



# Fundamentos dos Sistemas Produtivos

Fundamentos dos Sistemas Produtivos

Com "A Ciência da Fábrica" - Prof. Pedro Nascimento de Lima



JESUÍTAS BRASIL



# Introdução

- Quem Somos?
- Plano de Vôo;
- Introdução ao conteúdo.

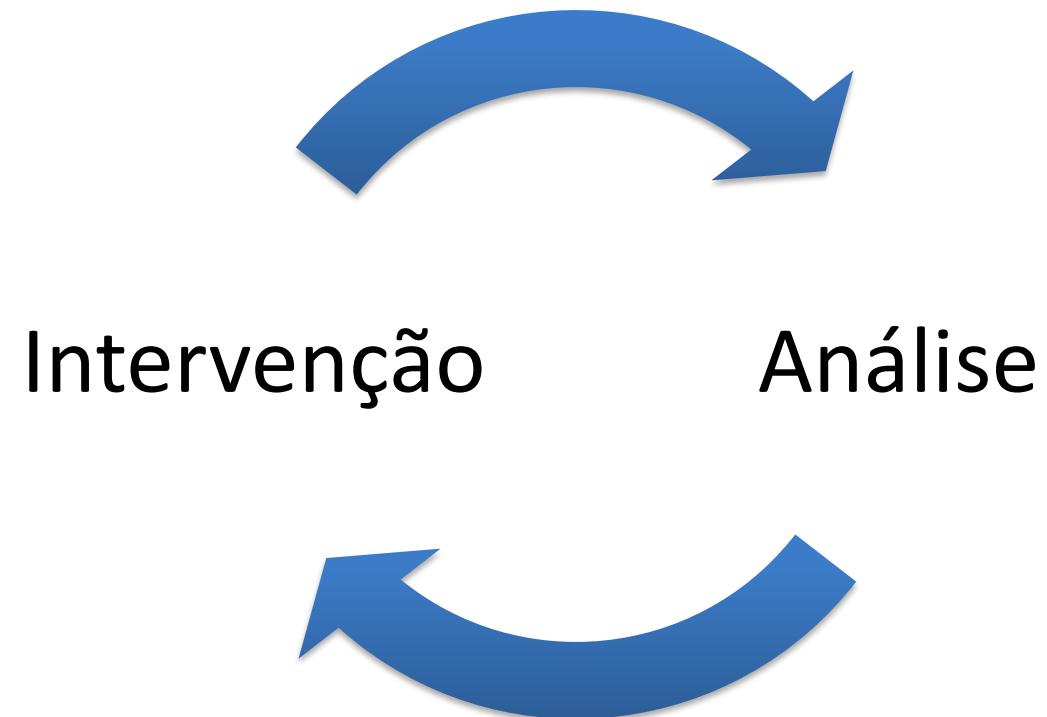
# Quem Somos?

- Nome;
- Cidade;
- Empresa e setor onde trabalha (se aplicável);

# Para quê precisamos da Universidade?

## Analisar e Intervir

- O que Fazemos com Sistemas Produtivos?



# Análise e Intervenção

- Intervenção sem Análise:
  - Amadorismo, Tentativa e Erro.
  - Melhor dos Casos: Deu certo e não sei o motivo.
  - Pior dos Casos: Deu errado e também não sei o motivo.
- Análise sem Intervenção:
  - “Mundo da Teoria”;
  - Melhor dos Casos: Um artigo publicado (que talvez sirva ou não);
  - Pior dos Casos: Uma má ideia que irá se espalhar.

# Para quê precisamos da Universidade?

## Analisar e Intervir

- O que Fazemos com Sistemas Produtivos?



Melhorias Bem Fundamentadas,  
Competitividade

Boas Teorias

# Antes, um Breve Levantamento...

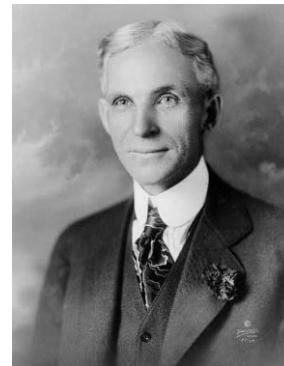
<http://bit.ly/mbe2019>

# Plano de Vôo Geral

- Histórico, e Sistemas de Produção:



**Frederick Taylor**



**Henry Ford**



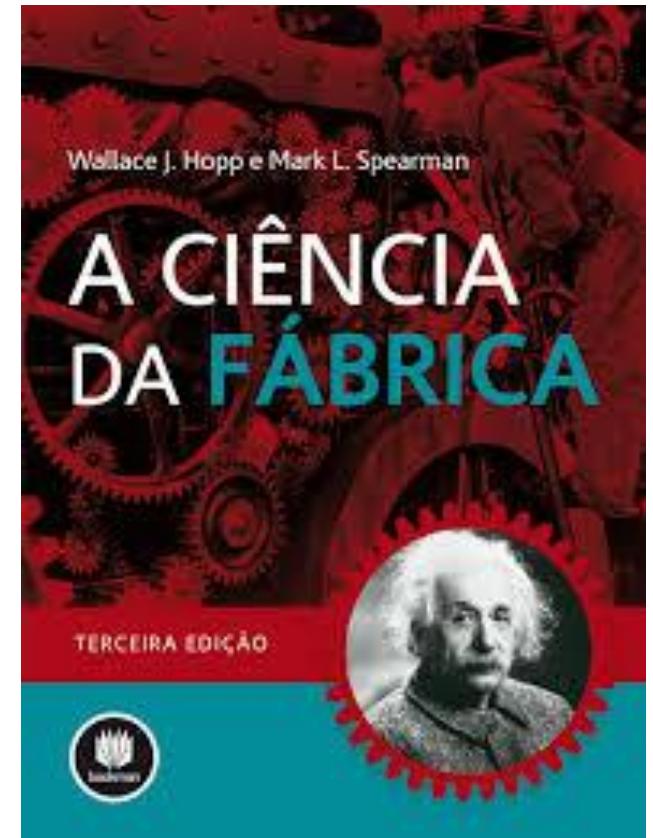
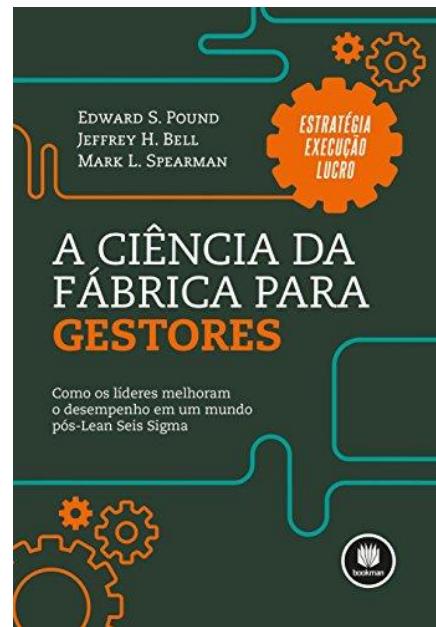
**Taiichi Ohno**



**Eliyahu M. Goldratt**

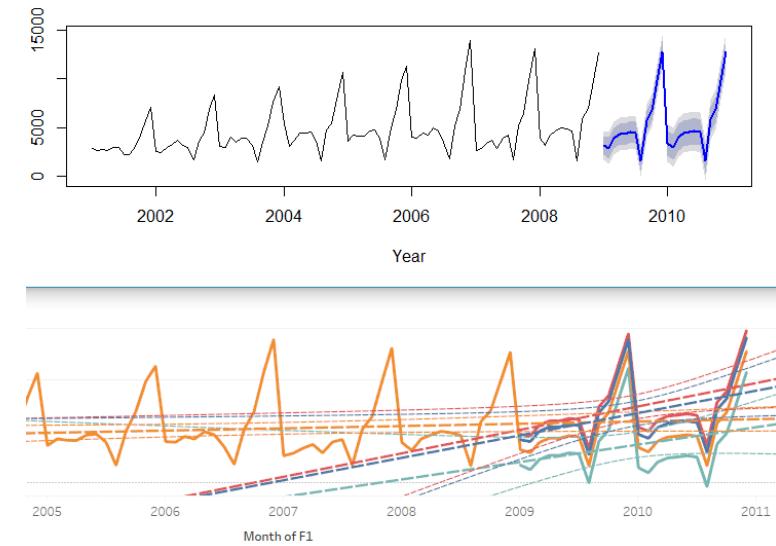
# Plano de Vôo Geral

- A Ciência da Fábrica:
- Dinâmica Básica de Fluxos e Estoques;
- Avaliando Tradeoffs.



# Plano de Vôo Geral

- Planejamento, Programação e Controle da Produção: Planejamento Hierárquico, **Previsão de Demanda, Séries Temporais, MPS e MRP.**



# Plano de Vôo Geral

- Métodos de Suporte à Decisão em Ambientes Industriais.



# Plano de Vôo Geral

- Conceitos fundamentais de Cadeias de Suprimento, Fundamentos sobre Localização e Arranjo Físico.





# LIÇÕES DO PASSADO – EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS



Pensar o passado  
para  
compreender o  
presente e  
idealizar o futuro

Heródoto

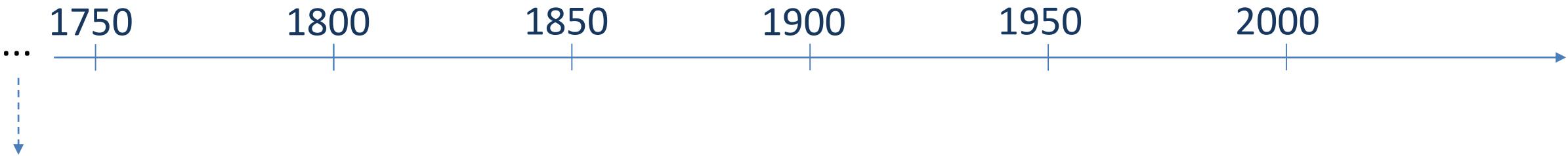
“ PENSADOR

# Conceito de Gestão de Operações

- **Gestão de operações é a atividade de gerenciamento de recursos escassos** e processos que produzem e entregam bens e serviços visando a atender necessidades e ou desejos de qualidade, tempo e custo de seus clientes.
- Toda organização, vise ela lucro ou não, tem dentro de si uma função de operações, pois gera algum “pacote de valor” para seus clientes que incluem algum composto de produtos e serviços, mesmo que, dentro da organização, a função de operações não tenha este nome (Slack e Lewis, 2002)

# Histórico da Administração Industrial

## Era Pré-Industrial



### Artesanato:

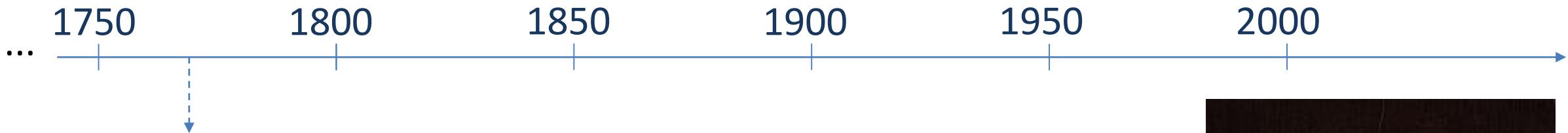
- Dono é responsável pelo andamento das diferentes funções
- Mão-de-obra qualificada
- Baixo volume de produção
- Qualidade variável

# Histórico da Administração Industrial

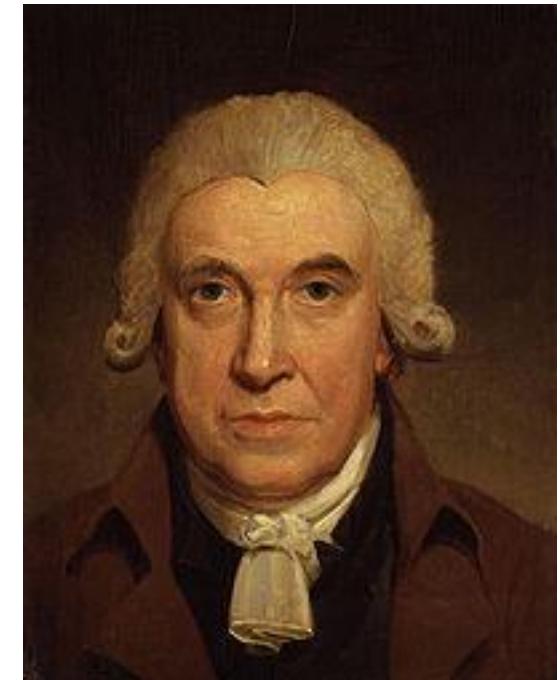


# Histórico da Administração Industrial

## Primeira Revolução Industrial



1765 - **James Watt** (1736-1819). na Grã-Bretanha, introduz o condensador na máquina de Newcomen, componente que aumenta consideravelmente a eficiência do **motor a vapor**. Para alguns, foi a máquina de Watt que ocasionou a Revolução Industrial.



# Histórico da Administração Industrial



# Histórico da Administração Industrial

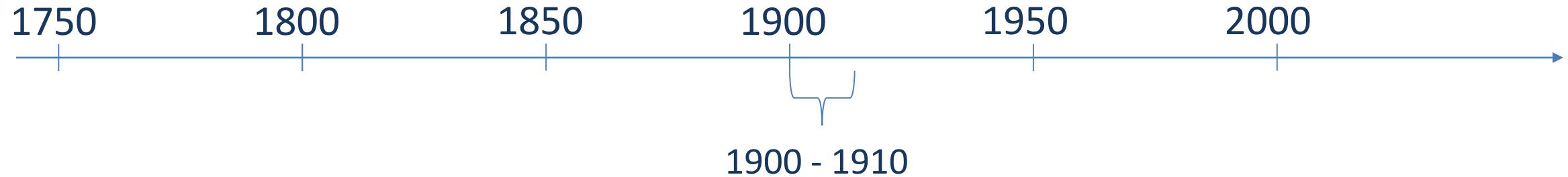


## Integração Vertical e Horizontal

- Produtores de aço mais poderosos passaram a adquirir minerações de ferro e carvão (vertical) e concorrentes (horizontal);
- Aumento de eficiência.

# Histórico da Administração Industrial

## Taylor e a Administração Científica



**Taylor** – sistematização do **estudo e análise do trabalho** (o que viria a ser a gênese da área de “estudo de tempos e movimentos”)

- “**administração científica**”: quebrar as tarefas em sub-tarefas elementares e trabalhar extensivamente para tornar cada uma destas tarefas mais eficientes.

# Histórico da Administração Industrial

## Taylor e a Administração Científica

- O engenheiro Frederick Winslow Taylor (1856-1915), é o fundador da Administração Científica nasceu em Filadélfia, nos Estados Unidos.
- Seu trabalho se deu no chão de fábrica junto ao operariado, voltado para a sua tarefa.
- Preocupou-se exclusivamente com as técnicas de racionalização do trabalho do operário através do estudo dos tempos e movimentos (Motion-time Study).



# Histórico da Administração Industrial

## Taylor e a Administração Científica

- O Objetivo de uma boa administração é pagar salários altos e ter baixos custos unitários de produção.
- Para realizar esse objetivo, a Administração deve aplicar **métodos científicos de pesquisas e experimentação**, a fim de formular princípios e estabelecer processos padronizados que permitam o controle de operações fabris.
- Os **empregados devem ser cientificamente colocados em serviços ou postos em que os materiais e as condições de trabalho sejam cientificamente selecionados**, para que as normas possam ser cumpridas.

# Histórico da Administração Industrial

## Taylor e a Administração Científica

- **Divisão do Trabalho e Especialização:** Todo o processo produtivo é dividido em suas menores etapas, e cada operador realiza um conjunto mínimo de movimentos.
- **The One Best Way – Padronização do Método de Trabalho:** Existe o melhor método de executar uma operação, e esta maneira deve ser seguida por todos os operadores.
- **Análise dos Tempos e Movimentos:** A análise de tempos e movimentos é a ferramenta analítica utilizada para quebrar um processo complexo em pequenas partes e otimizar cada parte individualmente.

# Histórico da Administração Industrial

## Taylor e a Administração Científica

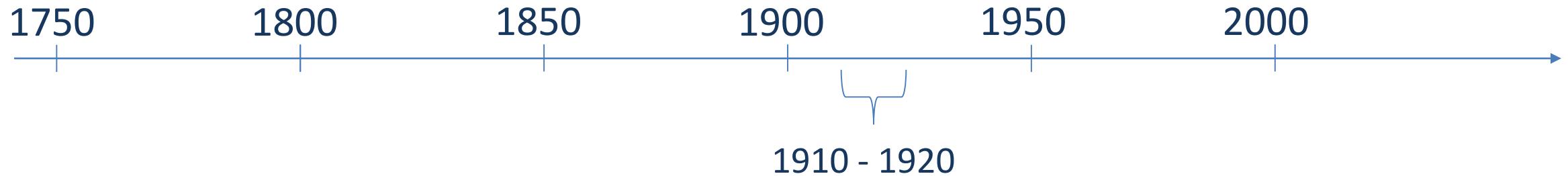
- **Tempo Padrão:** O Trabalhador é remunerado de acordo com sua produção individual e o tempo padrão.
- **Melhoria das Condições de Trabalho:** Todo o ambiente de trabalho interfere sobre a produtividade do trabalhador, logo os instrumentos, ferramentas e arranjo físico
- **Incentivo Salarial:** Cada trabalhador recebe de acordo com a sua produtividade individual.

# Histórico da Administração Industrial

## Taylor e a Administração Científica

- **Divisão Entre Planejamento e Execução:** Gerentes planejam, operários produzem.
- **Seleção do Trabalhador Adequado para a Tarefa:** O trabalhador deve desempenhar a tarefa mais compatível com suas aptidões.

# Histórico da Administração Industrial



**Ford – linha de montagem móvel (1913), juntou**

- os princípios da administração científica – divisão do trabalho, escolha do trabalhador certo para o trabalho;
- o princípio da intercambialidade de peças produzidas automaticamente em enormes quantidades;
- acrescentou a estes a ideia de padronização dos produtos e de fazer produtos moverem-se enquanto estações de trabalho ficavam estáticas.

# Histórico da Administração Industrial

## Henry Ford e a Linha de Montagem

“O espírito da coisa é **manter todos os fluxos em movimento e levar o trabalho até o operário**, e não o operário até o trabalho. Esse é o verdadeiro princípio de nossa produção, e as linhas móveis são apenas um dos muitos meios para esse objetivo.”  
(Ford 1926, 103)†

# Histórico da Administração Industrial

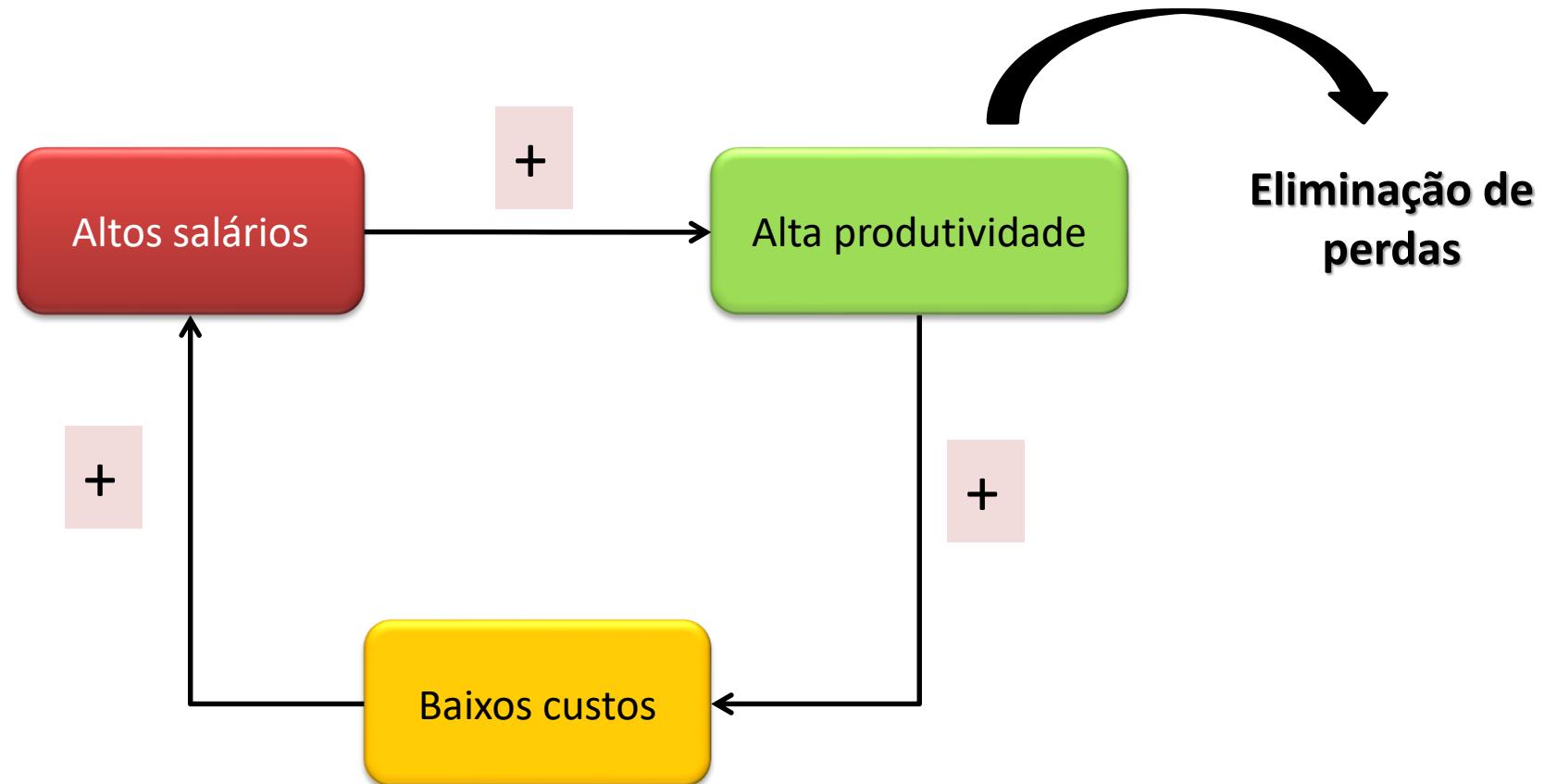
## Henry Ford e a Linha de Montagem

**O Salário de 5 dólares por dia:**  
Ford ao mesmo tempo foi capaz de produzir um carro em larga escala (takt time de 11 segundos), de modo que seus próprios funcionários pudessem comprar o carro que produziam.



