  $C_{out} = C_{stk} = 1$

### 4.3 Estudo da relação entre $C_{out}$ e $C_{stk}$ com o ES

Conhecendo-se a forma de obter o estoque de segurança ótimo do sistema foi verificada a influência da relação entre os custos de manutenção e de falta nos valores de custo mínimo e estoque de segurança ótimo. Para auxiliar nesta análise foi utilizado o parâmetro  $Y$ , que é a relação entre o custo de falta e custo de manutenção. Por exemplo,  $Y = 10$  significa que o custo de falta é dez vezes maior que o custo de manutenção para o item em questão.

$$Y = \frac{C_{out}}{C_{stk}} \quad (13)$$

Foram analisados 4 cenários diferentes com  $Y=0,1$ ,  $Y=10$ ,  $Y=100$  e  $Y=1000$ , ou seja, aumentando o custo de falta em relação ao custo de manutenção de estoque. Pode-se concluir pela Figura 13.(A) que quando o custo de falta é menor que o custo de manutenção o estoque de segurança ótimo é um valor bem baixo, afinal o custo total aumenta rapidamente com o aumento do estoque médio. Desta forma o estoque de segurança ótimo para  $Y=0,1$  foi de apenas 3 kg de matéria-prima e um custo mínimo de R\$ 2700. Para  $Y=10$  o custo de falta é mais significativo do que o custo de manutenção de estoques, assim o custo mínimo para o sistema ocorre em  $ES = 177$  kg e é de R\$ 417, de acordo com a Figura 13.(B). Pode-se observar que à medida que o custo de falta aumenta, maior é o valor de estoque de segurança ótimo que minimiza os custos de estoques, sendo assim a medida que o custo de falta se torna mais caro é melhor financeiramente manter um estoque médio mais elevado e garantir que não ocorra falta de estoque, o que pode ser verificado na Figura 13.(C) e Figura 13.(D), onde o custo total é muito elevado para valores baixos de

## Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica

estoque de segurança e praticamente não variam para valores elevados. Por questões de sigilo, não será analisado aqui os custos reais de falta e de manutenção para o item X, mas por se tratar de uma matéria-prima pode-se afirmar que o custo de falta é mais caro do que o de manutenção e, portanto, faz sentido manter estoque de segurança para atender a demanda do cliente frente as incertezas existentes no ambiente de pesquisa.