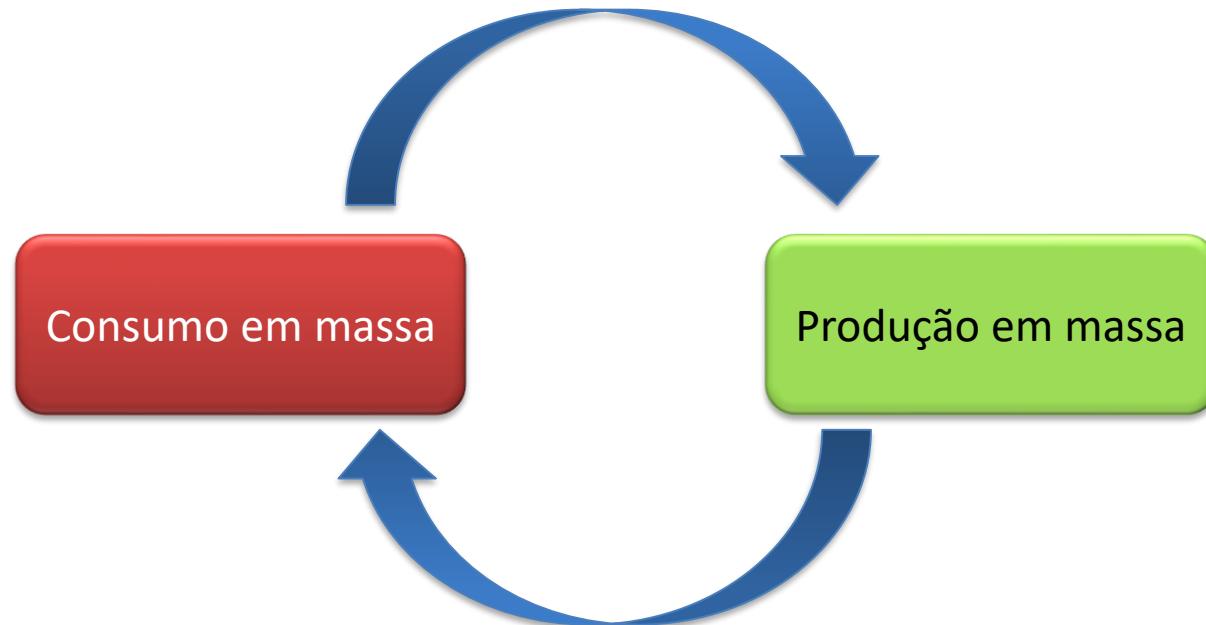
# Histórico da Administração Industrial

## Henry Ford e a Linha de Montagem



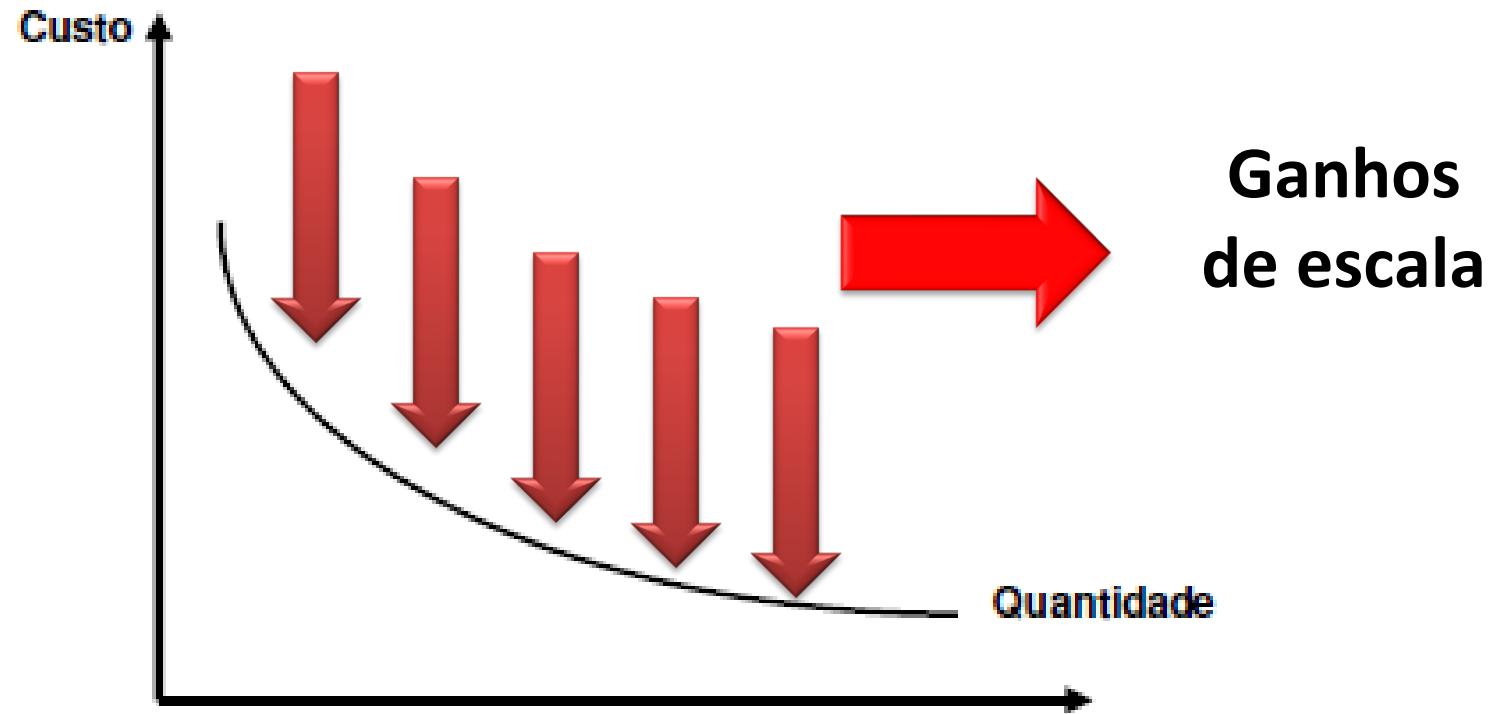
# Histórico da Administração Industrial

## Henry Ford e a Linha de Montagem

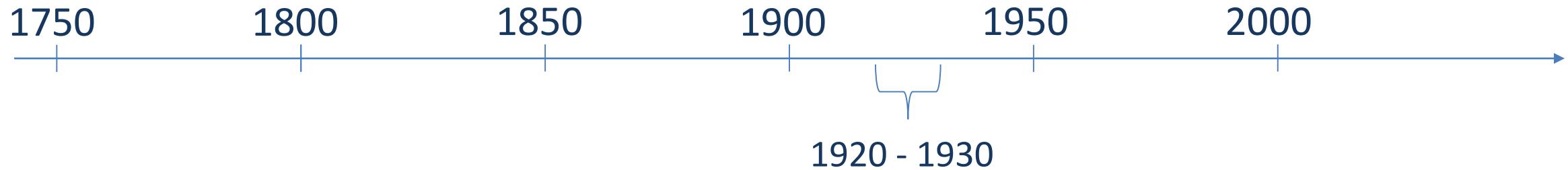


# Histórico da Administração Industrial

## Henry Ford e a Linha de Montagem



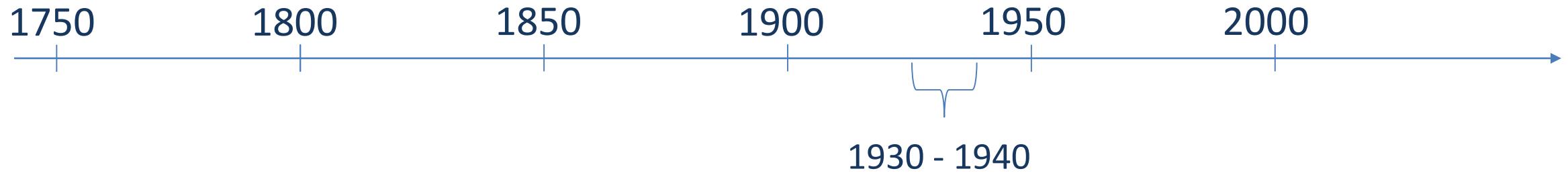
# Histórico da Administração Industrial



**Sloan Jr. – GM –**

- Segmentação de linhas de produtos
  - Primeiro, uma linha de carros em cada segmento de preço, do mais baixo para o mais alto, mas não entrar no mercado de carros de alto luxo e pequeníssimos volumes;
  - segundo, que os degraus de preço não deveriam deixar grandes vazios na linha, mas ser espaçados o suficiente para permitir produção em massa; e
  - terceiro, que não deveria ocorrer superposição nos segmentos
  - Conceito de carro do ano

# Gestão de Operações: Histórico



- Lote Econômico Ford W. Harris (1913)
- Ponto de Reposição - Wilson (1934)

# Modelos de Estoque – Lote Econômico ao Ponto de Reposição

- Os Modelos de Estoque foram uma das primeiras aplicações de matemática para a gestão de operações.
- Continuam sendo utilizados até hoje.
- Entender suas contribuições e limitações é importante para entender como utilizar modelos para avaliar tradeoffs em sistemas produtivos.

# Tradeoff Reconhecido (em 1913):

- Grandes lotes reduzem os custos de setup por exigirem setups menos frequentes, porém aumentam os custos com a manutenção do estoque;
- Lotes menores reduzem os custos com a manutenção do material, porém pioram a quantidade de setups.

# O Modelo do Lote Econômico

- D: Demanda (unidades por Ano)
- c: Custo Unitário de Produção (\$ por unidade);
- A: custo do setup para produzir um lote (\$ por setup);
- h: Custos de manter em estoque (\$ / unidade por ano)
- Q: Tamanho do Lote (Variável de Decisão)

$$Y(Q) = \frac{hQ}{2} + \frac{AD}{Q} + cD$$

# Desafio: Determine o Tamanho Ideal do Lote

*A partir da Fórmula Abaixo, com uma Calculadora*

- D: Demanda (unidades por Ano): 4000
- c: Custo Unitário de Produção (\$ por unidade): 1
- A: custo do setup para produzir um lote (\$ por setup): 2000
- h: Custos de manter em estoque (\$ / unidade por ano): 100
- Q: Tamanho do Lote (Variável de Decisão): ?

$$Y(Q) = \frac{hQ}{2} + \frac{AD}{Q} + cD$$

# Como O Valor Mínimo é Obtido?

Cálculo!

- Custo Total Com O lote de tamanho “Q”:

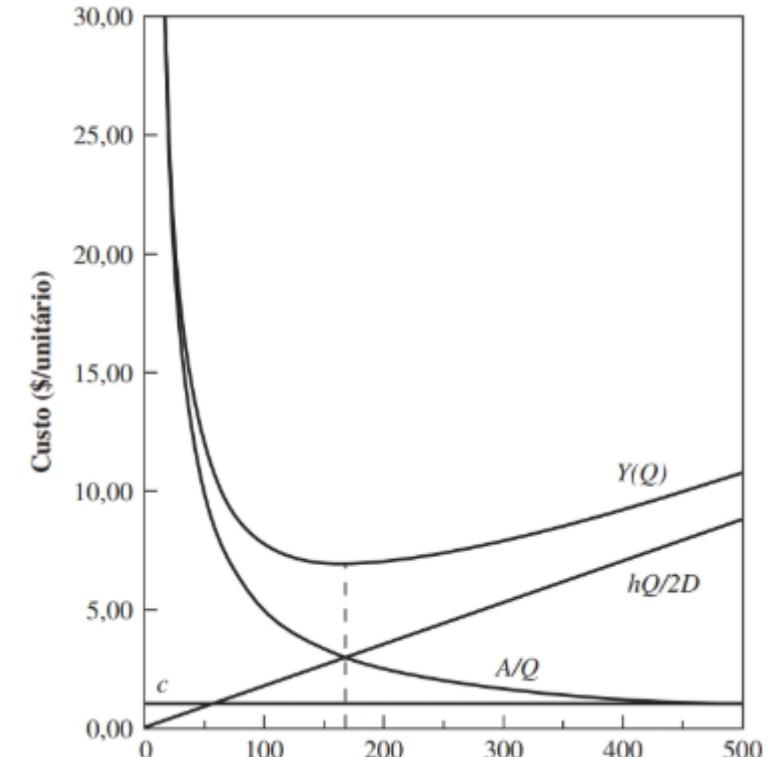
$$Y(Q) = \frac{hQ}{2} + \frac{AD}{Q} + cD$$

- Se a derivada da função de custo for negativa, isto quer dizer que ao aumentar o lote em uma unidade, reduzimos o custo:

$$Y'(Q) = \frac{h}{2} - \frac{AD}{Q^2}$$

- O Custo será o menor quando a primeira derivada for igual a zero, logo:

$$\bullet \quad \frac{h}{2} - \frac{AD}{Q^2} = 0 \rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$$



# Lições Importantes

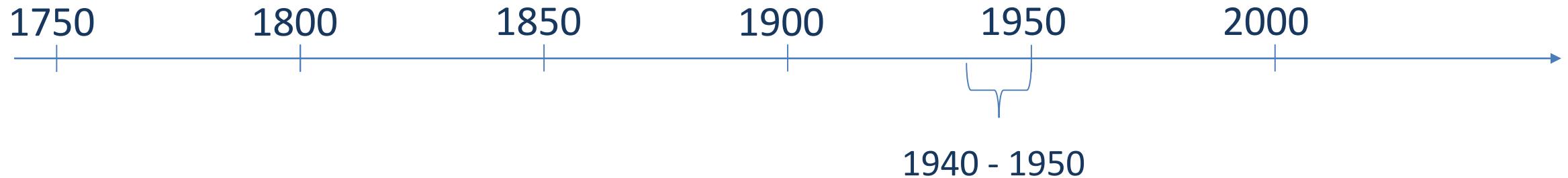
- Alguns parâmetros operacionais podem fazer muita diferença em termos de lucratividade;
- Desviar-se destes parâmetros pode gerar prejuízos significativos;
- Modelos (imperfeitos) geralmente são uma alternativa melhor do que a tentativa e erro;
- Conhecer o comportamento do lucro em função destes parâmetros permite otimizar decisões;
- Porém...
  - A análise pressupõe que o futuro é conhecido;
  - Esta análise específica pressupõe que não há variabilidade.

# Histórico da Administração Industrial



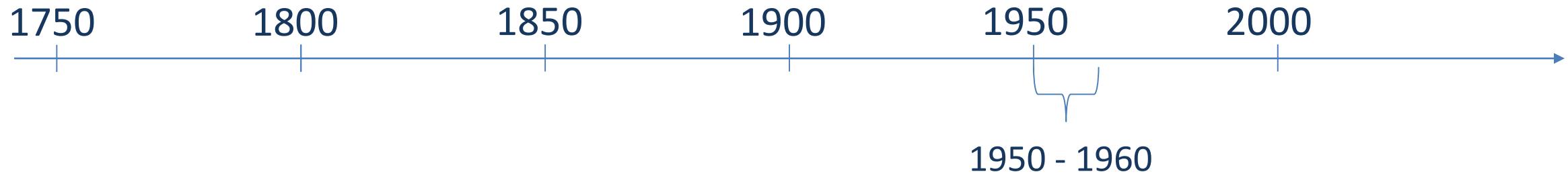
- Esforços em função da II Grande Guerra
- Uso de técnicas de programação e análise matemática para identificação de pontos mais favoráveis de operação. Foi a origem da pesquisa operacional.
- Estabelecimento de áreas como “planejamento, programação e controle de produção”, “controle de estoques”, “previsões” e outras correlatas
- Evolução da logística
- Final da guerra: desequilíbrio oferta e demanda

# Histórico da Administração Industrial



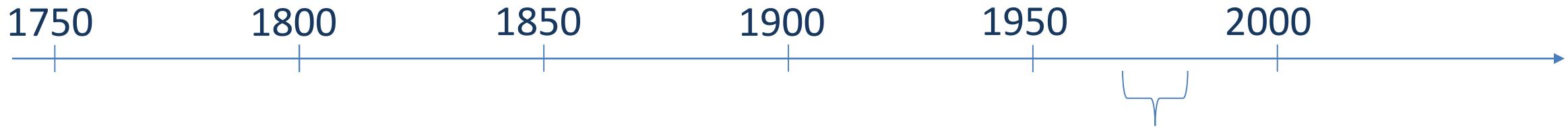
- **Fundamentos do STP – Ohno e Shingo**
  - Eliminação de perdas; Arranjo físico celular; Autonomação; Kanban, Troca rápida de ferramentas
- Qualidade Total - Deming
  - PDCA
- Motivação para o Trabalho - Maslow

# Histórico da Administração Industrial



- Qualidade Total - Juran
  - Custos da não qualidade
- Círculos de Controle da Qualidade
- Sete ferramentas da qualidade
- Fundamentos da dinâmica de sistemas
- Disponibilidade de computadores
- PERT/CPM

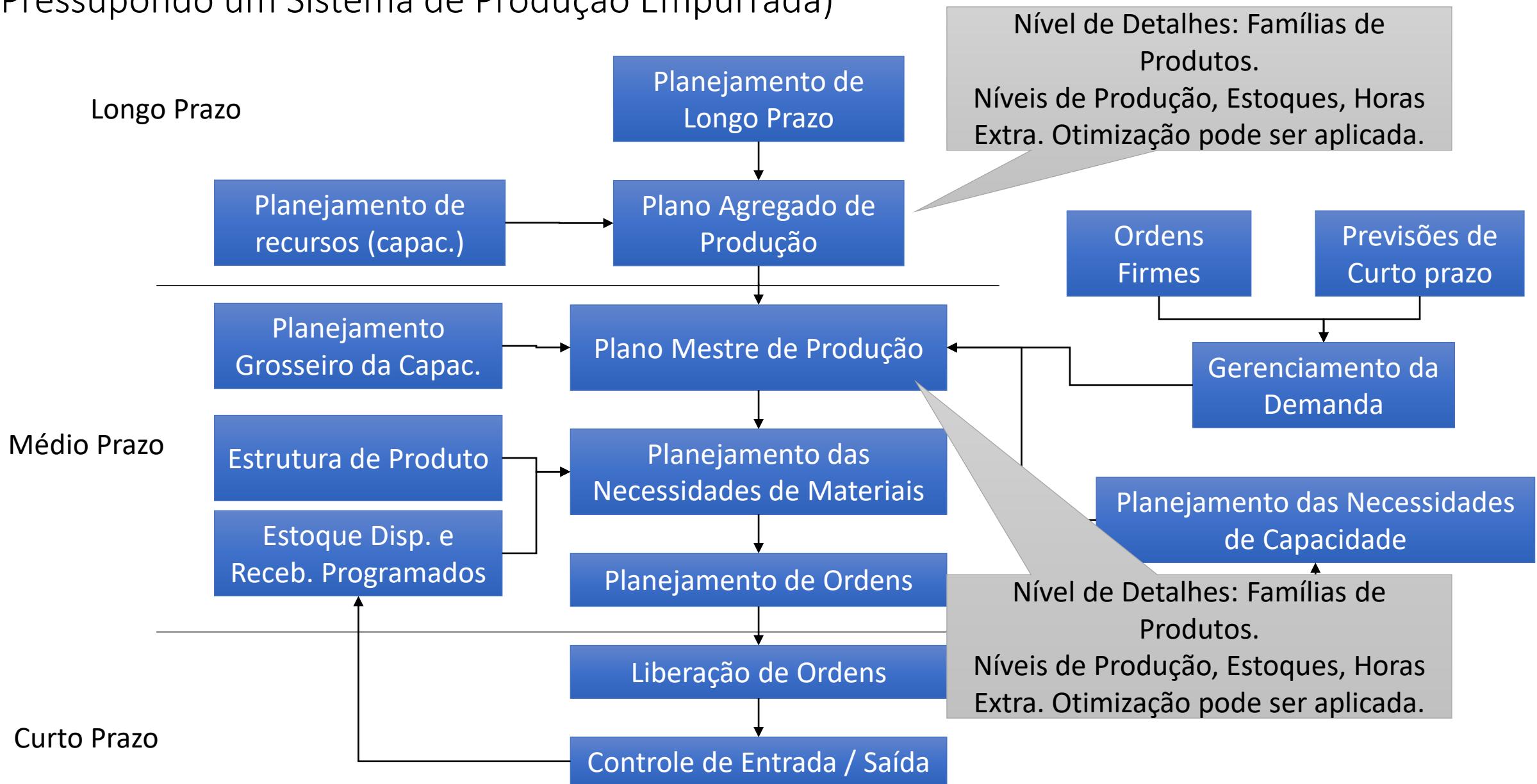
# Histórico da Administração Industrial



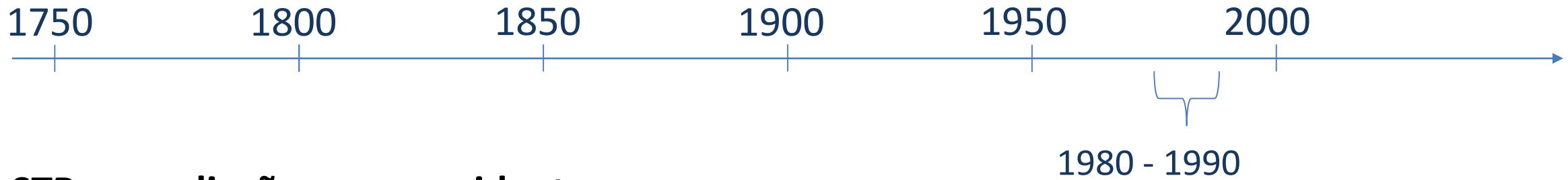
- MRP e MRPII, CRP
- Aumento da competitividade da indústria japonesa - STP
- Skinner - “Manufatura: o elo faltando na estratégia corporativa”
  - a manufatura envolve a maioria do investimento em capital das organizações
  - as decisões envolvem recursos e possuem inércia
  - uma vez tomadas as decisões dificilmente são reversíveis
  - Trade-offs
- Skinner - “A fábrica focalizada”

# O Planejamento Hierárquico de Produção – MRP II

(Pressupondo um Sistema de Produção Empurrada)

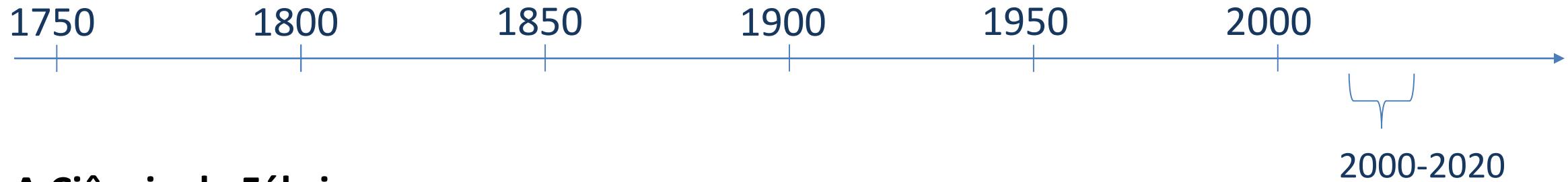


# Histórico da Administração Industrial



- **STP – ampliação para o ocidente**
- TQM e ISO 9000
- Benchmarking
- Críticas ao MRPII – capacidade finita
- OPT
- **Teoria das Restrições**
- International Motor Vehicle Program

# Histórico da Administração Industrial



- **A Ciência da Fábrica;**
- Avanço da Otimização para todas as áreas da empresa;
- Adoção da Otimização em Empresas de Serviços – Revenue Management, Moneyball...
- Advento da Quarta Revolução Industrial, Manufatura Aditiva, etc;
- O que nos espera?

# STP: PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

# Sistema de Produção Enxuta

*Eliminação de perdas*

*Qualidade superior | Custo menor | velocidade de entrega*

## Just in Time (JIT)

- Takt time (ritmo)
- Puxar a produção
- Fluxo unitário

## *Cultura da Melhoria Contínua*

## Jidoka

- Autonomia para parar a linha
- Separação da atividade do operador e da máquina
- Sistema a prova de erros
- Controle visual

*Cadeia de Valor | Heijunka | Operação Padrão | TPM*

**“ ... a necessidade é a mãe das invenções ... ”**

**“ ... é preciso criatividade diante da necessidade ... ”**

**“ ... a base de tudo está relacionada a movimentação dos materiais, e ela é muito lenta ... ”**



Taiichi Ohno  
Vice Presidente da Toyota  
\*29/02/1912 +28/05/1990

Shigeo Shingo  
Consultor da Toyota  
\*08/01/1909 +14/11/1990



# As Grandes Lições do Lean Manufacturing

- **O próprio ambiente de produção é um controle.**

Enquanto o resto do mundo utilizava matemática para calcular o tamanho ideal do lote de produção, Shingo e Ohno determinaram que o tempo de setup deveria cair a menos de 10 minutos.

A maior parte das ferramentas do STP **molda o ambiente de produção visando a maximização dos Lucros.**

# As Grandes Lições do Lean Manufacturing

- **Detalhes Operacionais são importantes para a estratégia.**

Exemplo: A redução do tempo de setup das prensas da Toyota foram o que viabilizaram a adoção de menores lotes, o que em consequência viabilizou o Kanban e o Heijunka, e como consequência, viabilizou a redução dos estoques, aumento do giro de estoque e redução o lead time.

Cada uma das ferramentas do STP **molda o ambiente** de produção visando a maximização dos Lucros.

# As Grandes Lições do Lean Manufacturing

- **O WIP deve ser controlado.**

Um sistema de produção “puxado” é aquele que controla o WIP.  
Todos os benefícios do JIT são consequências de baixo WIP.

Em um sistema apenas baseado no MRP ou MRP II, não há necessariamente controle do WIP.

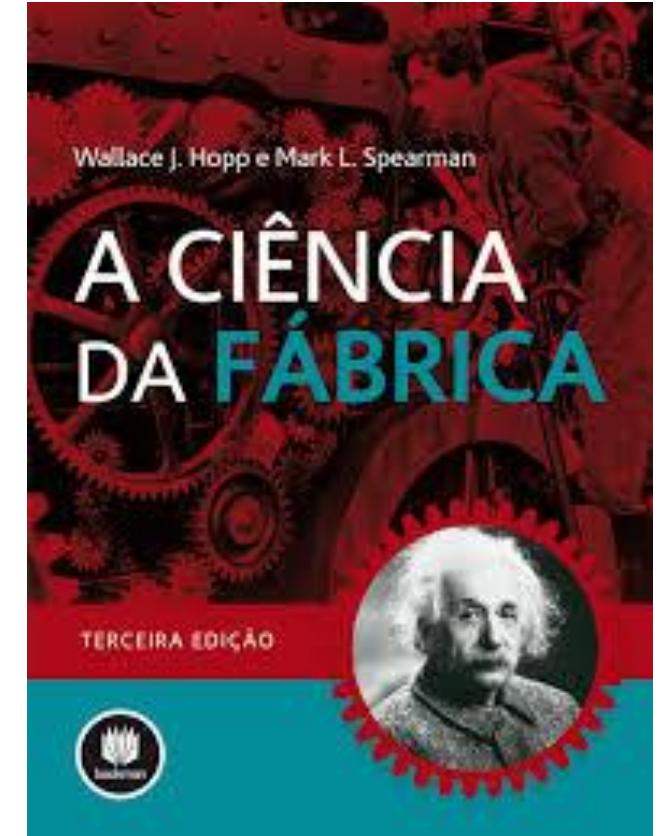
# As Grandes Lições do Lean Manufacturing

- **A Flexibilidade Tem Valor.**

Um sistema com produção nivelada (como o JIT) precisa compensar com flexibilidade propiciada por:

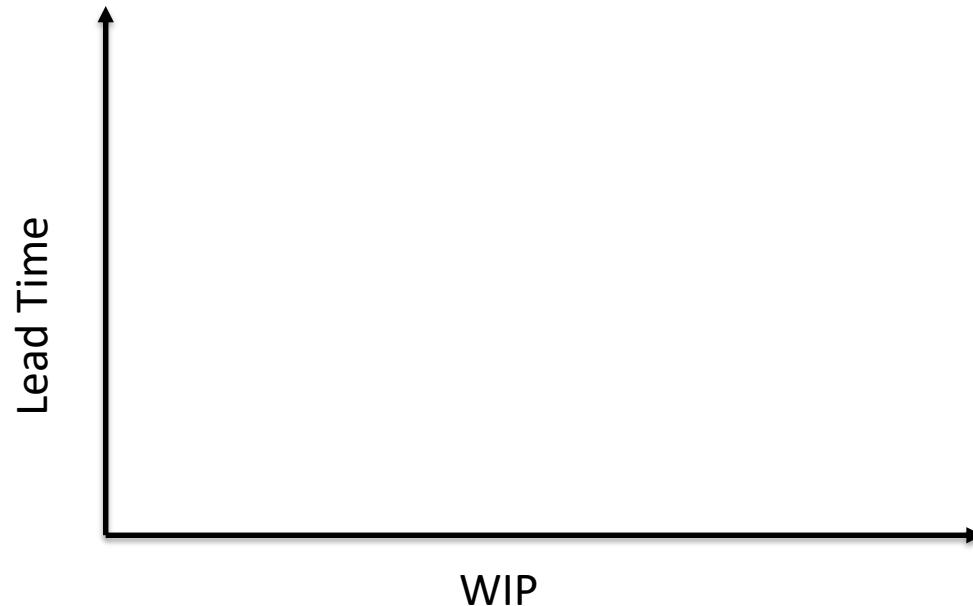
- Baixo Tempo de Setup;
- Reserva de Capacidade;
- Treinamento Multi-funcional.