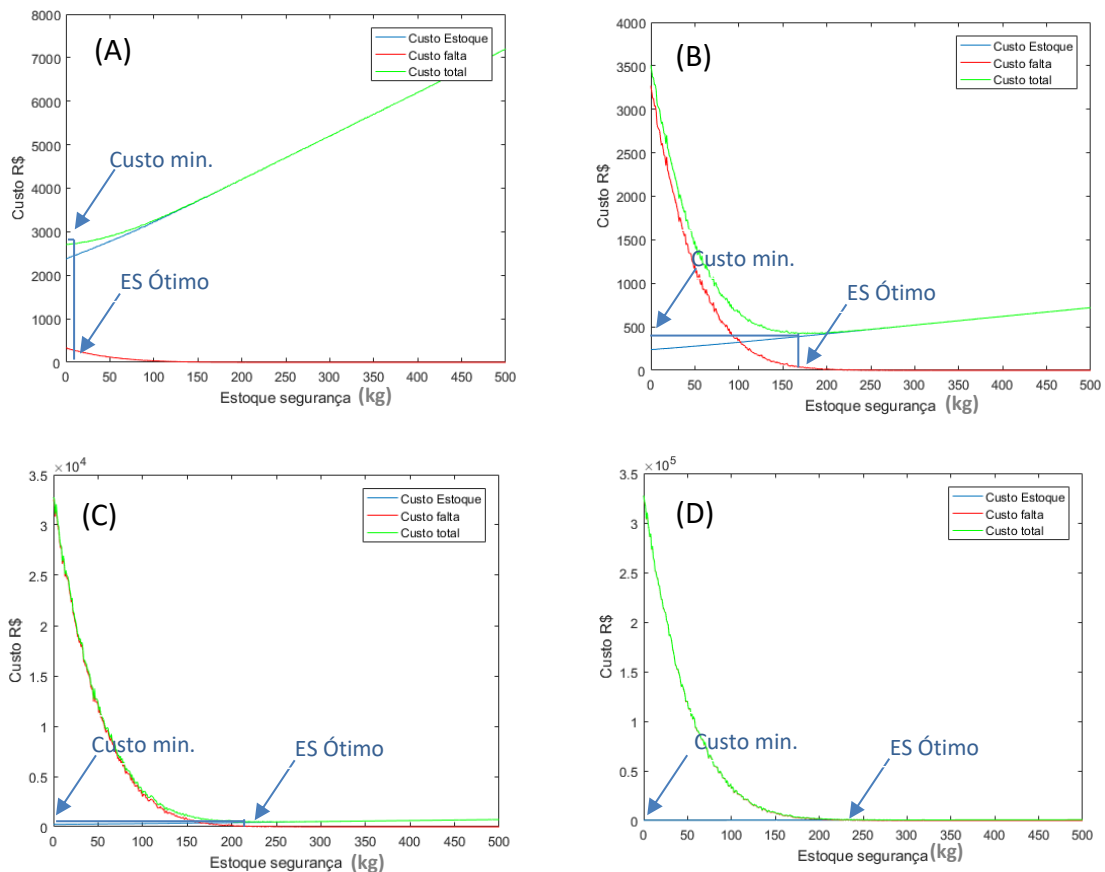


Figura 13 – Curva dos custos para diferentes valores de Y. (A) para Y = 0,1, (B) para Y = 10, (C) para Y = 100 e (D) para Y = 1000

### 4.4 Relação entre o nível de serviço e o ES ótimo

Utilizando a Equação 1, com ES igual ao estoque de segurança ótimo obtido pela simulação de Monte Carlo para os valores de Y analisados anteriormente, foi possível obter o valor de K ótimo para cada cenário. Sabendo que o nível de serviço é igual ao inverso da distribuição normal de K foram obtidos os valores de nível de serviço ótimo que minimizam os custos de estoques conforme mostrado na . Analisando os valores obtidos pode-se concluir que à medida em que o custo de falta aumenta, deve-se aumentar o nível de serviço para minimizar os custos, em outras palavras, maior deve ser a parte de demanda do cliente atendida. Para ambientes no qual o custo de falta é 10 vezes maior que o custo de manutenção o nível de serviço deve ser maior do que 99%.

Tabela 2 – Relação entre o nível de serviço e X

Y	0,1	1	10	100	1000
$C_{totmin}$ (R\$)	2700	354	417	460	518
$ES_{otm}$ (kg)	3	106	177	229	266

$K_{otm}$	0,04	1,45	2,42	3,13	3,64
Nível de serviço	51,5%	92,6%	99,2%	99,9%	99,9%

#### 4.5 ES x taxa de falhas

A taxa de falhas está relacionada ao percentual de cenários que apresentam falta de estoque pelo menos uma vez frente ao número total de cenários gerados. Desta forma quanto maior a taxa de falhas menor é o nível de serviço. De acordo com a Figura 14, pode-se verificar que a taxa de falhas diminui exponencialmente com o aumento do estoque de segurança. Este resultado era esperado uma vez que quanto maior o estoque de segurança maior é o estoque médio mantido e, portanto, mais o sistema é capaz de absorver as incertezas presentes no planejamento.