# A CIÊNCIA DA FÁBRICA



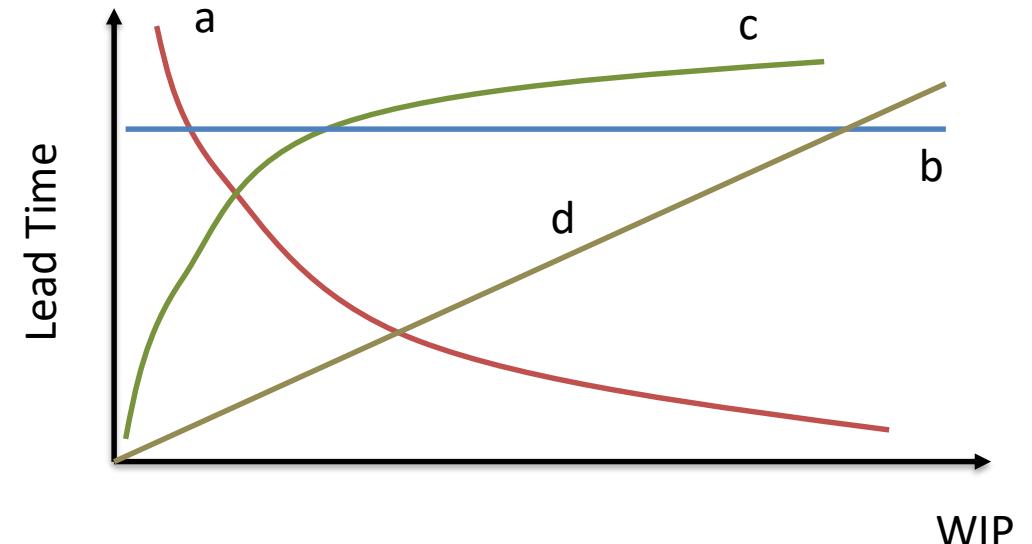
# Precisamos de uma Ciência da Fábrica?

- Considere uma linha de produção com 4 operações e tempos de ciclo idênticos. Trace um gráfico relacionando o WIP ao Lead Time.



# Precisamos de uma Ciência da Fábrica?

- Qual é a relação entre WIP e Lead Time?
  - O LT diminui de modo não linear conforme o WIP aumenta;
  - O LT não depende do WIP (esse é o pressuposto errado dos Sistemas MRP/ERP!!);
  - O LT Aumenta de modo não linear conforme o WIP aumenta;
  - O LT aumenta linearmente a partir de zero, conforme o WIP aumenta.



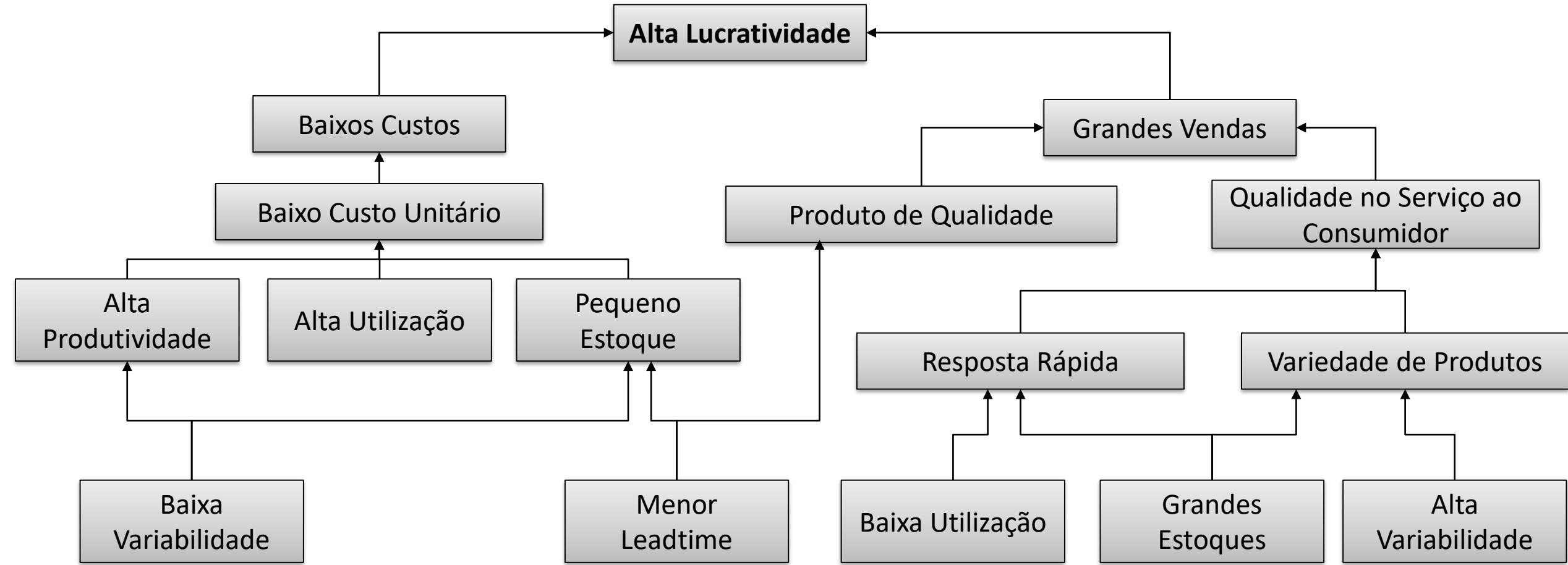
Todas estas respostas estão erradas.

# CIÊNCIA DA FÁBRICA: FUNDAMENTOS

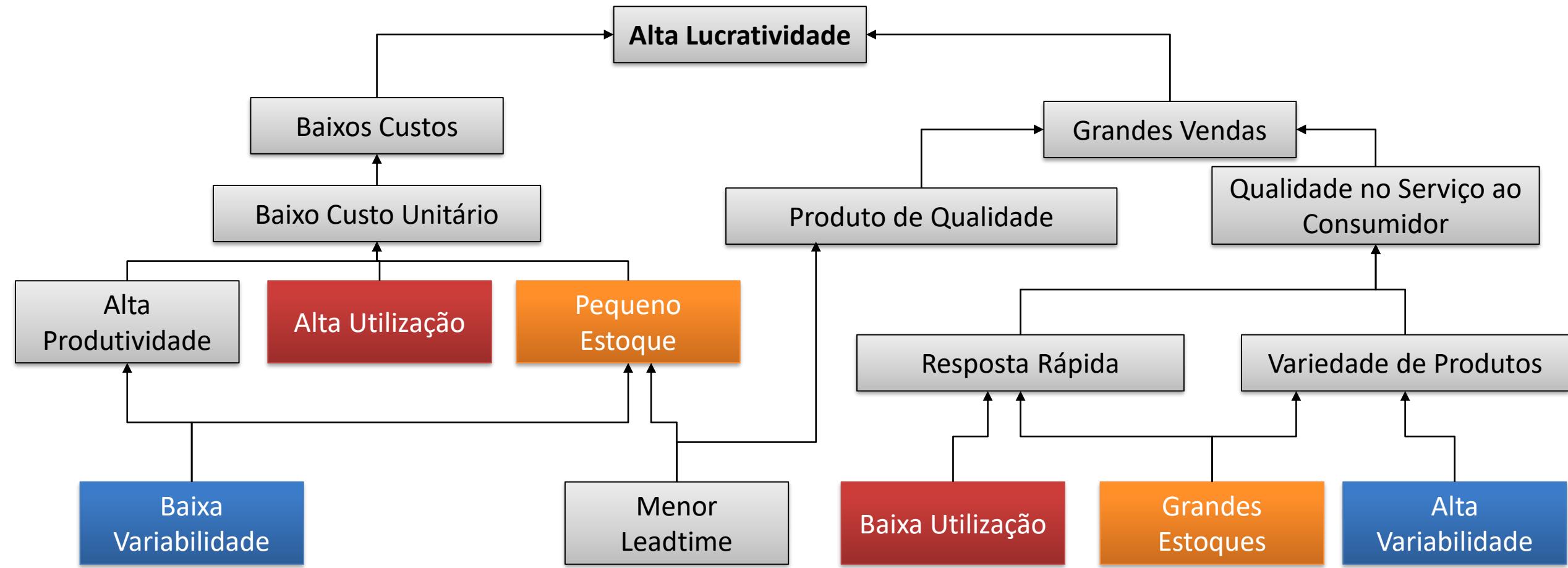
# Nesta Seção

- Tradeoffs em Sistemas Produtivos;
- Fronteiras Eficientes: Instrumento para Avaliação de Tradeoffs;
- Diagrama DEP;
- Medidas de Desempenho Fundamentais;
- A Lei da Variabilidade e a Lei das Reservas de Variabilidade;
- Os Três tipos de buffer contra a variabilidade;

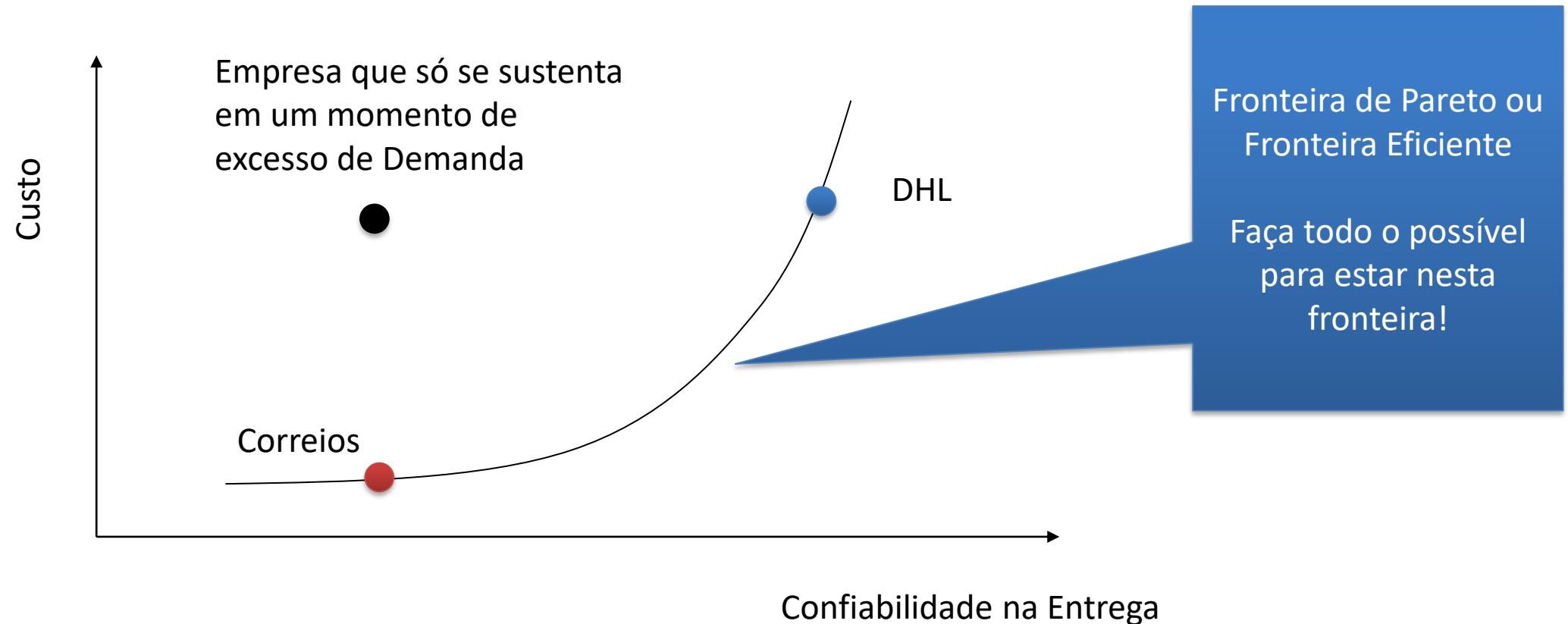
# Tradeoffs em Qualquer Empresa de Manufatura



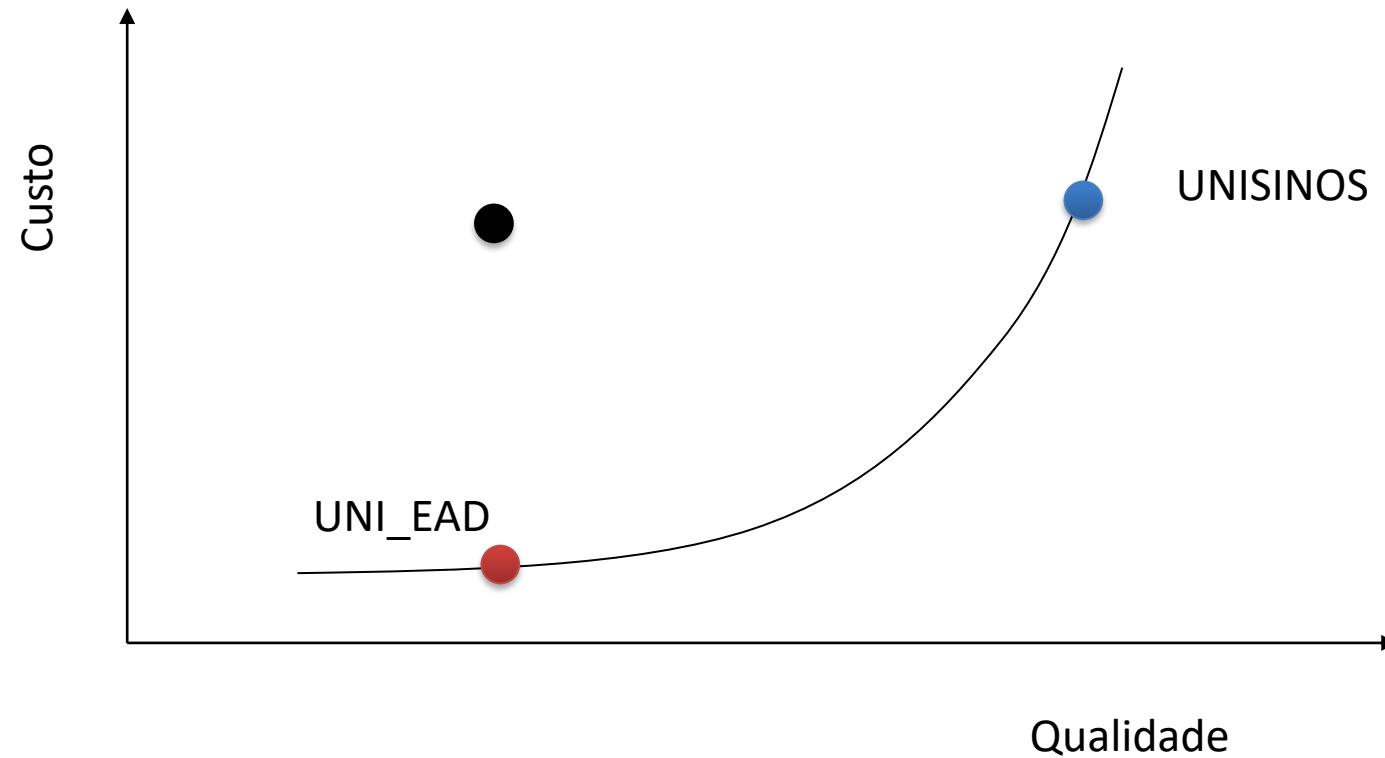
# Tradeoffs em Qualquer Empresa de Manufatura



# Fronteiras Eficientes – Instrumento para Avaliação de Tradeoffs



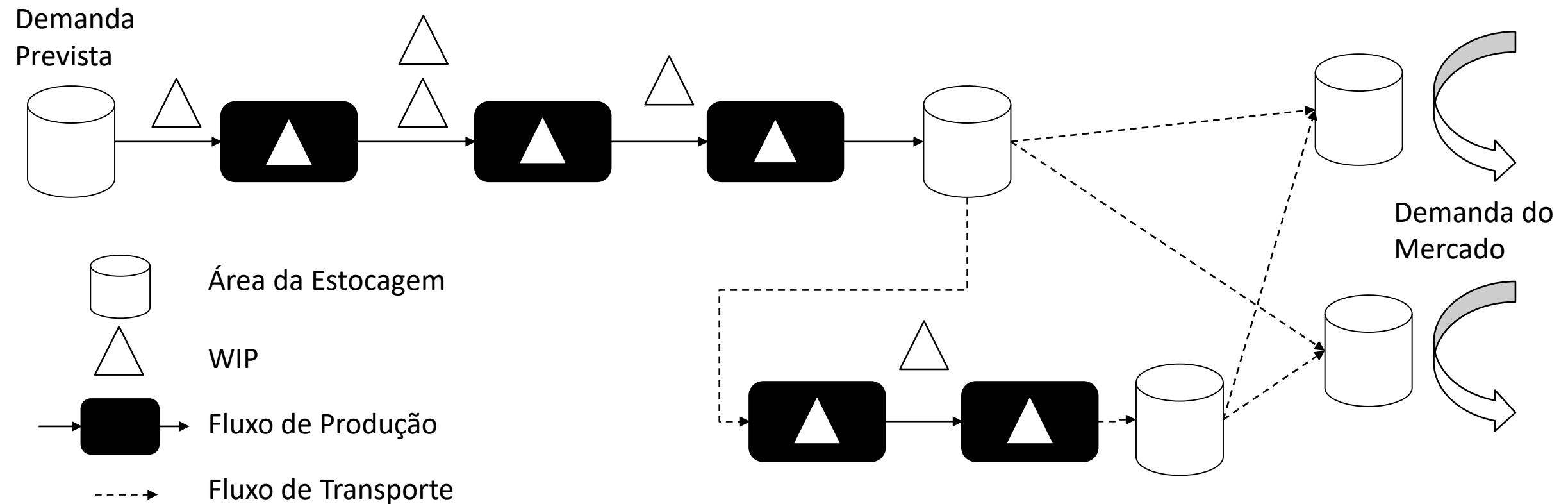
# Fronteiras Eficientes – Instrumento para Avaliação de Tradeoffs



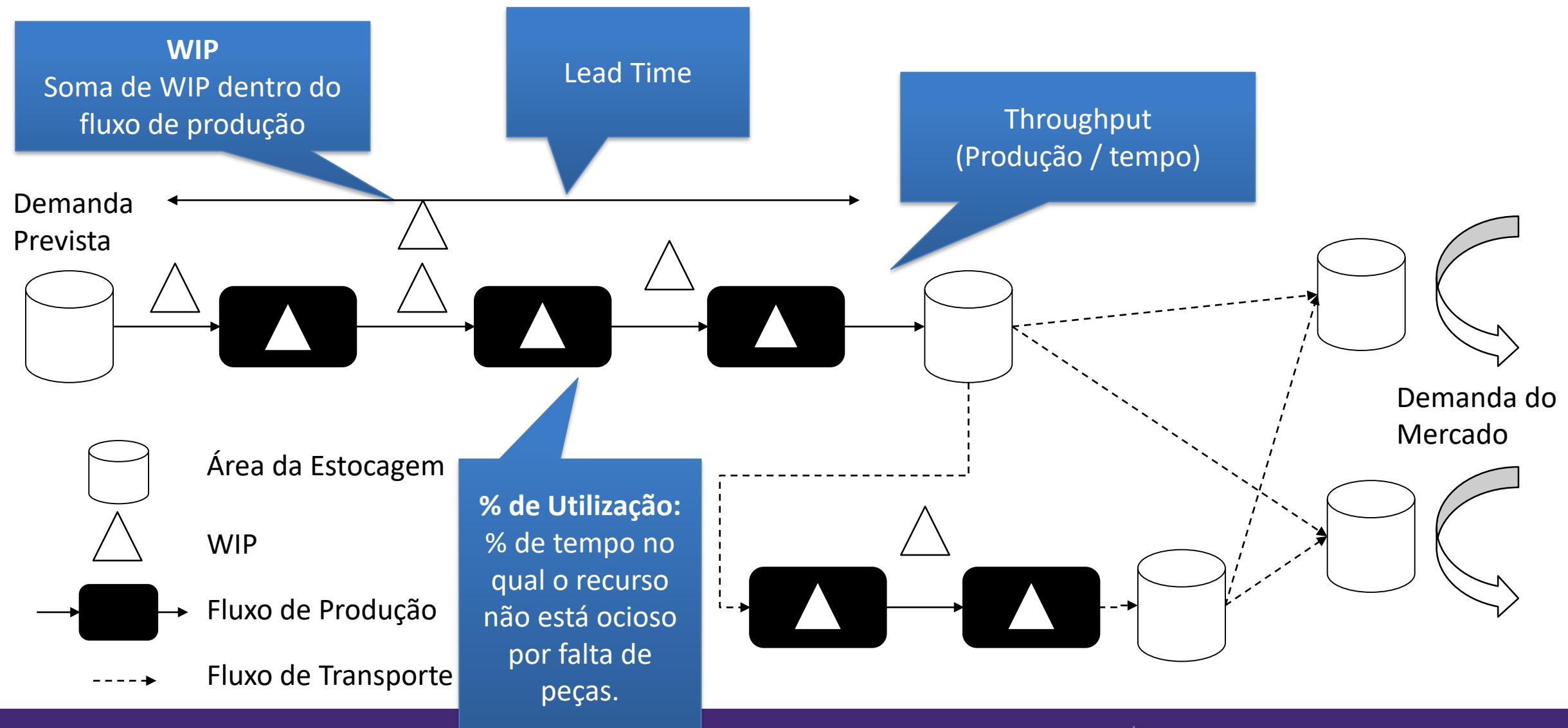
# Passos para Utilizar as Fronteiras Eficientes

- 1. Onde Estamos hoje em relação a nossa fronteira eficiente e quanto longe estamos dela?**
- 2. O que pode ser feito para chegarmos à fronteira eficiente? O que pode ser feito para melhorar esta curva?**
- 3. Mudar o Sistema** (alterando controles, reservas de segurança, redução da variabilidades;
- 4. Implantar sistemas gerenciais** para continuarmos na fronteira eficiente.

# DEP: Demanda, Estoque e Produção e Medidas de Desempenho Fundamentais



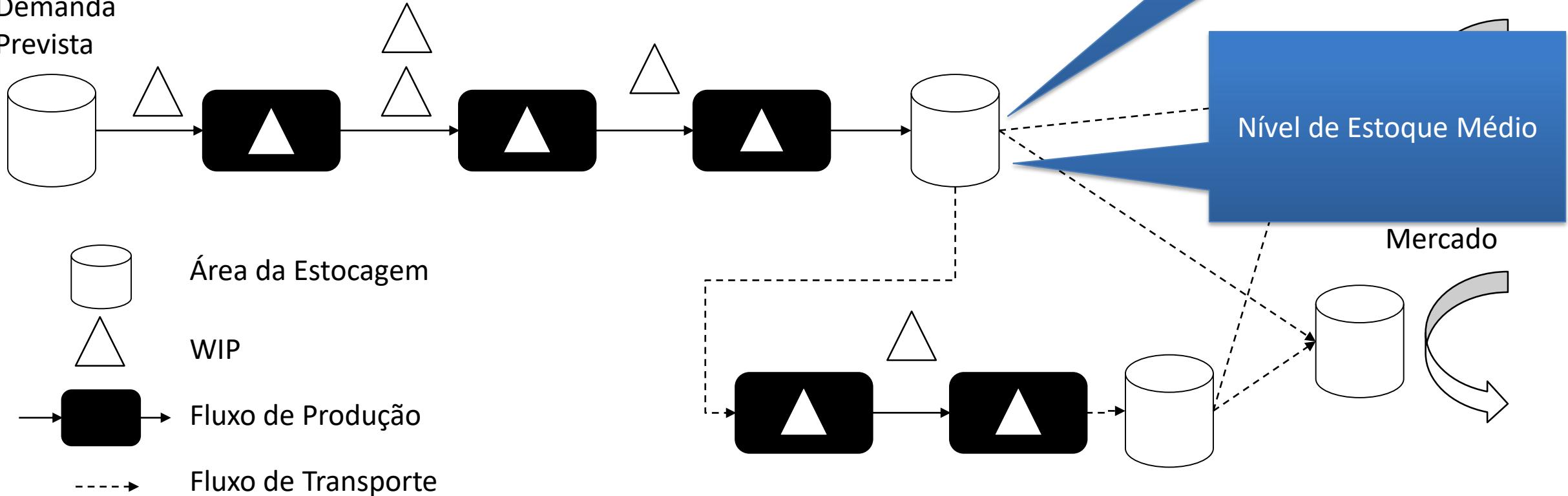
# Variáveis Fundamentais Envolvidas



# Variáveis Fundamentais Envolvidas

Nível de Serviço:  
% dos pedidos atendidos  
em pronta entrega, ou  
dentro do lead time  
prometido.