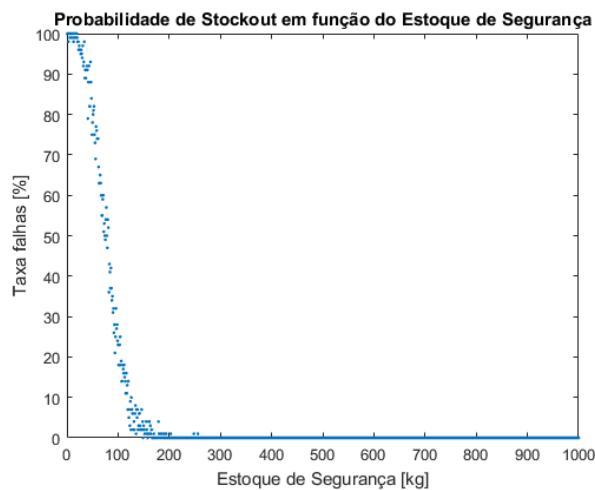


Figura 14 – Taxa de falhas em função do estoque de segurança

#### 4.6 Incertezas x taxa de falhas

A fim de observar o impacto das incertezas na taxa de falhas, foi utilizado ES=120 kg, valor proposto pela para um nível de serviço de 95%, e este valor foi mantido constante para não influenciar na análise. Observa-se na Figura 15 que a taxa de falhas aumenta quando aumentam as incertezas tanto na demanda quanto no *lead time*. Sendo assim, caso fosse de interesse manter o nível de serviço constante, com o aumento do desvio padrão, seria necessário aumentar o estoque de segurança. É importante destacar que a incerteza no *lead time* muitas vezes é desconsiderada por tornar o cálculo do estoque de segurança mais complexo, mas que em um ambiente onde atrasos nas entregas são frequentes pode levar o sistema a uma taxa de falhas maior que a planejada e consequentemente a um nível de serviço menor do que o esperado. Por exemplo, analisando a Figura 15 pode-se perceber que mantendo um estoque de segurança de 120 kg é esperado menos do que 20% de falta de estoque em um ambiente sem incertezas no *lead time*. Caso o desvio padrão real do *lead time* seja de 4 dias e este não esteja sendo considerado, a taxa de falhas passa dos 50%, mostrando assim a importância de conhecer o ambiente de trabalho e de considerar as incertezas no ressuprimento caso essas existam.

**Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

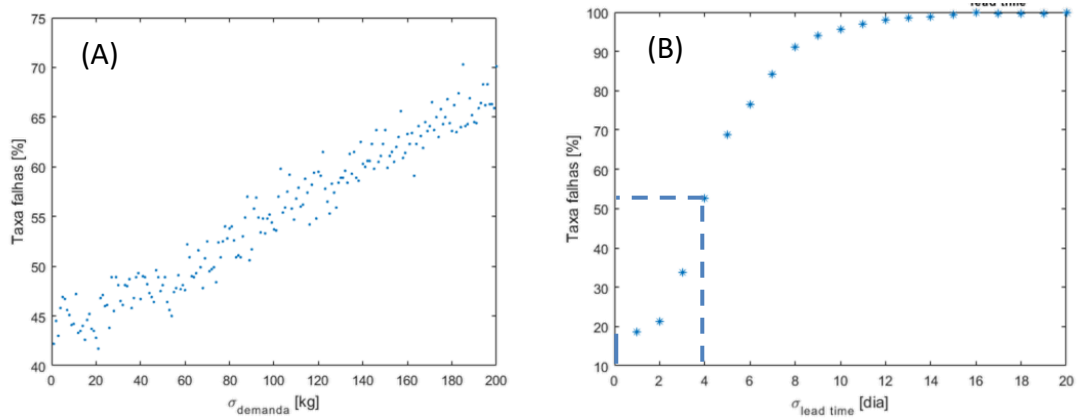


Figura 15 – Taxa de falhas em função das incertezas (A) na demanda e (B) no *lead time*

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho permitiu analisar a curva de estoque em um ambiente estocástico considerando as incertezas na demanda e no tempo de ressuprimento de acordo com a distribuição que melhor se adequa aos dados do ambiente de pesquisa. Utilizando a simulação de Monte Carlo e os custos envolvidos na gestão de estoques, foi possível obter o estoque de segurança ótimo para cada situação. A simulação de Monte Carlo utilizada neste trabalho mostrou-se de grande serventia e simplicidade. Sendo que esta segunda característica certamente colaborou na consagração deste método como uma das ferramentas mais apropriadas para a simulação de problemas de características estocásticas.

Analisando os resultados, é possível concluir que o fator de serviço ideal para cada situação está diretamente relacionado aos custos de manutenção e de falta. E que o valor de estoque de segurança obtido com o fator de serviço de 95% é próximo ao valor ótimo obtido pela Simulação de Monte Carlo para o item X apenas quando os custos de falta e de manutenção de estoques são próximos. Tal conclusão era esperada uma vez que os custos não são levados em conta no cálculo pela Equação 1. Em ambientes onde o custo com falta é maior que 10 vezes o custo com manutenção, foi verificado que o fator de serviço ótimo deveria ser maior que 99%. Desta forma, sugere-se utilizar o modelo criado para obter o valor de estoque de segurança ótimo e consequentemente o melhor nível de serviço para cada caso.