Demand  
a  
Previs  
ta

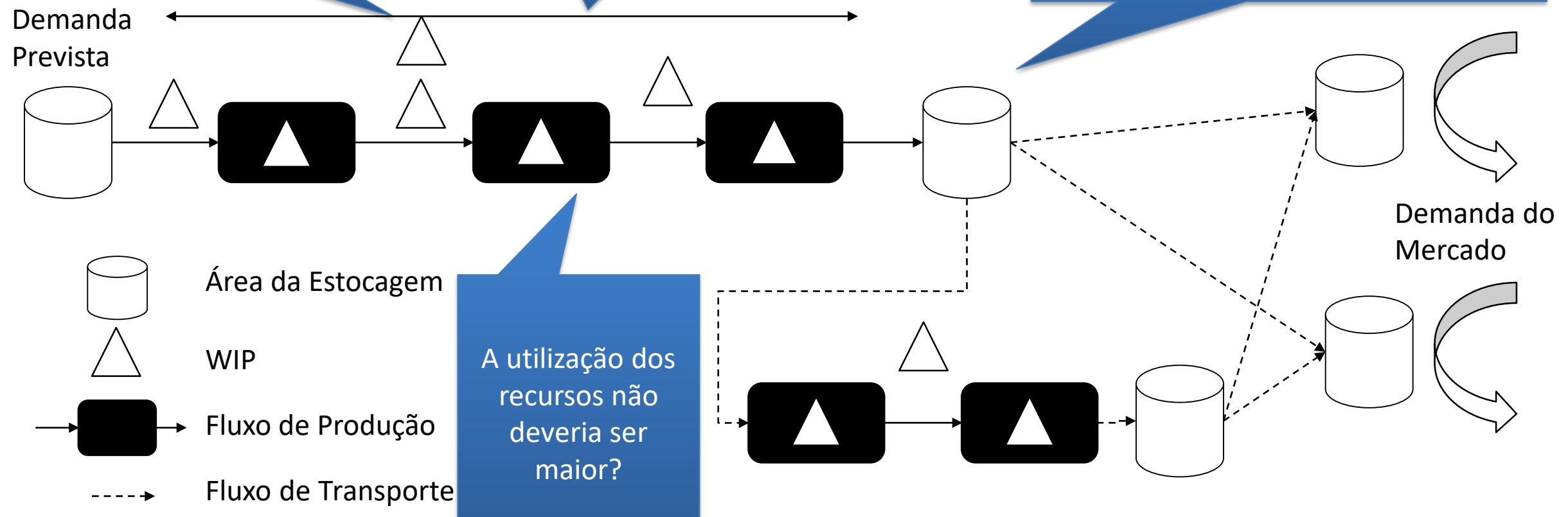


# Questões Recorrentes

Podemos trabalhar com menos WIP?

Podemos entregar em um leadtime menor?

Temos o nível necessário de estoques?



# Em um Sistema de Produção Perfeito...

- Fornecedores não atrasam entregas;
- Clientes compram o produto no exato momento em que os produtos são finalizados;
- Máquinas não quebram;
- Variabilidade em Setups não são um problema. Setup em menos de 10 minutos é uma constante.
- Produtos são feitos com qualidade em 100% das vezes;
- A demanda é estável e previsível;
- O Gargalo é conhecido e não se desloca em função de diversos fatores;
- Estoque zero é a meta a perseguir;
- Sequenciamento fino da produção é possível (já que nada dá errado!);
- É possível conciliar estoque baixo, nível de atendimento excelente, utilização 100% e baixos custos unitários;

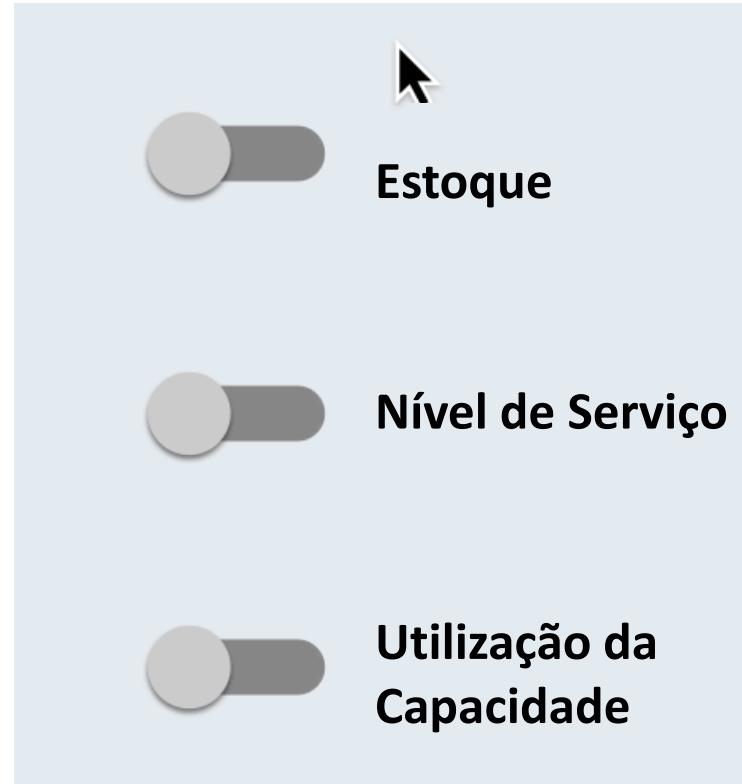
# Em um Sistema de Produção Real

- A maioria dos tópicos anteriores não é verdade, logo é necessário utilizar e gerenciar **Buffers**.
- **Buffer:**
  - Um buffer é um recurso extra que **corrige diferenças de alinhamento entre a demanda e a transformação;**

# Estratégia do “Cobertor Curto”

Também conhecida como “Quem grita mais alto leva”, “Organização Bipolar” ou “Abordagem das Metas Otimistas”

Nossa Meta é melhorar ...



Frases Comuns:

“Estoque Zero!”

“O Cliente em Primeiro Lugar!”

“Redução dos custos unitários!”

# Princípios da Ciência da Fábrica

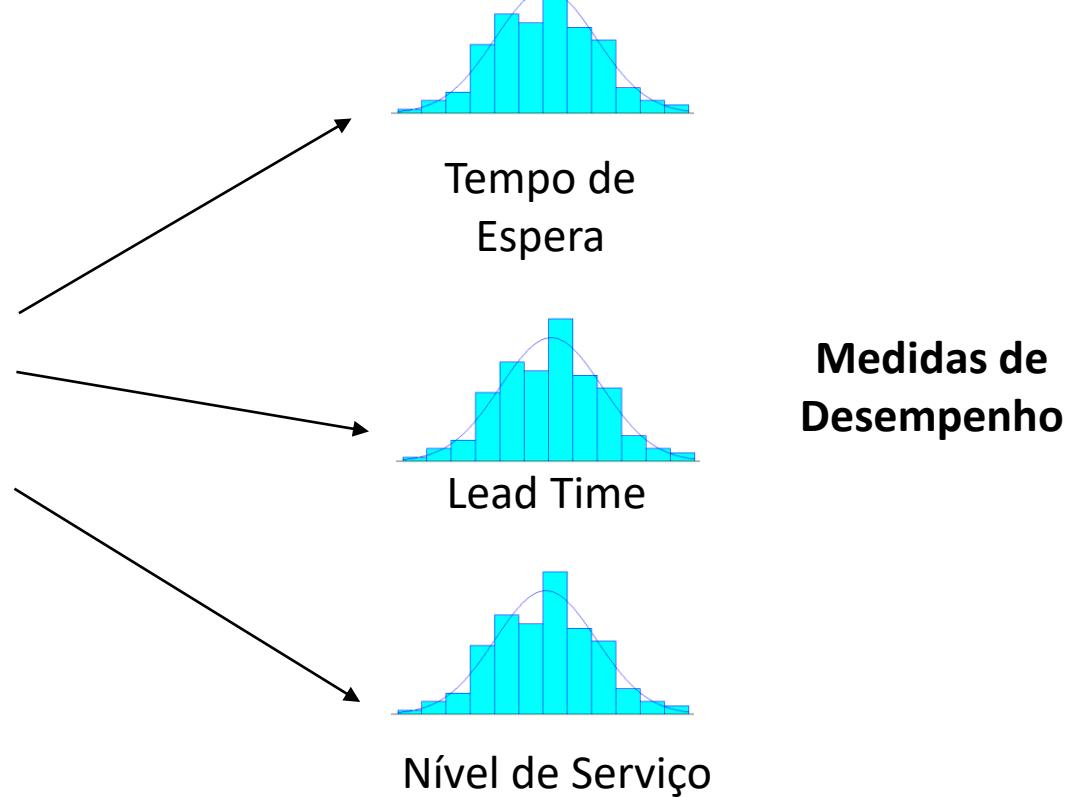
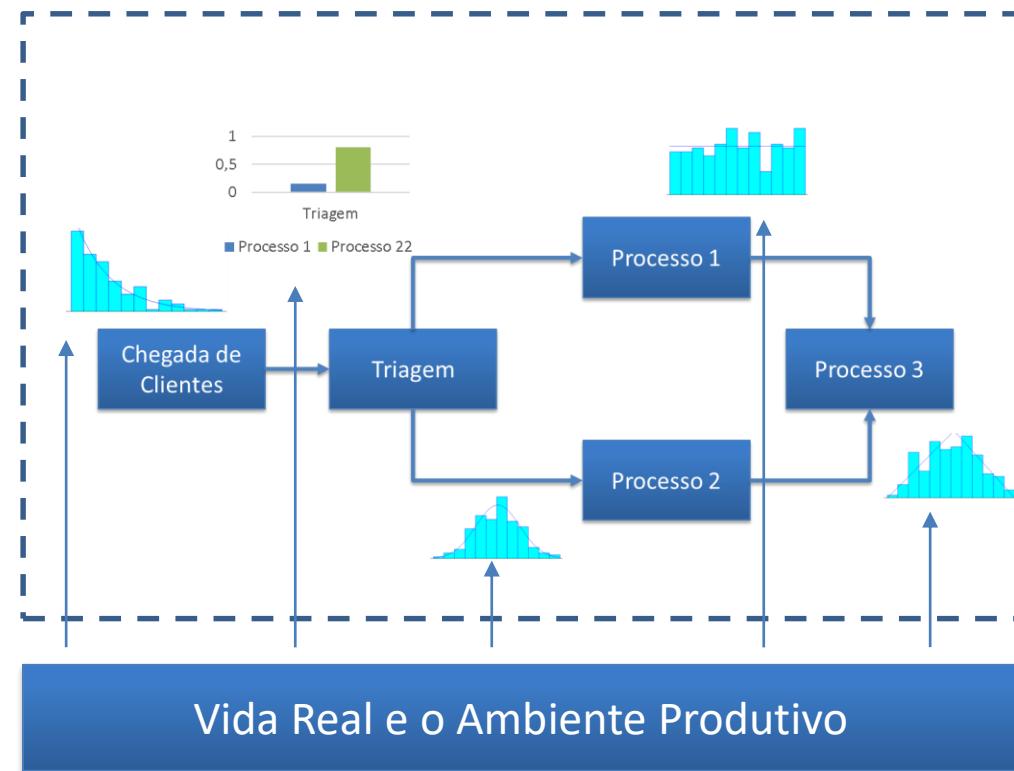
- **A Lei da Variabilidade**

*O aumento da variabilidade sempre reduzirá o desempenho de um Sistema de Produção.*

- **A Lei das Reservas de Variabilidade**

*Em um Sistema de Produção, a variabilidade formará suas reservas de segurança a partir de uma combinação de três tipos de buffers: Estoques, Capacidade, Tempos*

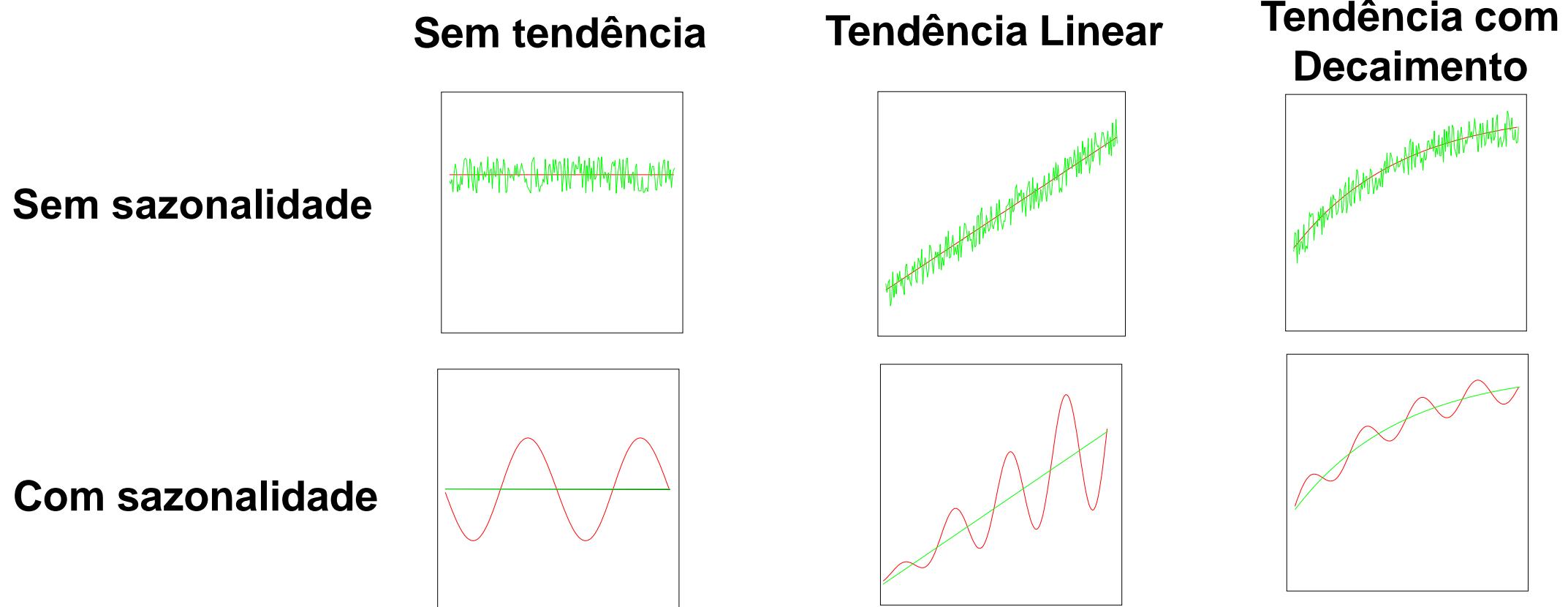
# O Efeito da Variabilidade sobre as medidas de Desempenho dos Sistemas Produtivos



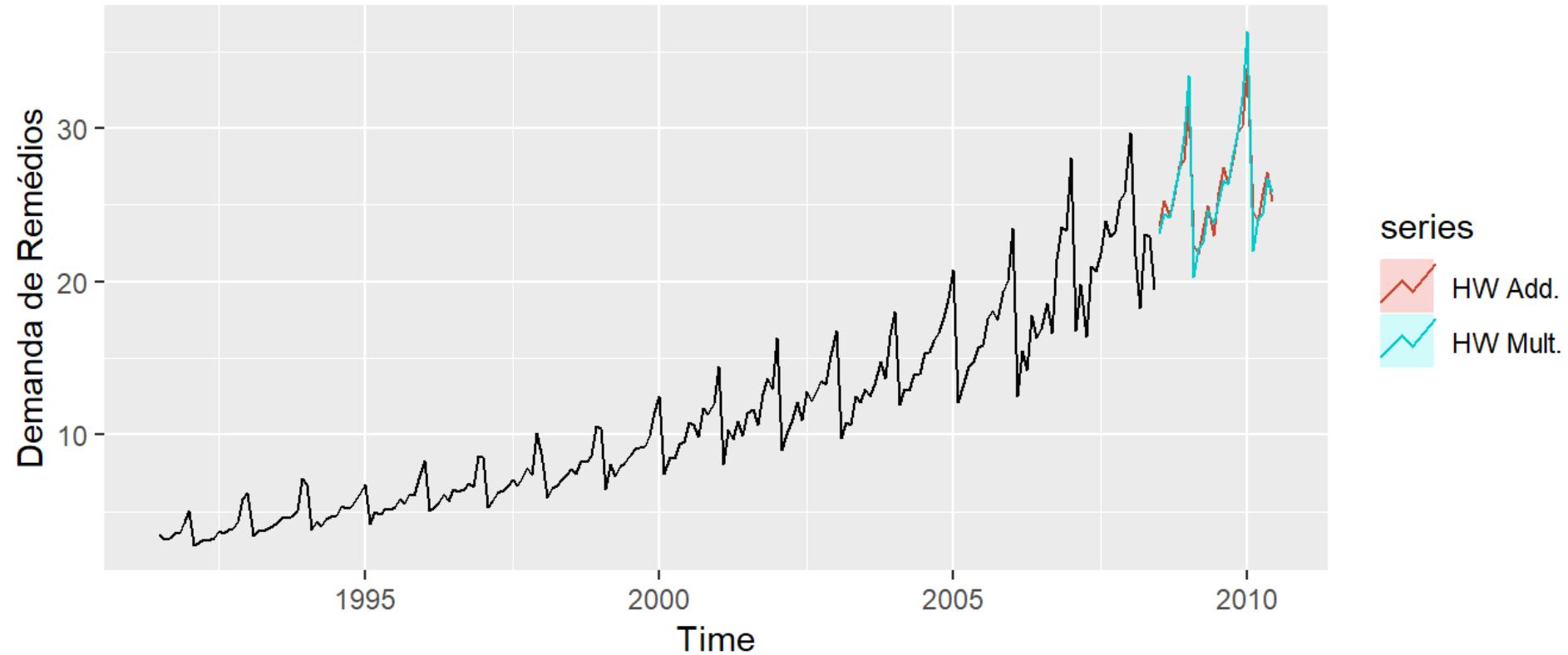
# os Três Tipos de Buffer

- **Existem apenas 3 Tipos de Buffer:**
  - **Estoque:** Material extra no processo de transformação ou entre ele e a demanda (ex.: WIP).
    - Medidas de Desempenho: WIP e Estoque de Produto Acabado.
  - **Tempo (Do Cliente):** Qualquer atraso entre a demanda e o seu atendimento pelo processo de transformação (ex.: Cliente esperando o produto).
    - Medidas de Desempenho: Tempo de Entrega, Nível de Serviço.
  - **Capacidade:** Potencial Extra de transformação para satisfazer (Máquinas ou Operadores Esperando por Trabalhar).
    - Medidas de Desempenho: % de Utilização.

# Além da Variabilidade Natural, Algumas variáveis ainda são não-estacionárias...



# Além da Variabilidade Natural, Algumas variáveis ainda são não-estacionárias...



# **Quando há variabilidade, alguém ou alguma coisa sempre está esperando**

- **Ou as Máquinas Esperam pelas peças ou as peças esperam pelas máquinas:**
  - Quando as peças esperam, o lead time aumenta – Buffer de Tempo.
  - Quando as máquinas esperam por peças, a utilização diminui – Buffer de Capacidade.
- **Ou os Clientes esperam pelas peças ou as peças esperam pelos clientes:**
  - Clientes esperando pelas peças representa buffer de tempo;
  - Peças Esperando pelos clientes representa buffer de estoque.

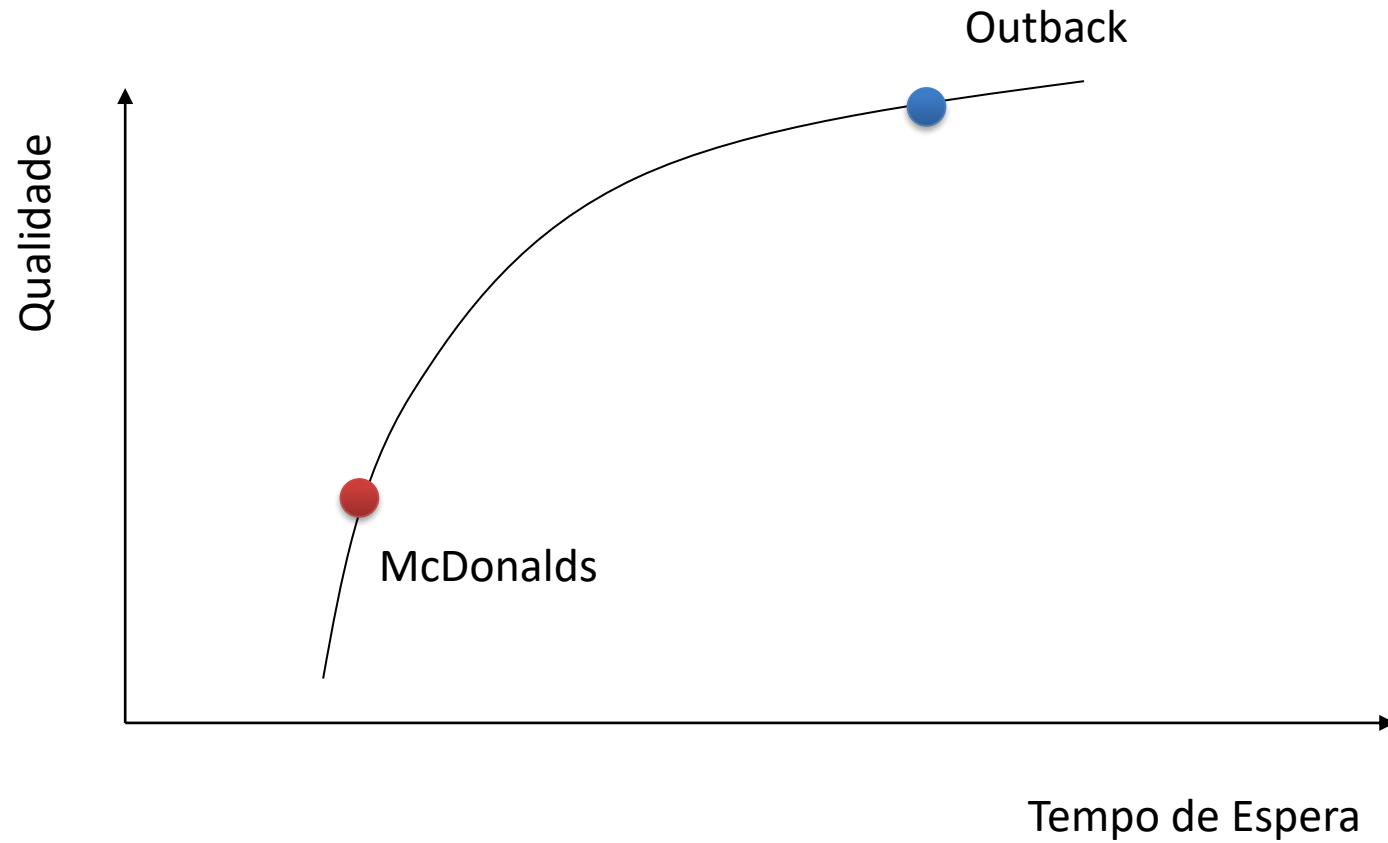
# Fatos sobre Buffers

- **Não existe mágica**, e minimizar cada um dos buffers individualmente é a pior alternativa:
  - **Estoque Zero!** A capacidade do Sistema terá que ser infinita e os clientes terão que esperar!
  - **Atendimento ao Cliente 100 %:** Aumente o estoque, ou tenha capacidade muito maior do que a demanda!
  - **100 % de Utilização:** Os clientes esperarão indefinidamente.

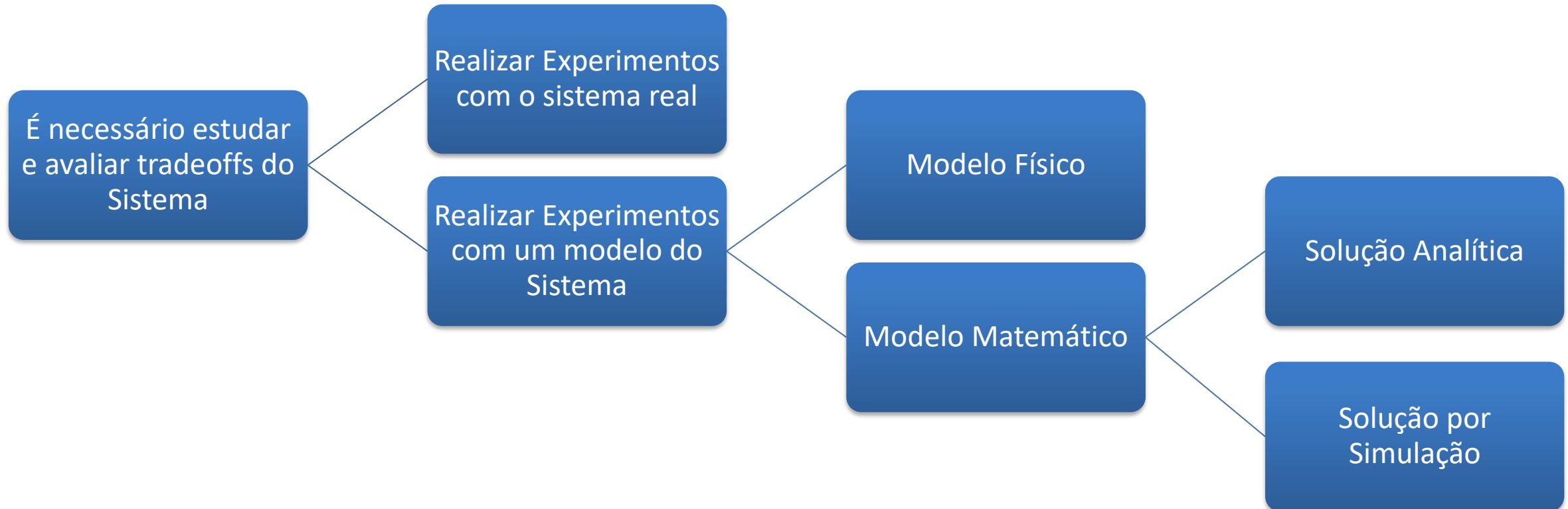
# **“Quem Espera” e “O Quanto” Espera é uma Decisão Gerencial Estratégica**

- **Quem Deve Esperar mais?**
  - O Recurso ou o Cliente?
  - O Caminhão de Bombeiros ou o Prédio Pegando Fogo?
  - A Enfermeira que ministra vacinas ou os pacientes?
  - Os leitos na UTI ou os pacientes?
  - Corações esperando para transplante ou os pacientes?
  - As peças na prateleira ou os clientes?
  - As máquinas em sua fábrica ou os clientes?