Outra análise importante está na geração dos dados utilizados. Grande parte das orientações pesquisadas na literatura apresentam modelos de parametrização de estoques que buscam intervalos de confiança para atendimento a prazos e demandas que estão vinculados a uma distribuição normal, por exemplo o da Equação 1. Neste trabalho a demanda e os prazos foram modelados seguindo esta distribuição, pois foi verificado pelo teste K-S que esta distribuição se adequava aos dados para o item X que foi analisado. No entanto, utilizando o modelo gerado através da simulação de Monte Carlo outra distribuição poderia ser facilmente utilizada caso fosse de interesse modificando as equações utilizadas para obter a demanda e o lead time.

Entre as limitações deste trabalho, encontram-se a aplicação do modelo a apenas um produto e em apenas a um ambiente, não permite generalizações para outras classes de produtos e outros tipos de negócios. Para estudos futuros, considera-se conveniente testar o modelo gerado para mais itens a fim de verificar a reprodutibilidade dos resultados obtidos nesta pesquisa e também de comparar os valores de estoques de segurança propostos pela Equação 1 com os obtidos por modelos gerado para itens com distribuição diferente da normal.

## **Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

### **6 Referências**

Antônio, L., Júnior, N., & Anzanello, M. J. (2016). Revista Gestão Industrial Comparação de gestão de estoque via simulação de Monte Carlo, 2011, 181–197.

ASSAF NETO, A. Finanças corporativas e valor. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009. ASSAF.

BAKER, K. R. *Safety Stocks and Component Commonality*. *Journal of Operations Management* Vol.6, n.1, p.13-22, 1985.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos. Planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

Ballou, R. H. (2006) 'The evolution and future of logistics and supply chain management' TT - A evolução e o futuro da logística e do gerenciamento da cadeia de suprimentos', *Production*, 16(3), pp. 375–386.

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5ªed. Porto Alegre: *Bookman*, 2006.

BARRETINE, A. Uma análise de jogos de empresas na área de planejamento da produção e uso integrado de sistemas de informações. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Bauru, 2010.

Beck, T., & Anzanello, M. (2014). Análise Da Gestão De Estoques Utilizando Simulação De Monte Carlo. Lume- Ufrgs, 1–19. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10183/103735>

BUZZACOTT, J. A.; SHANTHIKUMAR, J. G. *Safety stock versus safety time in MRP controlled production systems*. *Management Science*, v. 40, n. 3, p. 1678-1689, 1994.

CHOPRA, S.; REINHARDT, G. & DADA, M. *The Effect of Lead time Uncertainty on Safety Stocks*. *Decision Sciences* Vol. 35, n.1, 2004.

Corrêa, H. L., Giancesi, I. G. N. and Caon, M. (2007) Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP.

Donatelli, G. D.; Konrath, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

DOHI, T.; OKAMURA, H. & OSAKI, S. *Optimal control of preventive maintenance schedule and safety stocks in an unreliable manufacturing environment*. *International Journal of Production Economics* Vol. 74, p.147-155, 2001.

Dolgui, A., Louly, A. O., & Prodhon, C. (2005). *A survey on supply planning under uncertainties in MRP environments*. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 16, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.02.007>

Ebner, M. L. and Vollmann, E. T. (1988) 'Manufacturing systems for the 1990s', in *1st International Conference on Expert Systems and Leading Edge in Production Planning and*

*Control*, University of South Carolina, The Benjamin Cunnings Publishing Company, Redwood, CA, pp. 317–337

EPPEN, G. D.; MARTIN, R. K. *Determining safety stock in the presence of stochastic lead time and demand. Management Science*, v. 34, n. 11, p. 1380-1390, 1988.

Galbraith, J. R. (1973) *Designing Complex Organizations, Organization development*. doi: 10.2307/248839.

GARCIA, E. S.; LACERDA, L. S. & BENÍCIO, R. A. Gerenciando Incertezas no Planejamento Logístico: O papel do Estoque de Segurança. *Revista Tecnológica*, Fevereiro 2001, São Paulo.