# Fronteiras Eficientes – Instrumento para Avaliação de Tradeoffs



# Como Avaliar Tradeoffs de Sistemas Produtivos?



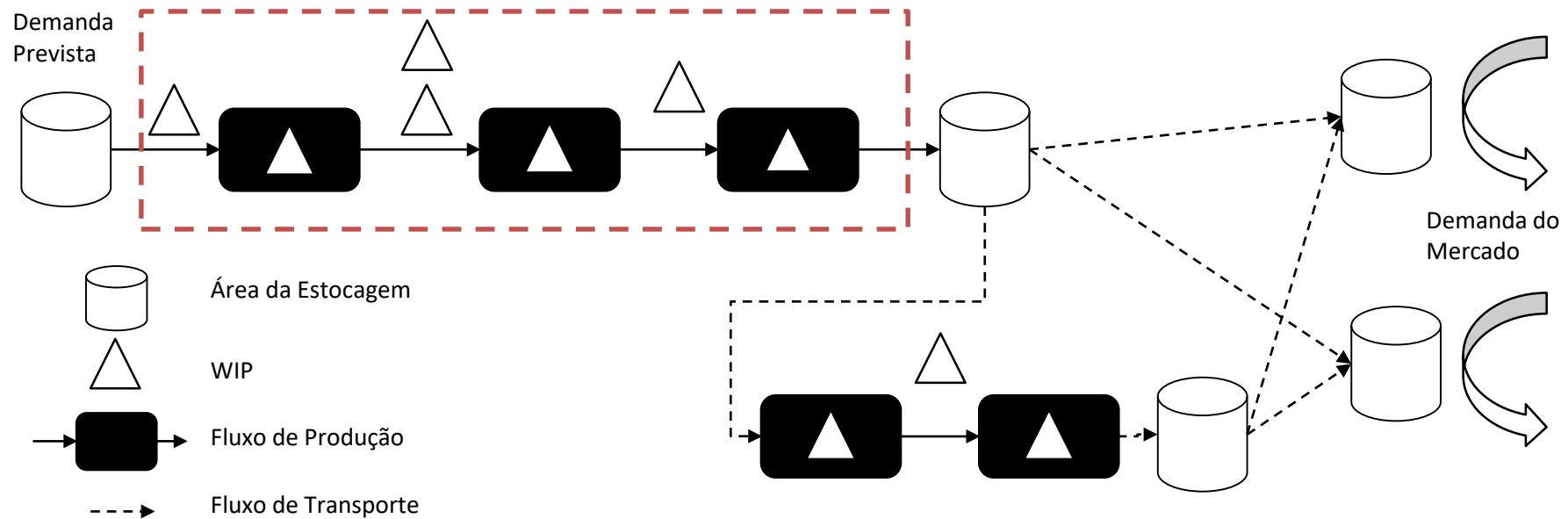
LAW, KELTON (1991, p. 4)

# Contribuições da Ciência da Fábrica

- Três Principais equações e análises que suportam a avaliação de tradeoffs:
  - **Lei de Little e Lei do Melhor Desempenho:** Análise do Fluxo do Processo;
  - **Equação da Variância da Demanda e Ressuprimento:** Análise do Tradeoff entre nível de serviço e custos de estoque.
  - **Equação VUT (Equação de Kingman):** Análise do Tradeoff entre utilização da capacidade e lead time.

# Fatores que Determinam o Desempenho e tradeoffs de um Sistema Produtivo

- **Ambiente:** Variabilidade da demanda, variabilidade dos recursos e quantidade de recursos disponível.
- **Táticas:** Políticas empresariais ou medidas implementadas para cumprir com os objetivos.
- **Controles:** Métodos e Sistemas para implementar as táticas. Exemplo: Sistema MRP, limites de reposição de estoque, incluindo mecanismos de feedback.
- **Parâmetros:** Quantidades usadas para divulgar indicadores de desempenho: entregas dentro do prazo, utilização da capacidade, número de peças conformes.

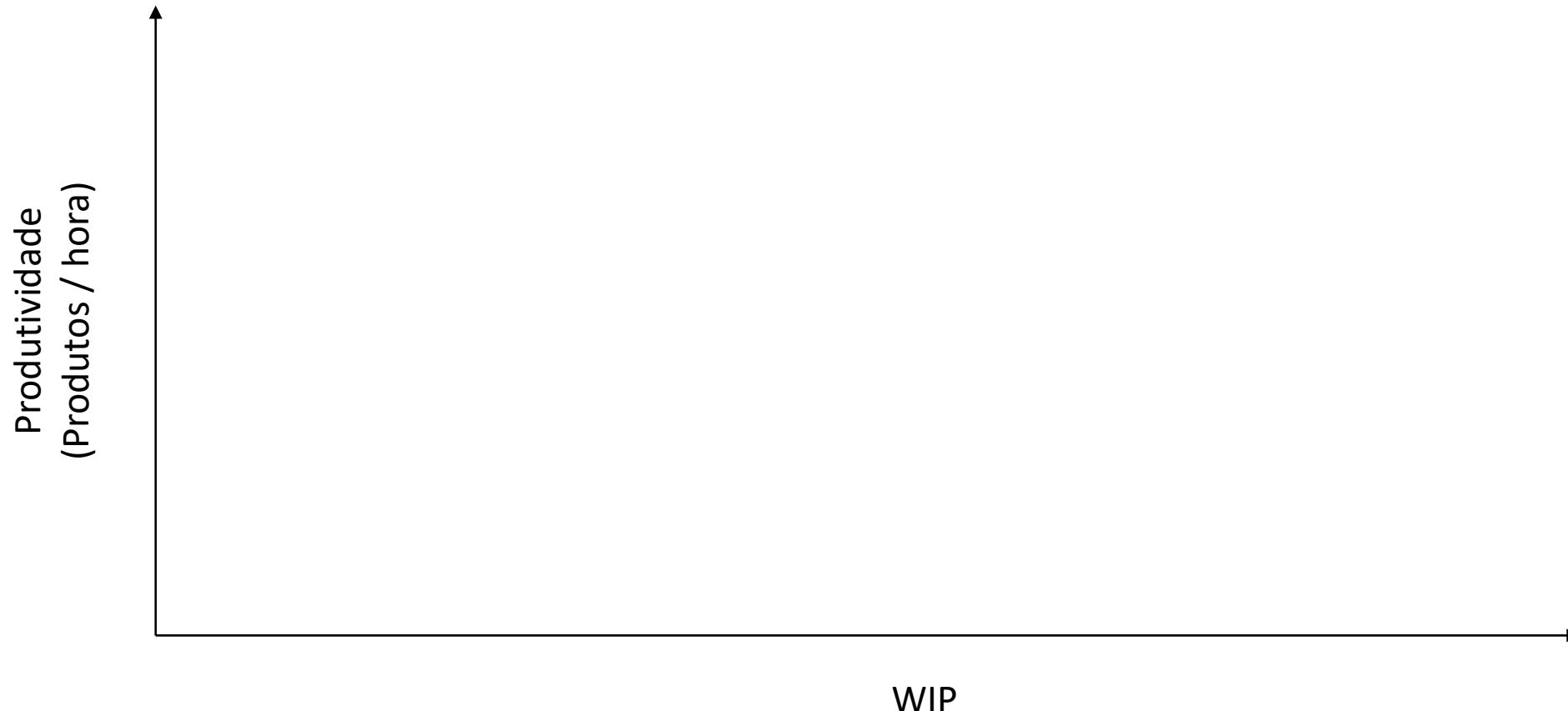


# FLOW BENCHMARKING

# Perguntas...

- Estoque Zero! – Falácia ou Meta?
- “Fluxo Contínuo” e unitário realmente deveria ser uma meta?
- “Sistemas de Produção com Estoque Zero” existem na prática?
- Qual é o Nível de Estoque em Processo (WIP) ideal segundo o Lean Manufacturing?
- Como definir este nível de estoque em processo?

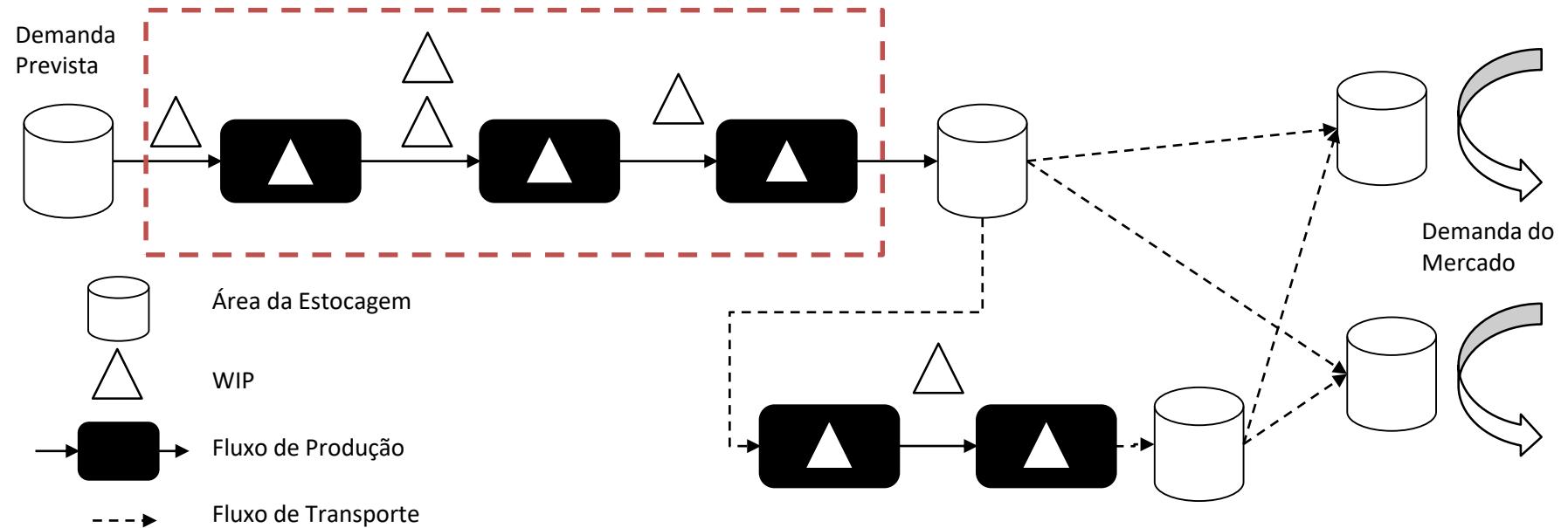
Em uma Fábrica com 4 estações, com demanda ilimitada, todas com mesmo tempo de processamento e sem variabilidade, qual é a relação entre....



Em uma Fábrica com 4 estações, com demanda ilimitada, todas com mesmo tempo de processamento e sem variabilidade, qual é a relação entre....



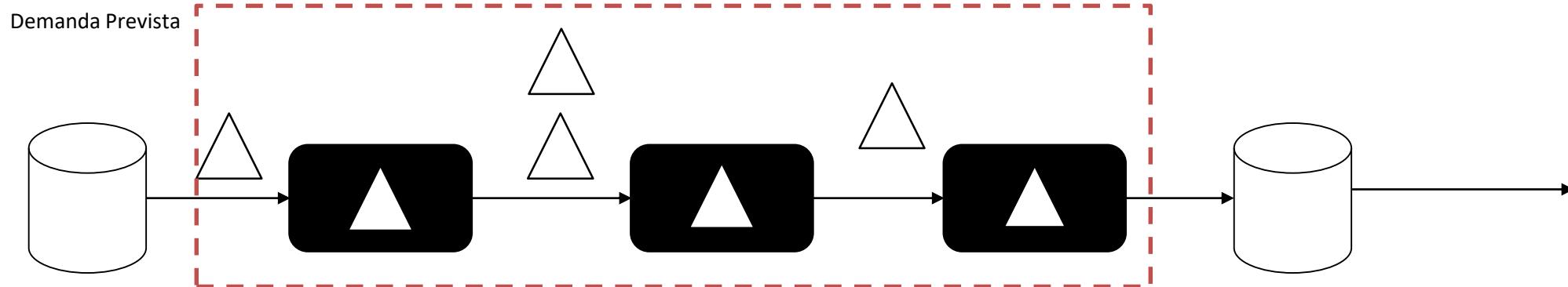
# Questão em Discussão: Quanto estoque em Processo o Sistema deveria ter?



# Questões e Parâmetros Fundamentais

Questão Fundamental:  
Quem paga a conta da variabilidade?  
Quem vai esperar?

As peças pelas máquinas, ou as máquinas pelas peças?



Parâmetros Principais:  
Nível de WIP

Variáveis Afetadas:  
Throughput  
Lead Time

Variabilidade no  
Processo em Si



JESUÍTAS BRASIL

UNISINOS

# Definições

- Existem leis físicas que governam o comportamento natural dos sistemas produtivos;
- A maior parte dos gestores desconhece estas leis formalmente, e tende a aprender com erro e acerto;
- Se não conseguimos ter consenso sobre as variáveis básicas de sistemas produtivos tão simples como este, como será a gestão de sistemas mais complexos?

# Um exemplo (aparentemente) simples

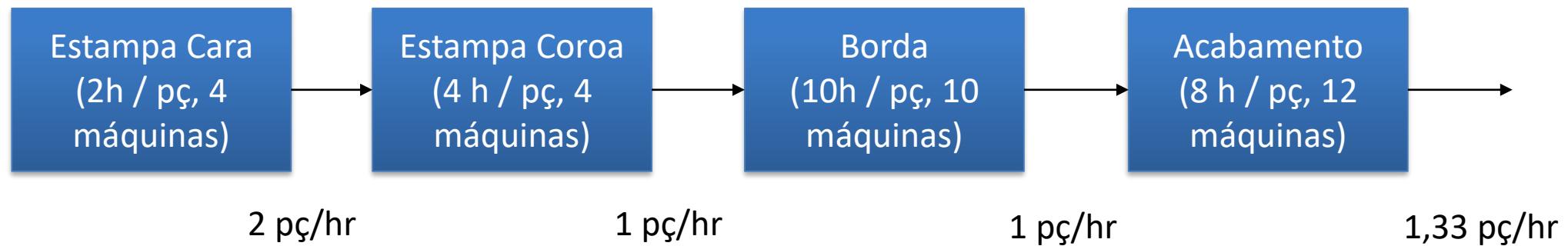
- Uma fábrica de moedas consiste em quatro máquinas em sequência (uma prensa que corta as moedas, a segunda máquina estampa, a terceira máquina faz a borda e a quarta máquina realiza o acabamento). Cada uma das máquinas leva duas horas exatas para realizar sua operação, trabalhando 24 horas por dia.
- Após o processamento da moeda, a mesma segue diretamente para a próxima máquina.

# Desafio: Fábrica Moedas 1

- Abra A FabricaMoedas1.doe;
  - Parâmetros: 4 operações, operação equilibrada, sem variabilidade;
  - Tempo de cada operação: 2 horas.
  - O mercado compra tudo que o sistema produz;
- Simule o Sistema com WIPMAX = 200;
- Simule o Sistema com WIPMAX = 1;
- **Qual é o melhor nível de WIP para este sistema ao mesmo tempo maximizando o Throughput?**

# Desafio: FabricaMoedas2.doe

**Qual é o menor nível de WIP para este sistema, ao mesmo tempo Maximizando o Throughput?**



# Está difícil? Seja Sistemático!

Tentativa	WIP Máximo	Throughput	Lead Time
1	1		
2			
3			
4			
5	200		
...			

# Da prática para a teoria...

“Não há nada mais prático do que uma boa teoria.”

Leonid Brejnev

# Definições

- **$T_0$  - Tempo Bruto de Processamento:** (Soma de todos os tempos médios de processamento em uma linha).
- **$t_g$ - Taxa de Produção do gargalo:** (peças ou ordens / unidade de tempo);
- **$w_0$ - Nível Crítico de WIP:** Quantidade de wip necessária para que uma linha de produção trabalhe na mesma taxa de produção do gargalo, considerando que a linha não tem variabilidade.
- **$u_e$ - Utilização da estação e:** Fração de Tempo em que uma estação não está ociosa **devido à falta de peças para processar.**

# A lei Fundamental da Fábrica - A Lei de Little

- Work in Process (WIP) é vinculado à Produtividade\* do Sistema (Throughput TH) e ao Lead Time\*\*.

$$WIP = TH \times LT$$

\* Aqui, o termo produtividade é utilizado como a produção média por unidade de tempo.

\*\* Na literatura original o que aqui é chamado de Lead time, é chamado de cycle time.

# O Nível Crítico de WIP $w_0$

- A determinação do Nível Crítico de Wip  $w_0$  é uma Aplicação direta da Lei de Little.
- Se o Lead Time do sistema produtivo ( $LT$ ) for igual ao  $T_0$  - Tempo Bruto de Processamento, logo:

$$w_0 = t_g T_0$$

**Havendo Demanda maior do que a taxa do gargalo, nenhum Sistema de Produção deveria ser administrado com wip menor do que  $w_0$ .**

# A Lei do Melhor Desempenho

- Em um sistema sem variabilidade, o leadtime, para certo nível de WIP ( $w$ ) é dado por:

$$LT_{melhor} = \begin{cases} T_0, & \text{se } w \leq w_0 \\ \frac{w}{t_g} \text{ de outra forma} \end{cases}$$

# A Lei do Melhor Desempenho

- Como consequência da lei de little, a Produtividade máxima para um nível de WIP é dada por:

$$TH_{melhor} = \begin{cases} \frac{w}{T_0}, & \text{se } w \leq W_0 \\ t_g, \text{ de outra forma} \end{cases}$$

# A Lei do Pior Desempenho

- No pior sistema possível, o leadtime, para certo nível de WIP ( $w$ ) é dado por:

$$LT_{pior} = wT_0$$

# A Lei do Pior Desempenho

- No pior sistema possível, o Throughput, para certo nível de WIP ( $w$ ) é dado por:

$$TH_{pior} = 1/T_0$$

# A Lei do Pior Desempenho na Prática

- Em Um Sistema com variabilidade alta (tempos exponenciais), o LeadTime é dado por:

$$LT_{pdp} = T_0 + \frac{w - 1}{t_g}$$

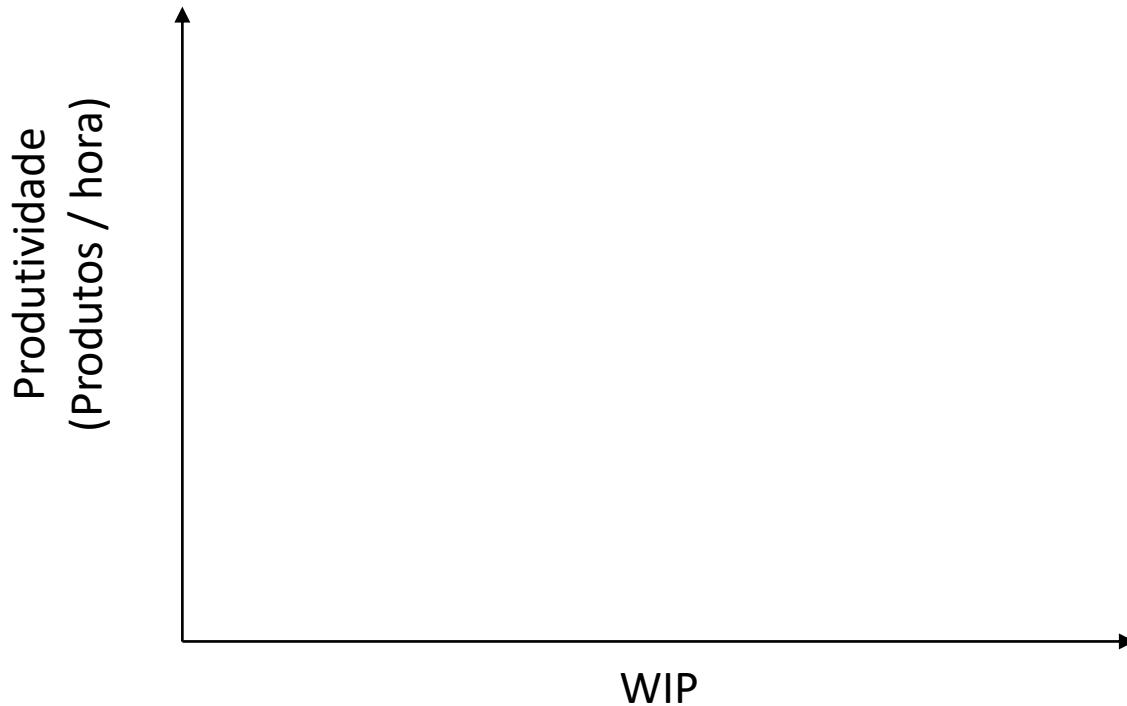
# A Lei do Pior Desempenho na Prática

- Em Um Sistema com variabilidade alta (tempos exponenciais), o Throughput é dado por:

$$TH_{pdः} = t_g \frac{w}{w_0 + w - 1}$$

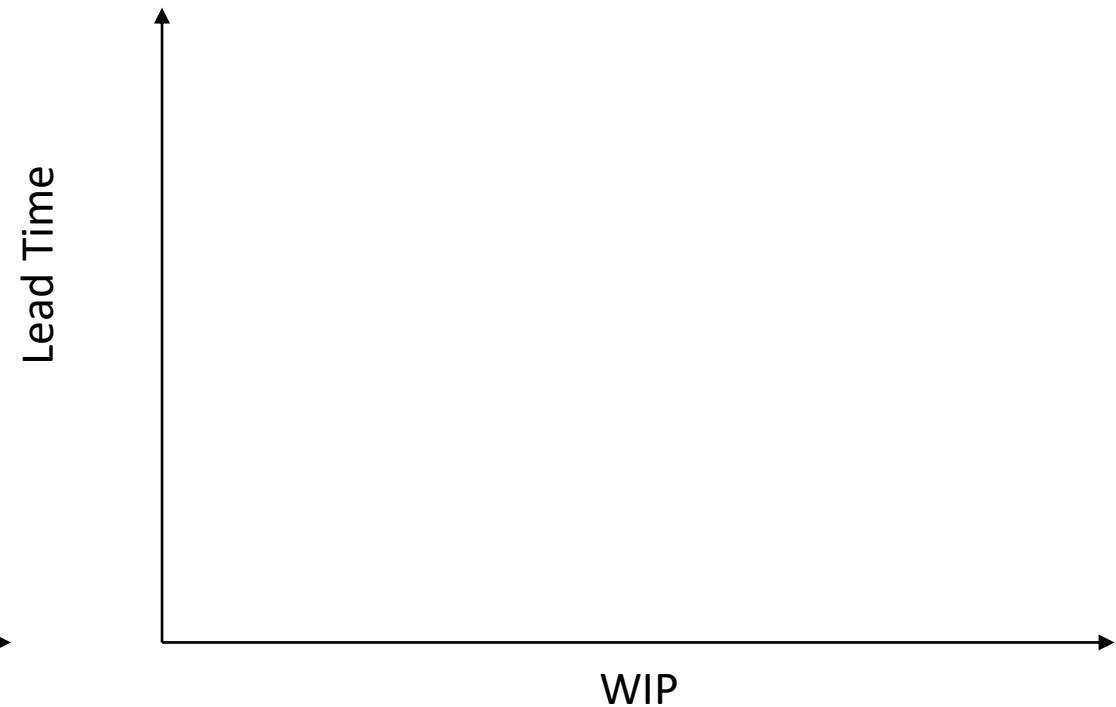
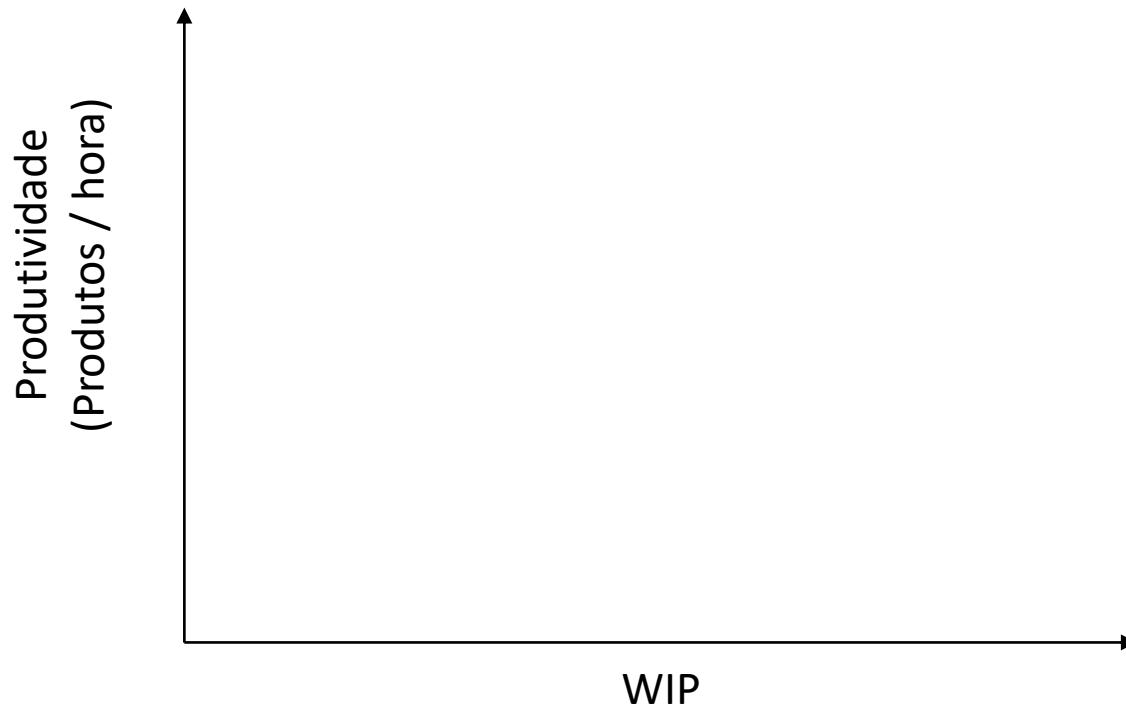
# Verificando a Teoria

- Agora Faça o Gráfico da Produtividade e Lead Time para a fábrica de moedas 1 usando a lei do melhor desempenho. Comece calculando o wo.



# Verificando a Teoria

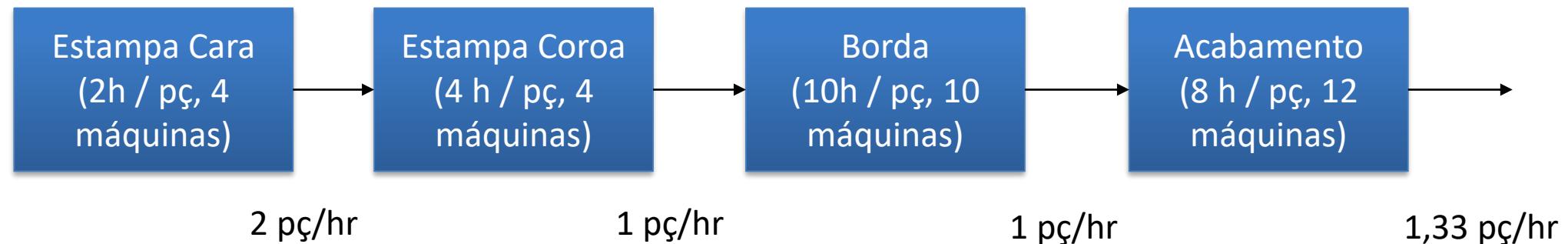
- Faça o Mesmo com a Fábrica 2. Comece calculando o wo.



# Desafio: FabricaMoedas3.doe

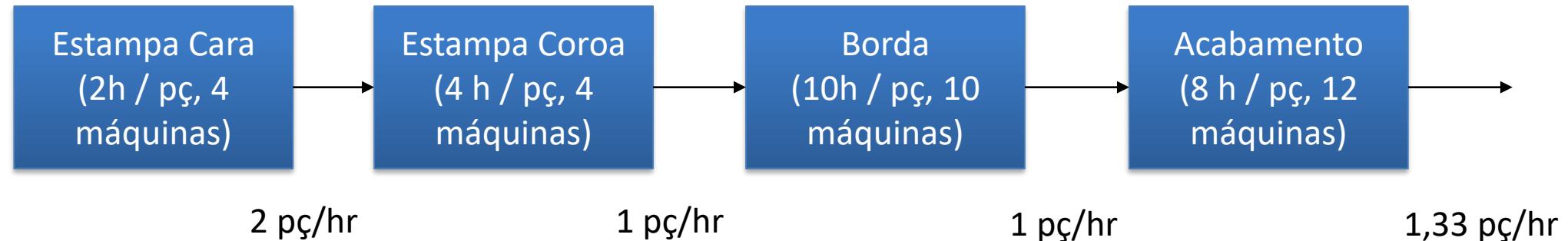
**Agora Cada uma das Operações Tem um Desvio Padrão de 1 hora no tempo de processamento.**

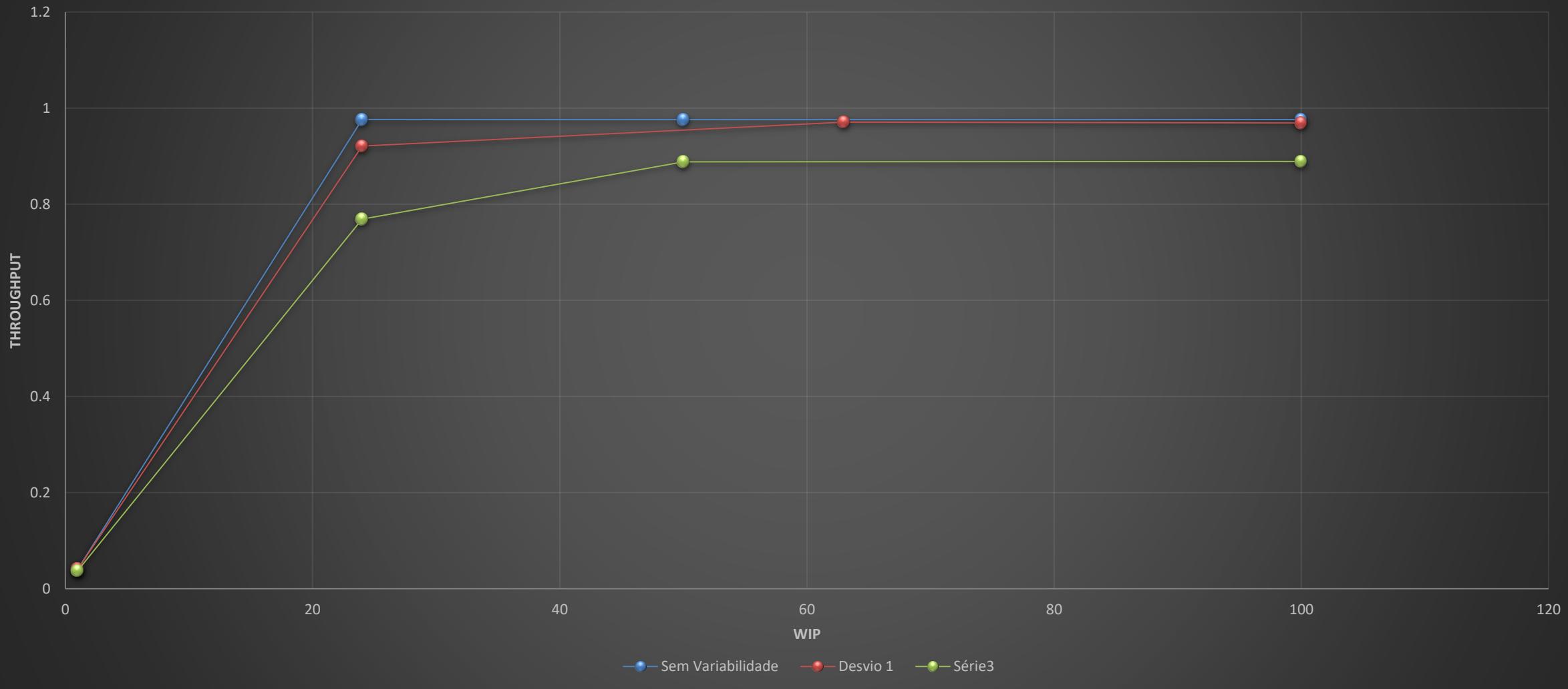
**Qual é o menor nível de WIP para este sistema, ao mesmo tempo Maximizando o Throughput?**



# Desafio: FabricaMoedas4.doe

**Agora Cada Operação tem 90% de Disponibilidade.  
Qual é o menor nível de WIP para este sistema, ao mesmo tempo Maximizando o Throughput?**

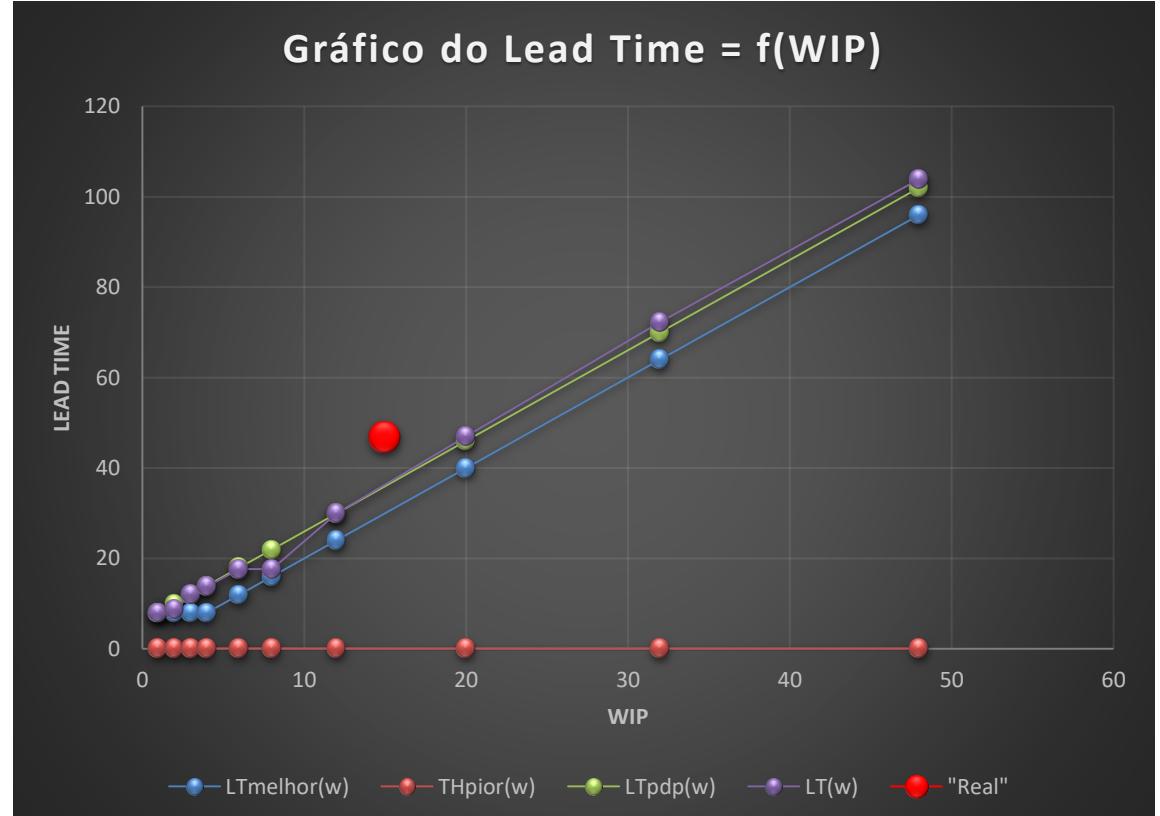
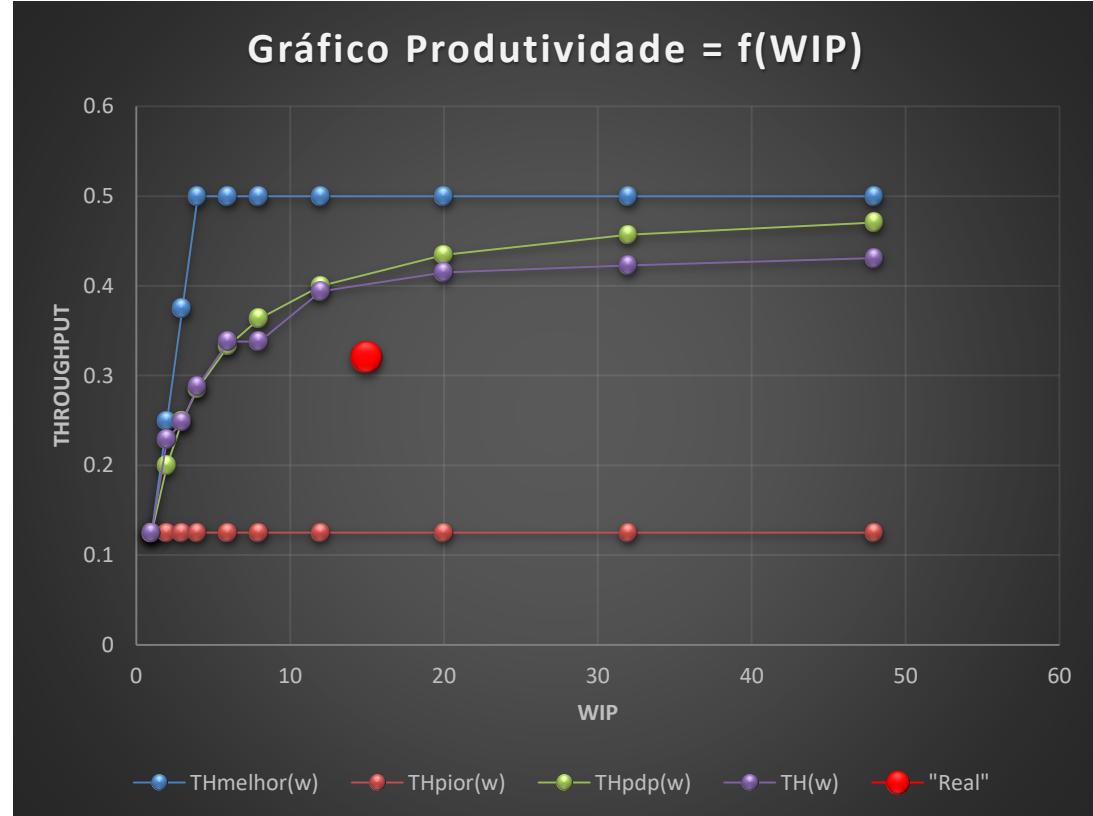




# Construir uma Planilha para Análise de Fluxo

- Abrir o Excel;
- Construir uma Planilha para análise de Fluxo Simplificada.

# A Planilha para Análise de Fluxo



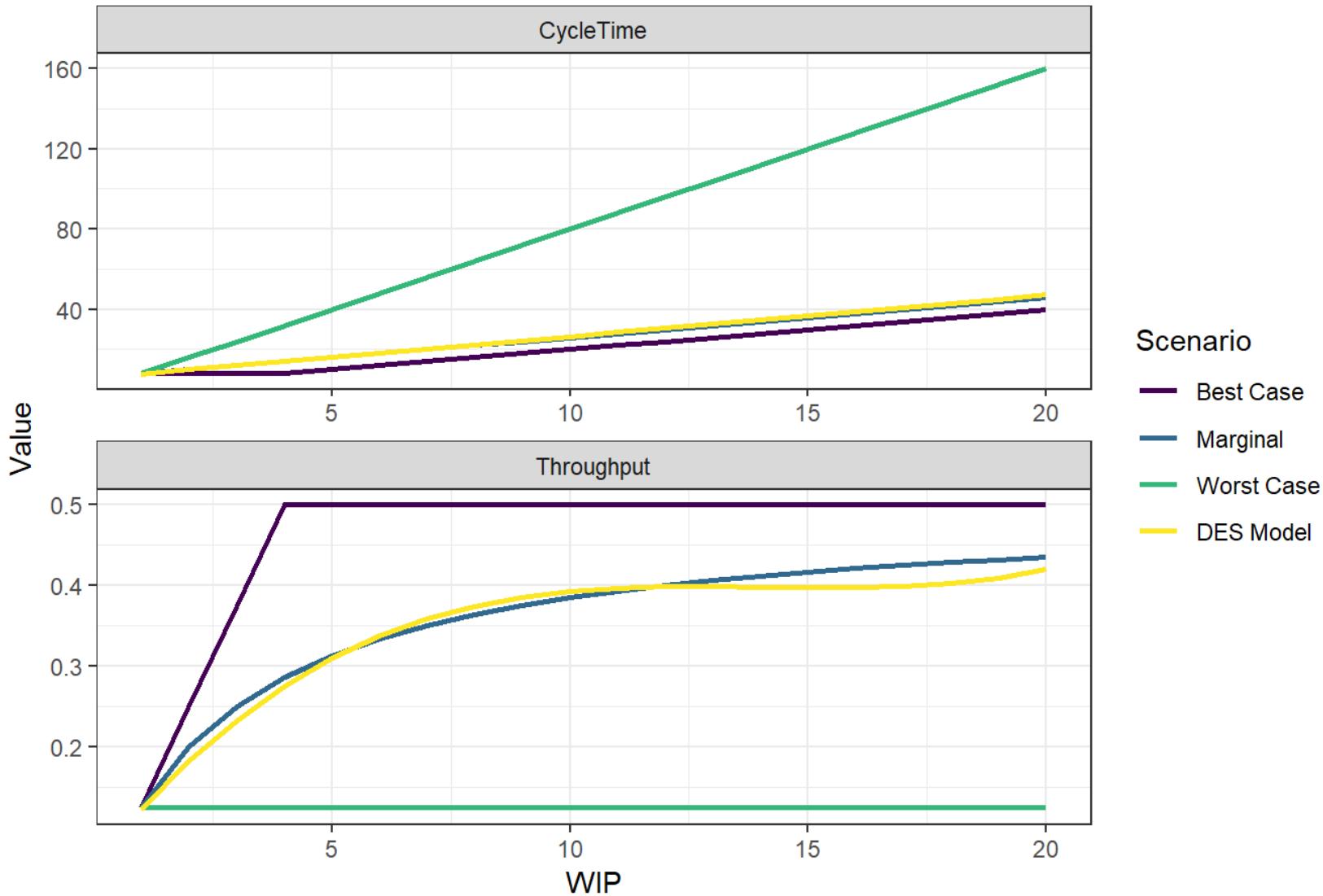
# Como Utilizar o Benchmarking de Fluxo

- Colete os parâmetros básicos do Sistema ( $r_b$  e  $t_0$ );
- Colete as medidas de desempenho do sistema (wip, TH, LT);
- Faça o gráfico do Throughput e do Cycle Time considerando as leis do melhor, pior e pior desempenho na prática;
- Posicione o Sistema atual no gráfico;
- O Gráfico irá revelar quanto o Sistema pode melhorar considerando a fronteira de performance;
- Desenvolva um modelo do sistema para obter informações preditivas do sistema;
- Posicione a Demanda no Eixo do Throughput e decida qual é o nível de WIP necessário para compensar a variabilidade do sistema.

# Conclusões deste Exercício

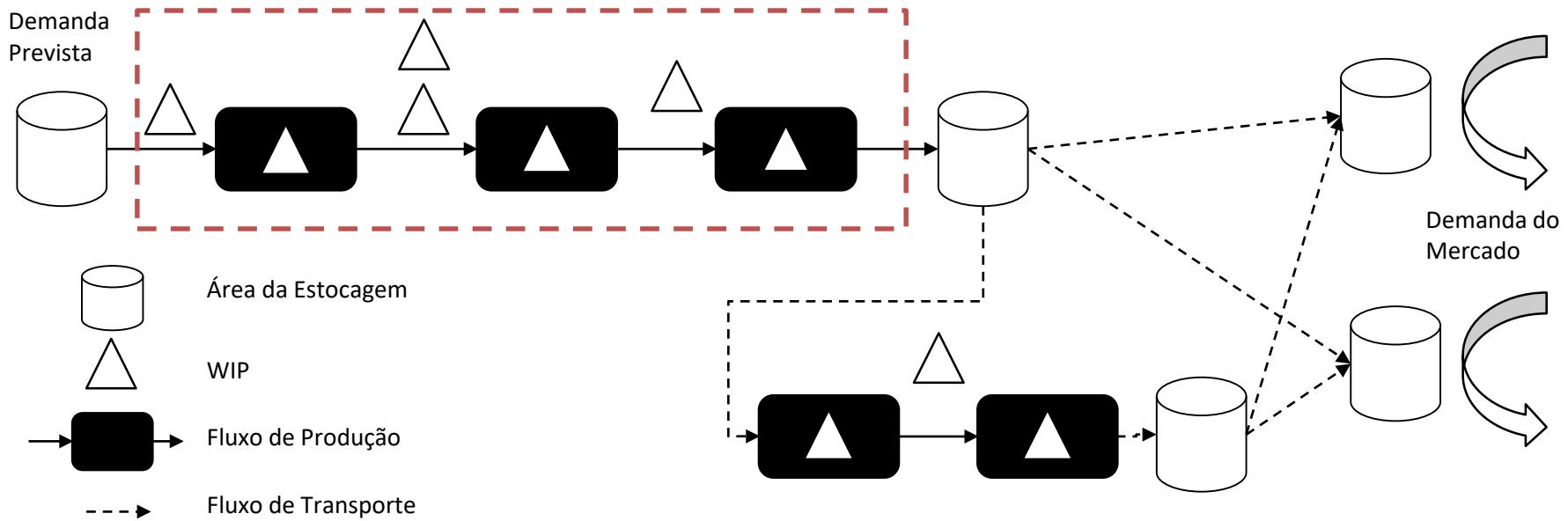
- Ao contrário do dito popular, **Estoque Zero não é uma meta realista, mesmo em sistemas sem variabilidade.**
- Em um sistema com variabilidade zero, uma meta de estoque deveria ser  $w_0 = t_g T_0$
- Em um sistema **com variabilidade**, é necessário fazer uma análise dos Tradeoffs relacionados a WIP, Produtividade e Lead Time.

## Flow Benchmarking Plot



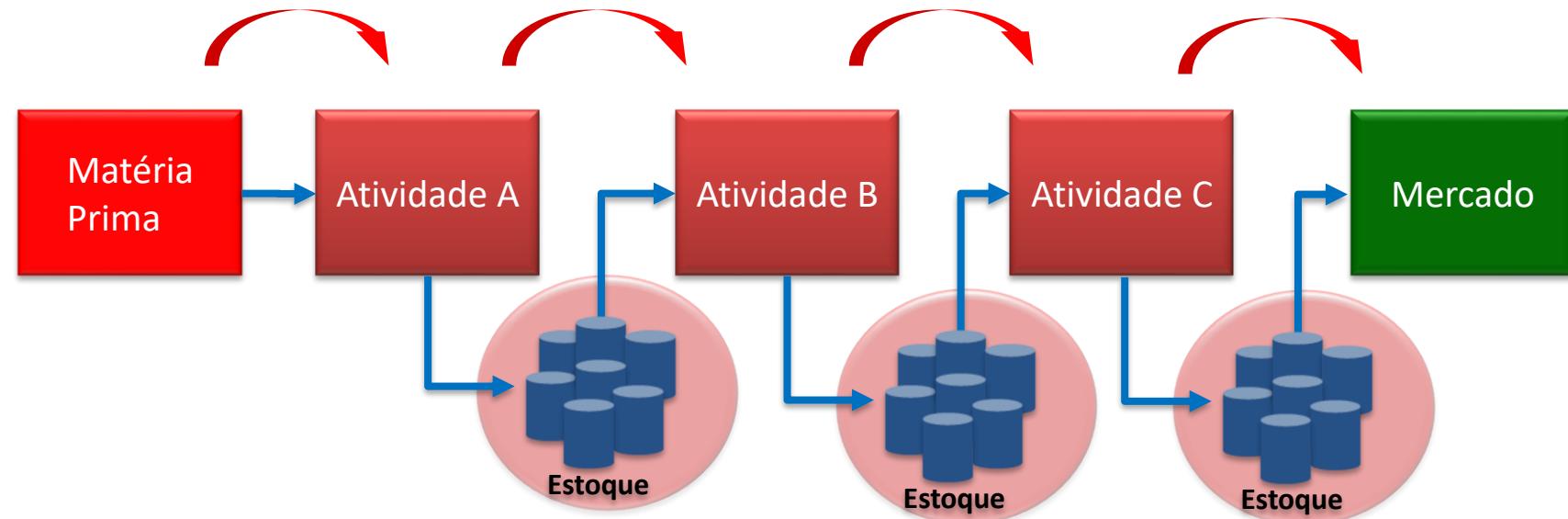
# Atividade para a Próxima Aula

- Trazer os Dados do Sistema para realizar o benchmarking de fluxo durante a próxima aula.