Graves, S. C., & Willems, S. P. (2000). *Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. Manufacturing and Service Operations Management*, 2(1), 68–83.

HAUTANIEMI, P.; PIRTILÄ, T. *The choice of replenishment policies in an MRP environment. International Journal of Production Economics*, v. 59, n. 1, p. 85-92, 1999.

Inderfurh, K. (1991), *Safety Stock optimization in Multi-Stage Inventory Systems, International Journal of Production Economics*, 24, 103-113.

INDERFURTH, K.; MINNER, S. *Safety Stocks in multi-stage inventory systems under different service measures. European Journal of Operational Research*, v. 106, p. 57-73, 1998.

LAURINDO, F. J. B.; MESQUITA, M. A. *Material Requirements Planning: 25 Anos De História – Uma Revisão Do Passado E Prospecção Do Futuro*. In: *GESTÃO & PRODUÇÃO* v.7, n.3, p.320-337, 2000.

LIMA, M. S.; CARRIERI, A. P.; OIMENTEL, T. D. Resistência à mudança gerada pela implementação de sistemas de gestão integrada (ERP): Um Estudo de Caso. In: *Revista Gestão e Planejamento*, V. 8, N°.1 | p. 89-105. Salvador, 2007.

Lustrosa, P. R. B.; Ponte, V.M. R.; Dominas, W. R. *Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração*. São Paulo: Atlas, 2004.

MAKRIDAKIS, S. *Accuracy measures: theoretical and practical concerns. International Journal of Forecasting*, n.9, p.527-529, 1993.

MARTINS, P.G. & LAUGENI, F.P. *Administração da Produção*. 2 ed.: Saraiva, 2005.

Metropolis, N.; Ulam S. The Monte Carlo method *Journal of the American Statistical Association*, vol.44 n0 247, Setembro 1949, pp.335-341.

Moore, J. H.; Weatherford, L. R. *Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas*. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

Nahmias, S. (1997). *Production and operations analysis*.

Nahmias, S., 2005. *Production and Operations Analysis*, fifth ed. McGraw-Hill, New York.

### **Análise do estoque de segurança ótimo a ser mantido em função dos custos utilizando simulação de Monte Carlo em uma indústria petroquímica**

---

OLIVEIRA NETO, G. C.; CHAVES, L. E. C.; SACOMANO, J. B. Planejamento e controle da produção na indústria de borracha voltada para a mineração - Um Estudo de Caso. In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói/RJ, 2010.

OLIVEIRA, L. S. Um estudo sobre os principais fatores na implantação de sistemas ERP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2006.

Orlicky, J. A. and Plossl, G. W. (1975) 'Orlicky's Material Requirements Planning', *Order A Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications*, 16(3), pp. 105–107.

Persona, A., Battini, D., Manzini, R., & Pareschi, A. (2007). *Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components. International Journal of Production Economics*, 110(1–2), 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.020>

Rogers, P.; Rebeiro, K. C. S.; Rogers, D. Avaliando o risco na gestão financeira de estoques. In: Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais. 2004.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. Princípios de administração financeira. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

Santos, A. M.; Rodrigues, I. A. O trade-off entre a folga na capacidade de produção e o nível de estoque, *Revista Gestão Industrial*, v. 13, n. 2, 2006.

Saraiva, A. F.; Tabosa, C. M.; Costa, R. P. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. *Produção*, v. 21, n. 1, 2011.

Shamblin, J. E.; Stevens, G. T. *Operations research: a fundamental approach*. New York: McGraw-Hill, 1974.

Simpson, K.F. (1958). *In-process inventories*. *Oper. Res.* 6, 863-73.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

Vollmann, T., Berry, W., & Whybark, D. (1997). *Manufacturing Planning and Control Systems*. Irwin: McGraw-Hill.

Vollmann, T.E., Berry, W.L., Whybark, D.C., Jacobs, F.R., 2005. *Manufacturing planning and control systems for supply chain management*, fifth ed. McGraw-Hill, New York.

WANKE, P. Gestão de estoques na cadeia de suprimento. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WINSTON, W. L. *Operations Research – Application and Algorithms*. 4 ed.: Duxbury Press, 2003.