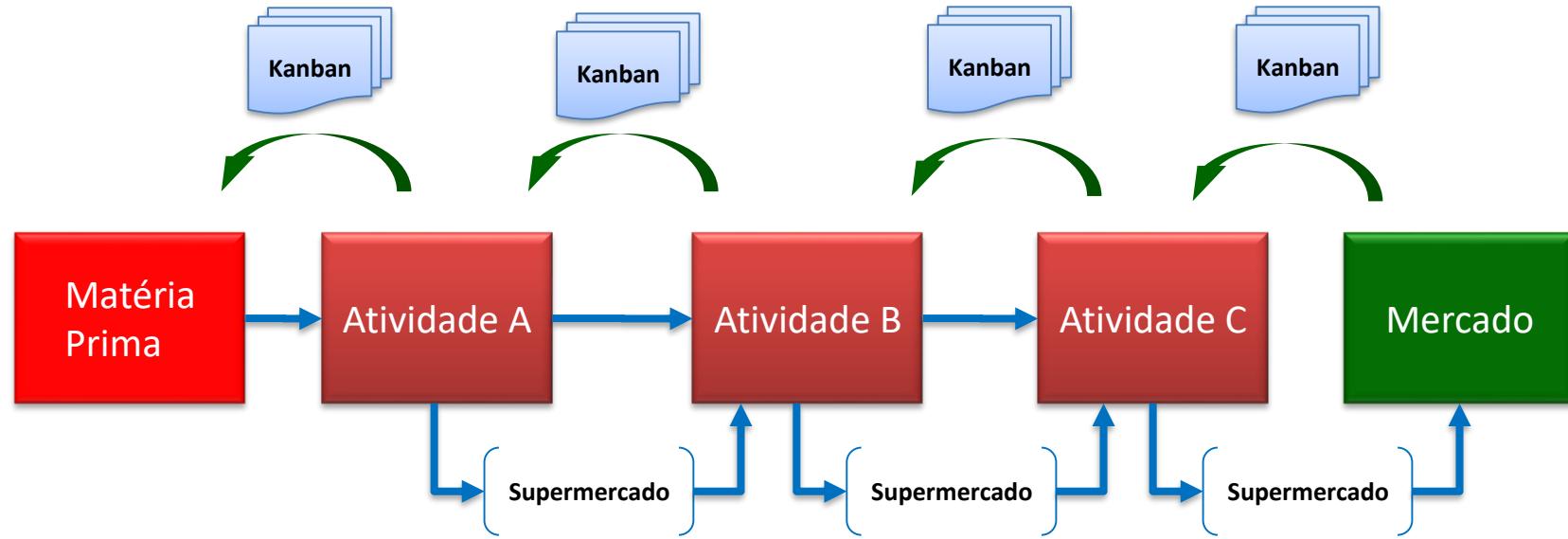
# CONWIP

# Produção Empurrada – MRP sem Controle de Estoque



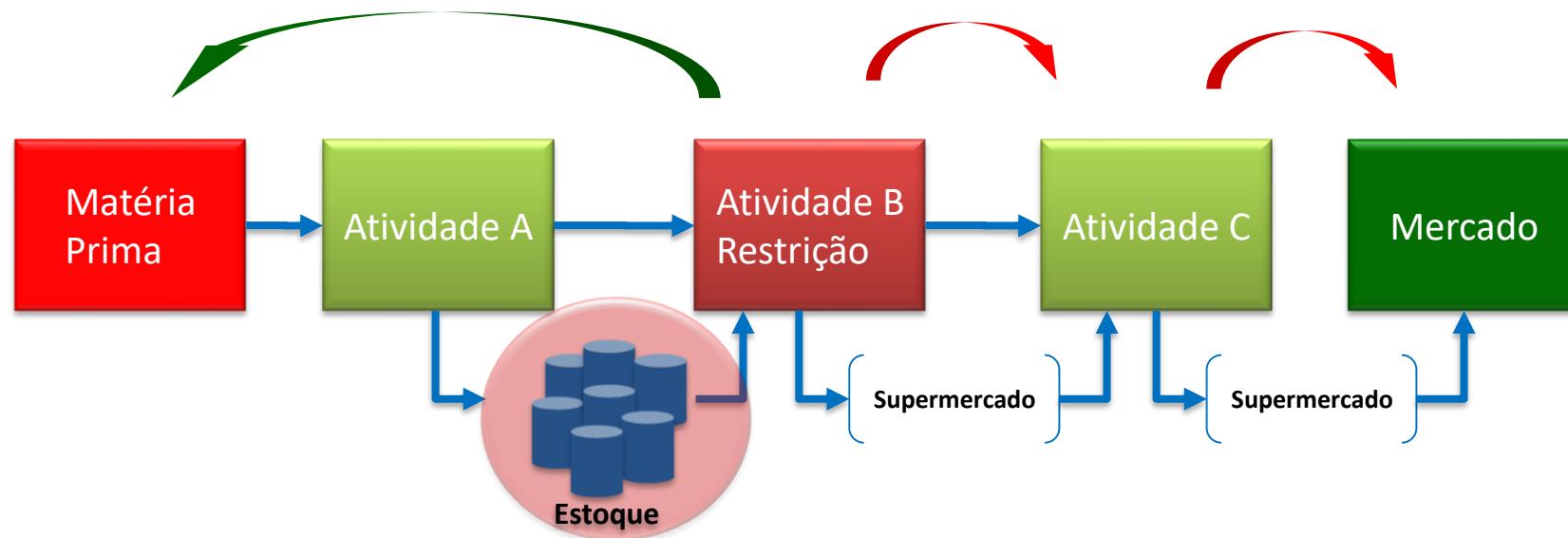
- ❖ Liberações de materiais e trabalho são programadas
- ❖ **Responde a uma programação prévia**

# Produção Produção Puxada – Just in Time



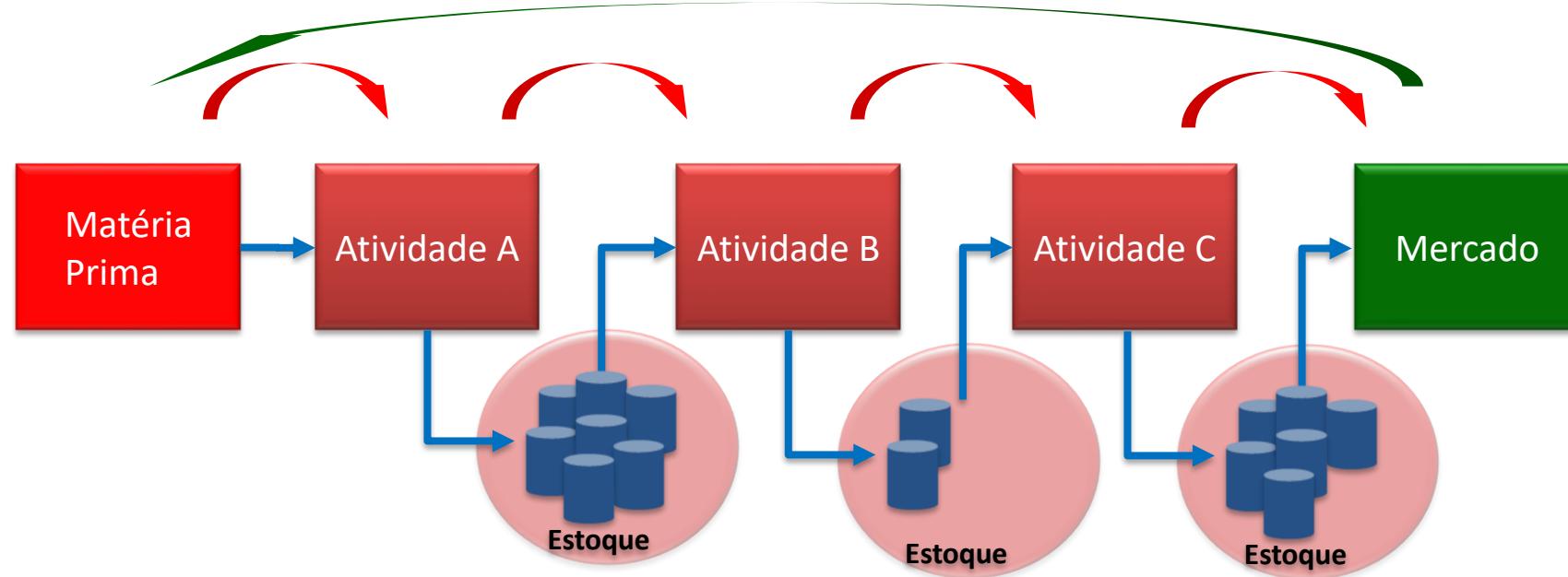
- ❖ Liberações de materiais e trabalho são autorizadas
- ❖ **Responde a demanda**

# O Mecanismo Tambor-Pulmão-Corda (TPC)



- ❖ A Restrição deve ser definida previamente.
- ❖ O Estoque do Tambor (Gargalo) é controlado, e ele determina a liberação de matéria prima.

# CONWIP – Continuous Work in Process



- ❖ O Nível de WIP é determinado a partir das curvas de benchmarking de fluxo;
- ❖ Não é necessário determinar a restrição a priori (e ela pode mudar sem a necessidade de reconfiguração do sistema).
- ❖ Não é necessário determinar supermercados intermediários.

# CONWIP com diversos segmentos



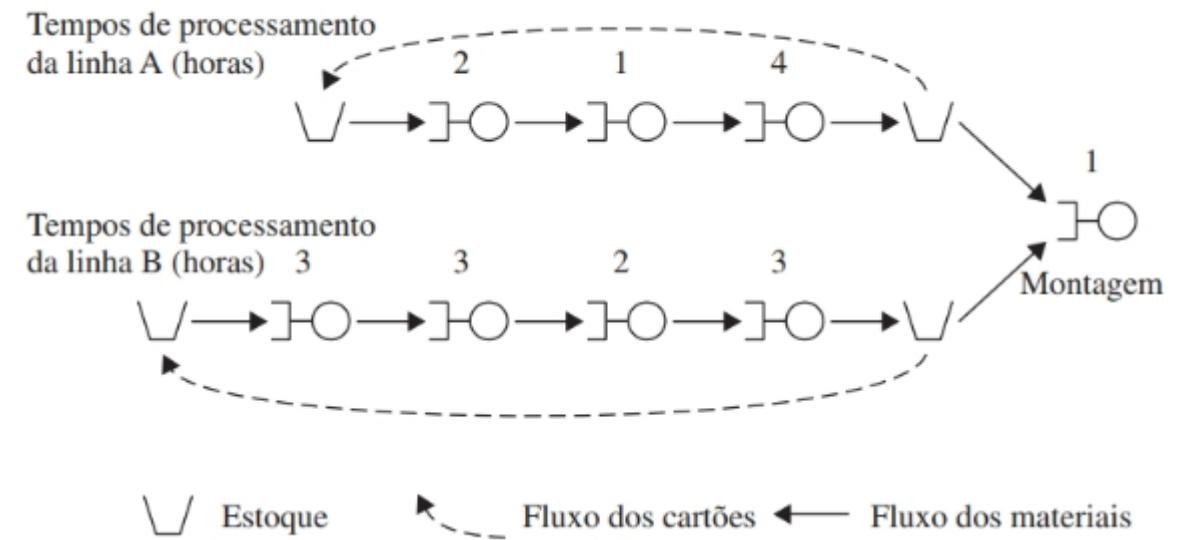
█○ Estações

▽ Estoque

→ Fluxo dos cartões

# Linhas de Montagem com CONWIP

- Restrição: Máquina 3 da Linha A ( $rb = \frac{1}{4} = 0,25$ )
- Assume-se que o sistema tem a performance de acordo com a Lei do Pior Desempenho na prática.
- A empresa irá operar a 90% da capacidade da restrição.
- Qual deve ser o WIP de cada uma das linhas?

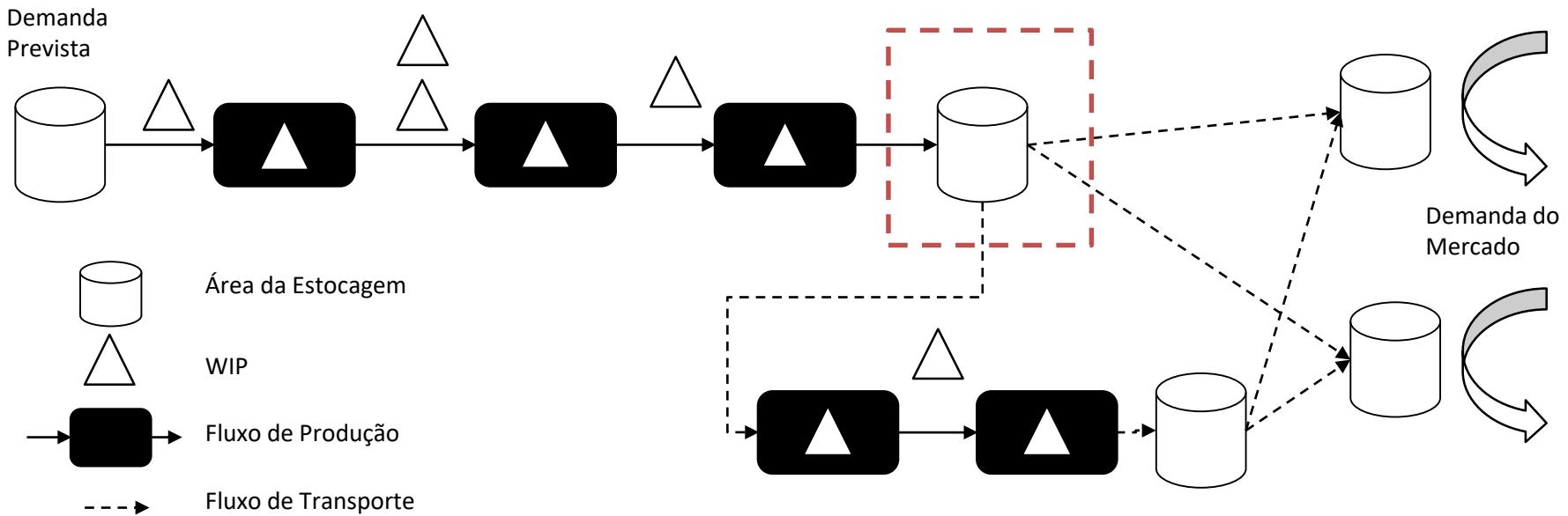


# Linhas de Montagem com CONWIP

- Restrição: Máquina 3 da Linha A ( $r_b = \frac{1}{4} = 0,25$ ) •  $w = 9w_0 - 9$
- Qual é o WIP Crítico para cada uma Das Linhas? • Para a Linha A:
- $w_0^A = r_b T_0^A = 0,25 * (2 + 1 + 4 + 1) = 2$  –  $w_A = 9 * 2 - 9 = 9$
- $w_0^B = r_b T_0^B = 0,25 * (3 + 3 + 2 + 3 + 1) = 3$  –  $w_B = 9 * 3 - 9 = 18$
- $TH_{desejado} = 0,9r_b$
- $TH_{pdp} = r_b \frac{w}{w_0+w-1}$
- $0,9r_b = r_b \frac{w}{w_0+w-1}$
- $w = 0,9 * (w_0+w - 1)$
- ...

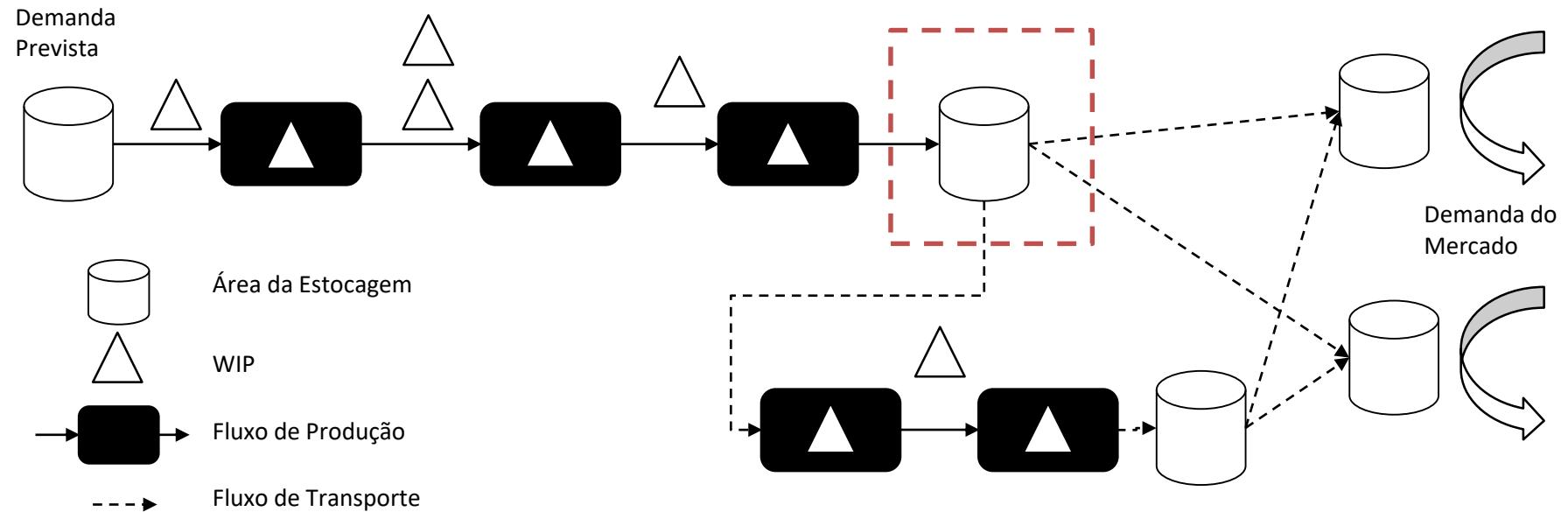
# Desvantagens do Kanban em Relação ao CONWIP

- Em geral, o Kanban é mais complexo do que o CONWIP. Em uma linha com 50 produtos e 10 estações, o Kanban exige o cálculo e atualização de 500 níveis de WIP (se estes níveis não são mantidos atualizados, um aumento de demanda pode levar o sistema ao descrédito);
- Se o mix de produção é alto e a variabilidade da demanda também, o Kanban torna-se inviável;
- Não é prático para trabalhos “raros”.

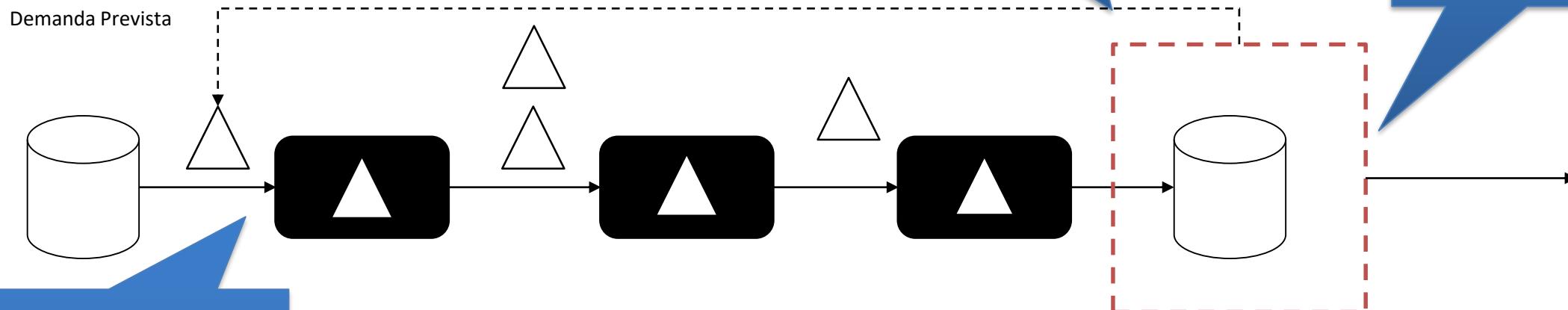


# QUANTO ESTOQUE O SISTEMA DEVERIA TER? AVALIANDO O TRADEOFF ENTRE NÍVEL DE SERVIÇO E CUSTO DE ESTOQUES

# Questão em Discussão: Quanto estoque (de MP ou Produto acabado) a empresa deveria ter?



# Questões e Parâmetros Fundamentais



Tempo de Ressuprimento (e sua variabilidade):  
 $l$  – Tempo de Ressuprimento  
 $\sigma_l^2$  - Variância do Tempo de Ressuprimento

Variabilidade no Suprimento

Variabilidade na Demanda

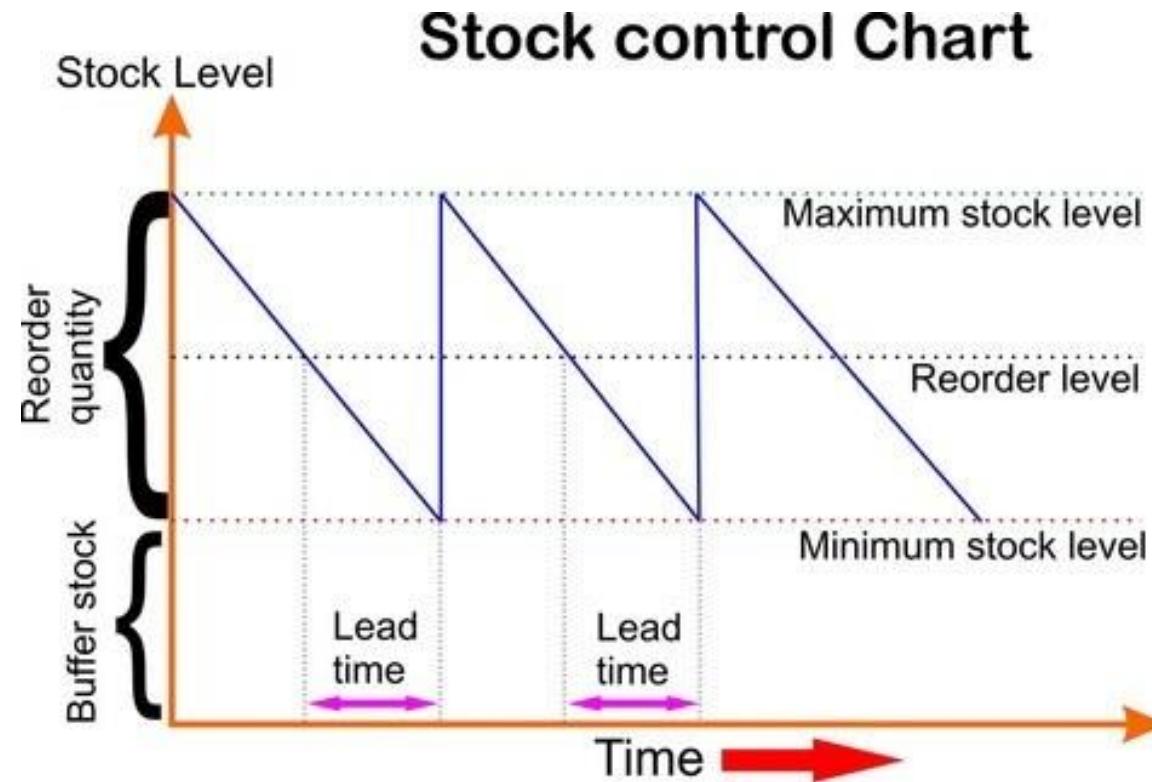
Questão Fundamental:  
**Quem paga a conta da variabilidade?**  
**Quem vai esperar?**  
As peças (no estoque) ou o Cliente?

Demande (e sua variabilidade):  
 $\lambda$  – Demanda  
 $\sigma_l^2$  - Variância da Demanda

# Previsão de Demanda e Determinação dos Níveis de Estoque

- Abordagem não-científica para o problema:
  - “Mantenha 3 meses de estoque”
  - “Faltou estoque? Aumente em um mês”
  - Os parâmetros do ERP não são atualizados em função da demanda;
- Consequências negativas:
  - Para alguns SKUs, mais estoque do que o necessário;
  - Para outros, menos.
  - Normalmente a empresa paga a conta com mais estoque do que necessário.

# Retomando: Políticas de Estocagem



# Equação da Variância da DTR

$$\begin{aligned}\mu_{RTD} &= \lambda l \\ \sigma_{RTD}^2 &= l\sigma_d^2 + \lambda^2\sigma_l^2\end{aligned}$$

Onde:

$\mu_{RTD}$ : Média do DTR (Demanda X Tempo de Ressuprimento), ou seja, qual deveria ser o meu ponto de reposição.

$l$ : Tempo de Ressuprimento Médio

$\lambda$ : Demanda Média

$\sigma_{RTD}^2$ : Variância do DTR.

$\sigma_d^2$ : Variância da Demanda.

$\sigma_l^2$ : Variância do Tempo de Ressuprimento.

# O que é Demanda no Tempo de Reabastecimento?

- Demanda por Tempo de Reabastecimento: É a demanda que ocorre durante o tempo de reabastecimento de um produto.
- Se um produto leva três meses para ser comprado, e a demanda do mesmo é 10 por mês, logo:
- Demanda no Tempo de Reabastecimento:
  - $DTR = 3 \text{ meses} \times 10 \text{ peças / mês} = 30 \text{ peças.}$
- No Mundo Real, a Demanda E o Tempo de Reabastecimento são variáveis aleatórias, logo, a DTR também será.

# O Problema

- A equação normalmente utilizada para determinar estoques de segurança **está errada** (Pound, Bell, Spearman, 2013, pg. 124).
- Esta equação, em geral, **errra para mais, fazendo com que o sistema tenha mais estoque do que necessário, para atender a um determinado nível de serviço.**
- **Equação errada (e mais simples):**
- Quem paga a conta deste erro: A empresa (com estoques maiores do que o necessário).

$$r = \lambda l + s$$

$$S_{\text{errado}} = z * \sigma_{RTD}$$

# O Procedimento mais complexo para a Análise do Estoque

- Sistema de Revisão Contínua com Ponto de Reposição  $r$  e Quantidade de Reposição  $Q$ .
- Posição de Estoque:  $P = I + W - B$
- Ponto de Reposição:  $r = \lambda l + s$
- Estoque Médio Disponível:  $I = \frac{Q}{2} + s$
- Dificuldade: Estimar a Taxa de Atendimento (Observar Planilha).

$$\begin{aligned}\mu_{RTD} &= \lambda l \\ \sigma_{RTD}^2 &= l\sigma_d^2 + \lambda^2\sigma_l^2 \\ S &= \frac{1}{Q} \sum_{x=r+1}^{r+Q} F(x)\end{aligned}$$

# Desafio: Abrir o Modelo Inventário

- Determinar, com as condições atuais, qual é o nível de estoque ideal para obter uma taxa de Serviço de 92.7 %.
- Qual deveria ser o Nível de Estoque?
- Qual é o Custo Médio em Estoque?

# Desafio - Abrir o Modelo Inventário

- Determinar, com as condições atuais, qual é o nível de estoque ideal para obter uma taxa de Serviço de 100 % (Se faltar a peça, a linha irá parar!)
- Qual deveria ser o Nível de Estoque?
- Qual é o Custo Médio em Estoque?

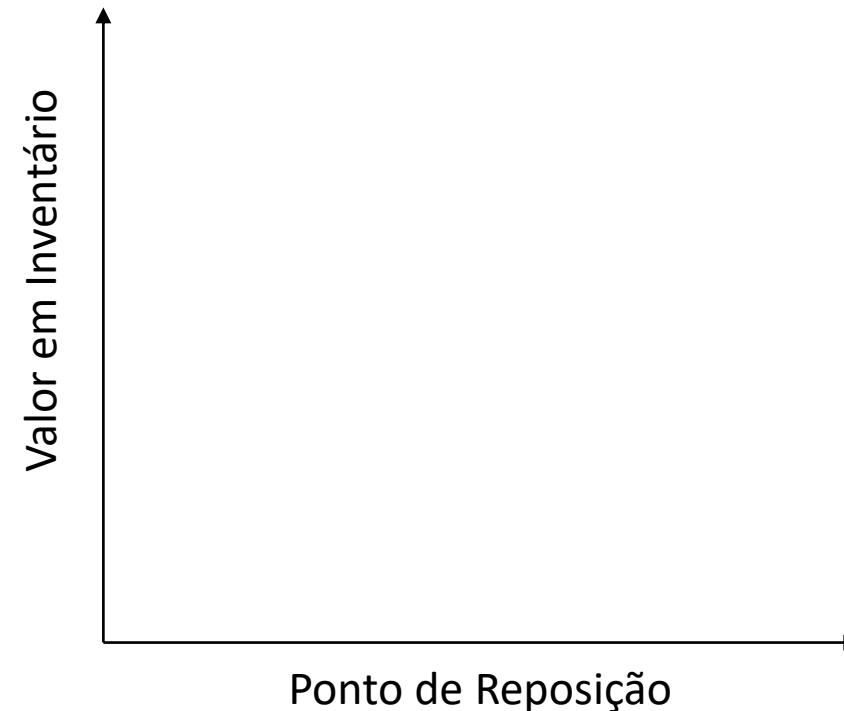
# Desafio - Modelo Inventário

- Considerar que agora o cliente está disposto a esperar pelo produto por, em média, 9.83 dias.
- Qual deveria ser o Nível de Estoque?
- Qual é o Custo Médio em Estoque?

# Desafio - Modelo Inventário

- A Demanda caiu pela metade (50%);
- A Sua empresa não modificou suas políticas de estoque;
- Quantos Reais a Empresa está mantendo em estoque a mais do que necessário por não mudar sua política de estoque?

# Relações Fundamentais Entre as Variáveis

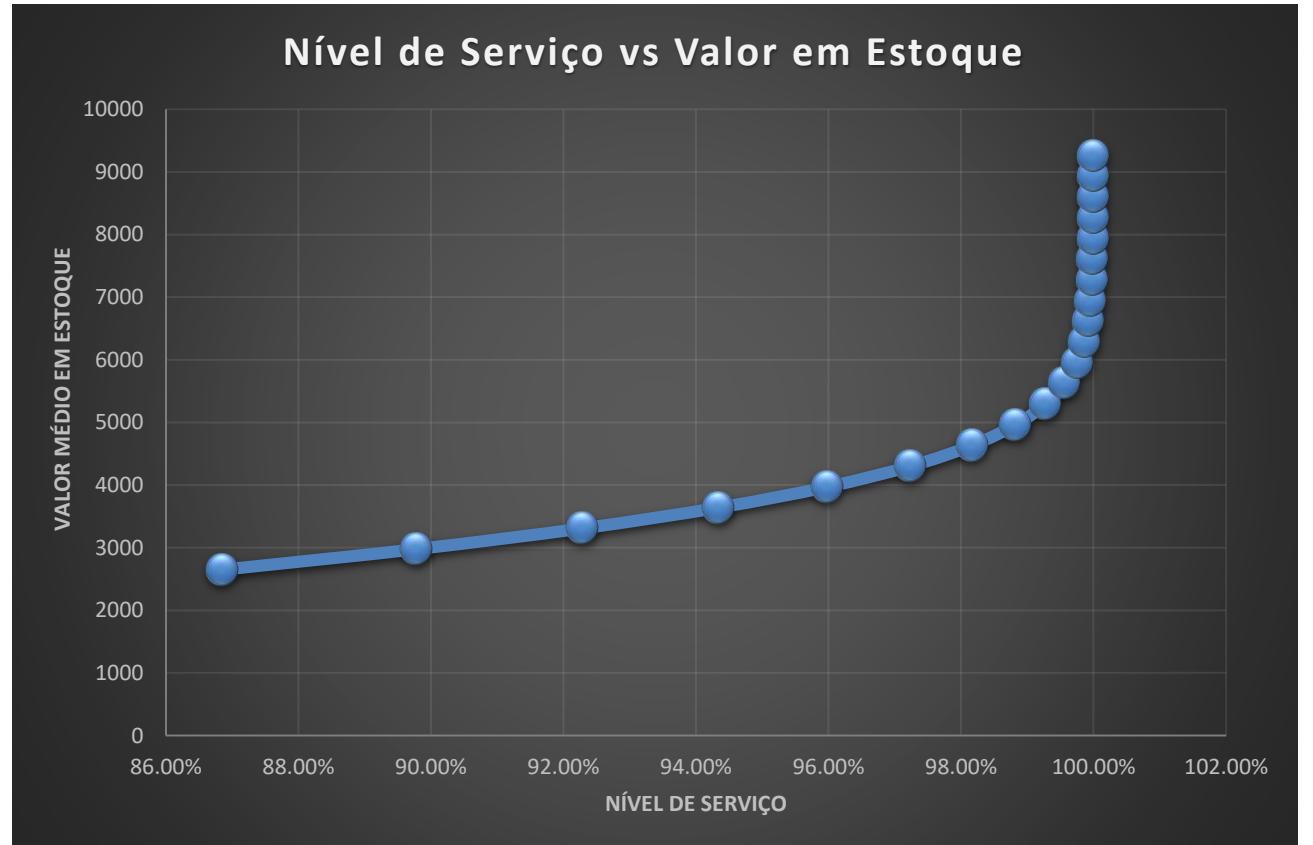


# Relações Fundamentais Entre as Variáveis



# Contribuições da Ciência da Fábrica

- Utilizando as fórmulas corretas, é possível traçar uma curva de limite eficiente entre o que o cliente quer (alto nível de serviço), e o que a empresa quer (baixo nível de estoques):



# Dificuldades para a Adoção desta abordagem

- Esta abordagem é mais complexa.
- O procedimento adotado para a otimização de estoques descrita no livro está patenteado.
- Alternativas:
  - Comprar o software C-SUITE;
  - Contratar um especialista em Otimização;
  - Executar os cálculos descritos no livro para cada SKU e ajustar o Ponto de Reposição de acordo.



US 20110082774A1

(19) **United States**  
(12) **Patent Application Publication**  
Spearman  
(10) **Pub. No.: US 2011/0082774 A1**  
(43) **Pub. Date:** Apr. 7, 2011

(54) **INVENTORY OPTIMIZER** Publication Classification

(76) Inventor: **Mark L. Spearman**, Bryan, TX  
(US)

(51) Int. Cl.  
*G06Q 10/00* (2006.01)

(21) Appl. No.: **12/898,498**

(52) U.S. Cl. ..... 705/28

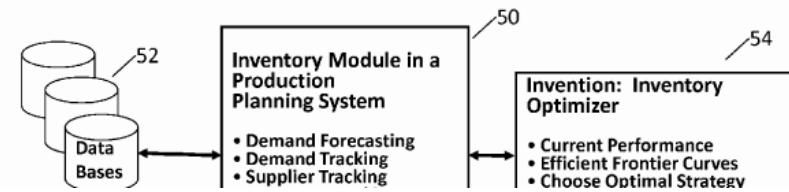
(22) Filed: **Oct. 5, 2010**

(57) **ABSTRACT**

Embodiments of the present disclosure include a computer implemented method for an automated selection of an optimal inventory strategy from a set of available strategies based, at least in part, on a set of optimal individual policies associated with one or more items of a plurality of items maintained in a particular inventory stock.

**Related U.S. Application Data**

(60) Provisional application No. 61/249,325, filed on Oct. 7, 2009.



Client Lead Time

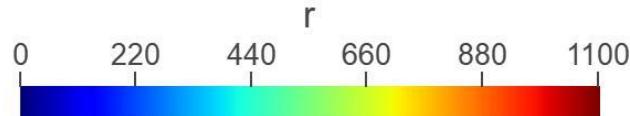
20  
16  
12  
8  
4  
0

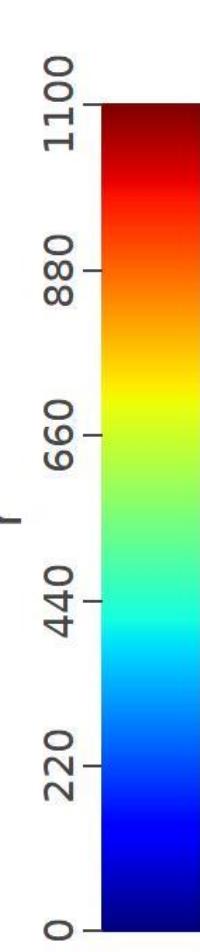
Service Level

1  
0.84  
0.68  
0.52  
0.36  
0.2

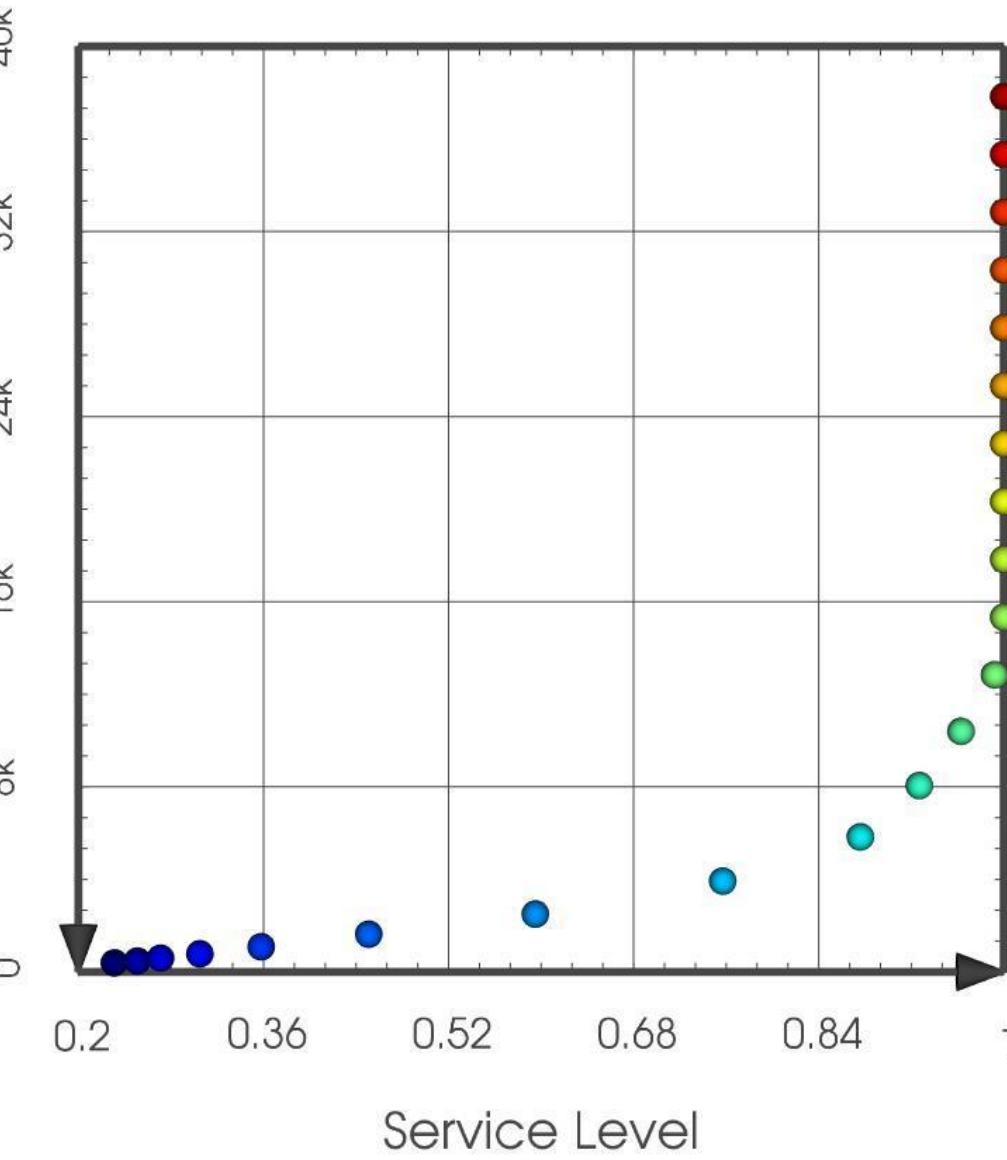
Avg Inventory Value

40k  
32k  
24k  
16k  
8k  
0

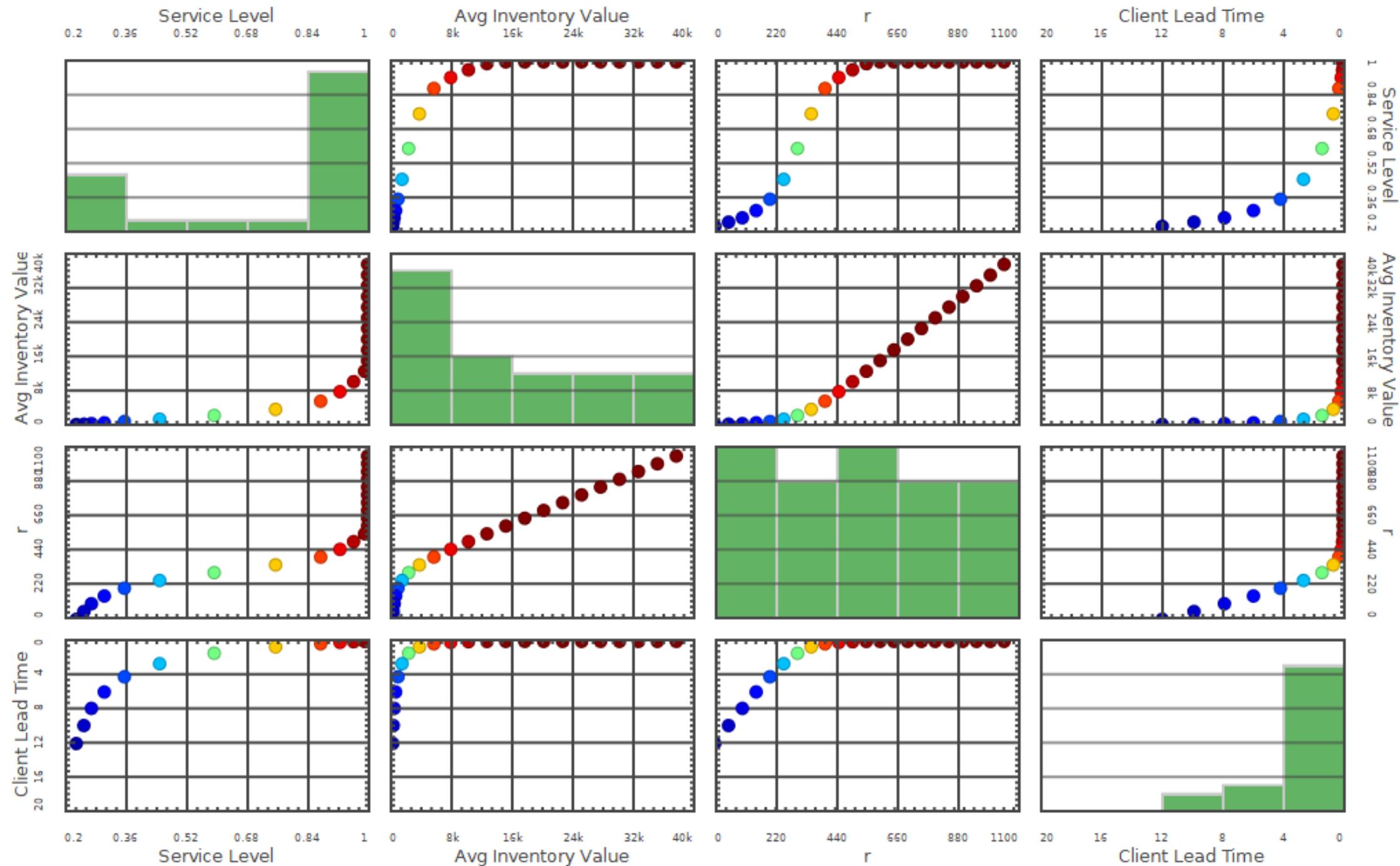




Avg Inventory Value



H: Brushing  
○ Brushed Off  
● Brushed On

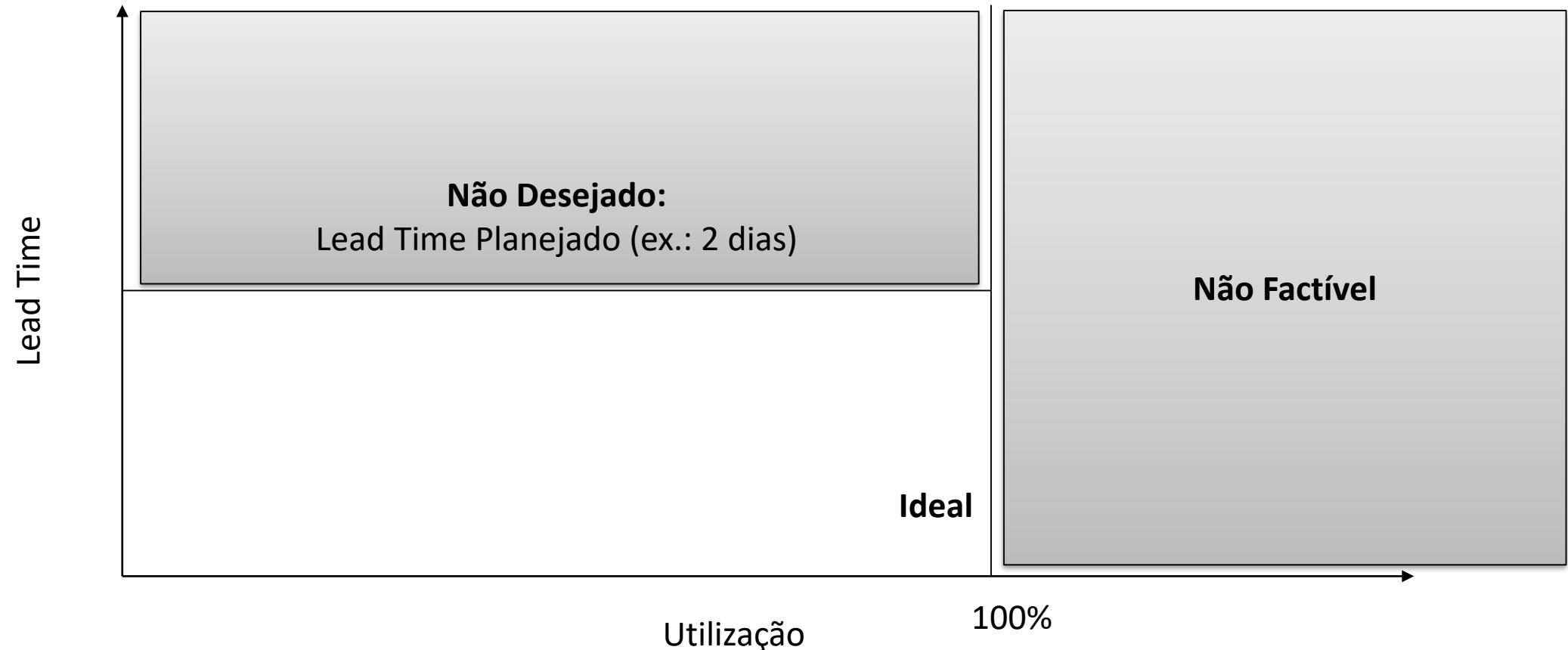


# **EQUAÇÃO VUT: O TRADEOFF ENTRE UTILIZAÇÃO E LEAD TIME**

# Qual é a relação entre a Utilização e o Lead Time em um Sistema Produtivo?



# Qual é a relação entre a Utilização e o Lead Time em um Sistema Produtivo: Visão Tradicional



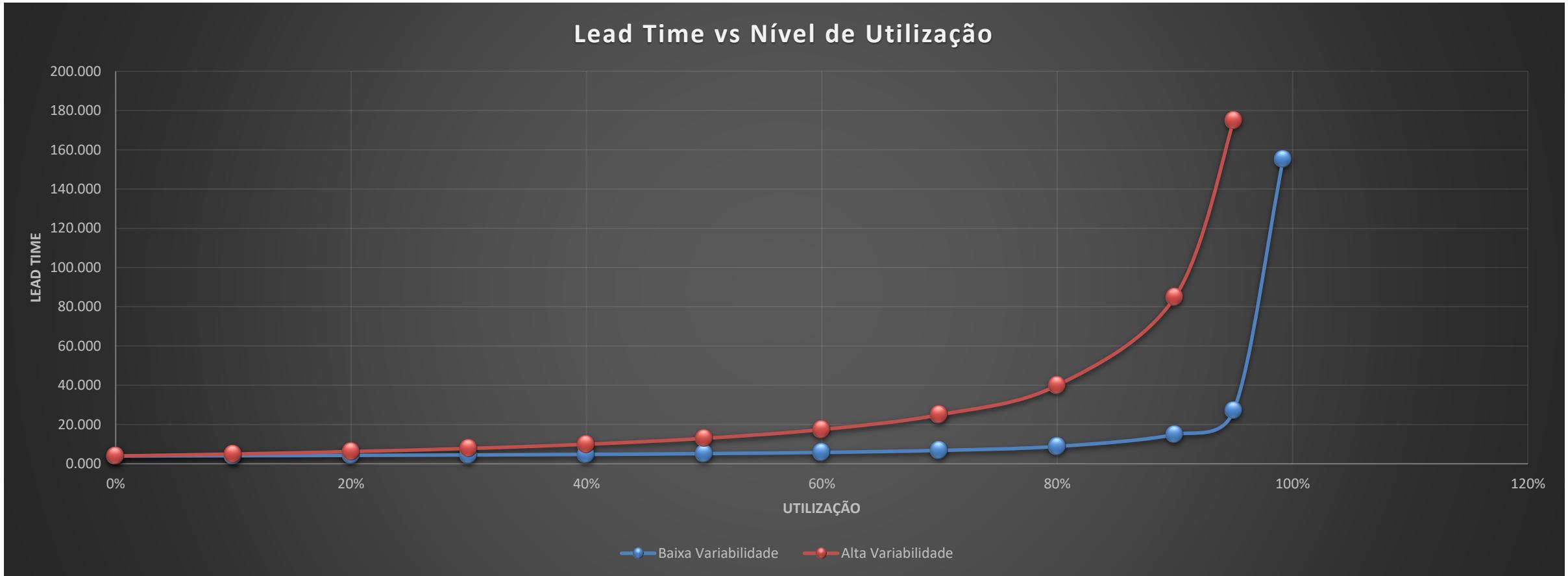
# A Equação de Kingman

$$LT = LT_f + T_0$$

$$LT_f = VUT$$

$$LT_f = \left( \frac{cv_c^2 + cv_p^2}{2} \right) \left( \frac{u}{1-u} \right) T_0$$

# A Equação de Kingman



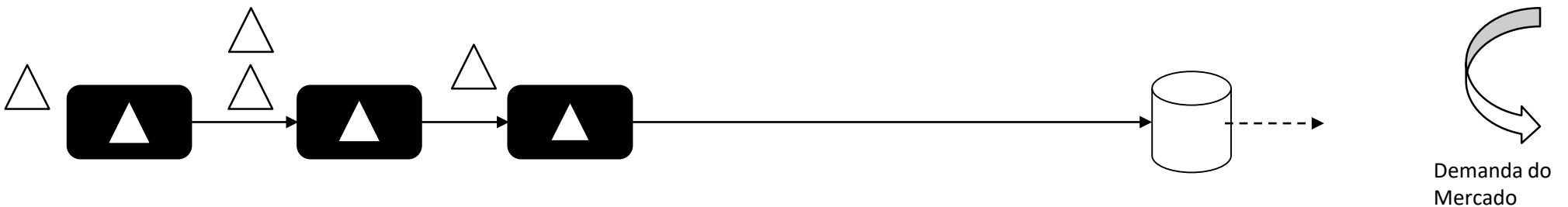
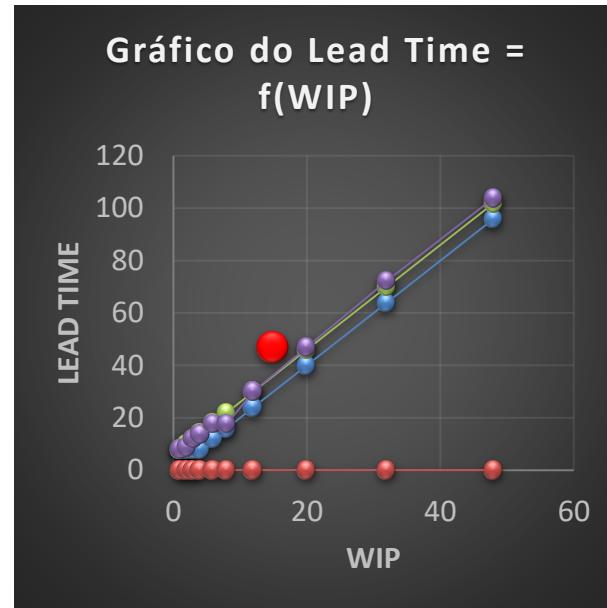
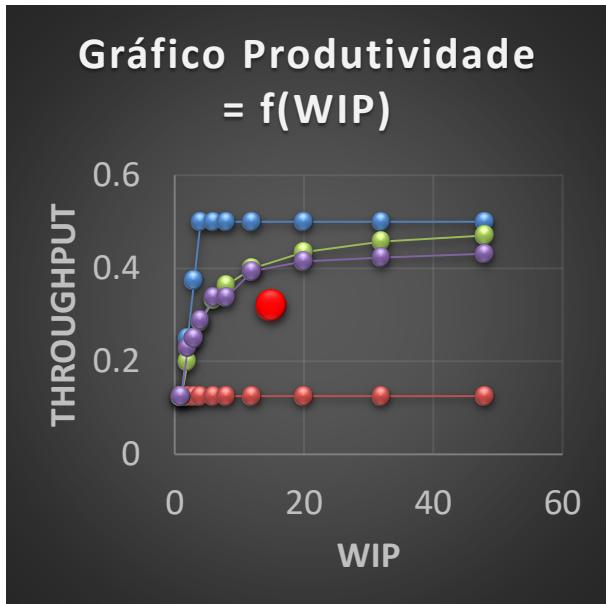
# Implicações da Equação VUT

- Empresas com média variabilidade tem uma decisão de capacidade a tomar:
  - Qual é o nível de utilização aceitável dados os requisitos de lead time para a empresa em questão?

# Discussão Em Grupos...

- Sua empresa utiliza alguma destas técnicas?
- Como estas técnicas podem suportar os processos de decisão atuais?

# Análise utilizando os conceitos da Ciência da Fábrica



# RETOMANDO A AULA ANTERIOR

# Há duas semanas...

- Histórico dos Sistemas Produtivos – Lote Econômico;
- Contribuições do STP;
- A Abordagem da Ciência da Fábrica:
  - Tradeoffs em Sistemas Produtivos;
  - Flow Benchmarking;
  - Linhas CONWIP e dimensionamento do CONWIP;
  - Tradeoffs de Sistemas de Estoque;
  - Equação VUT: Relação entre Utilização e Lead Time.

# **ARRANJO FÍSICO, MATRIZ PRODUTO-PROCESSO E ANÁLISE CROSS-OVER**

# Arranjo Físico (Layout)

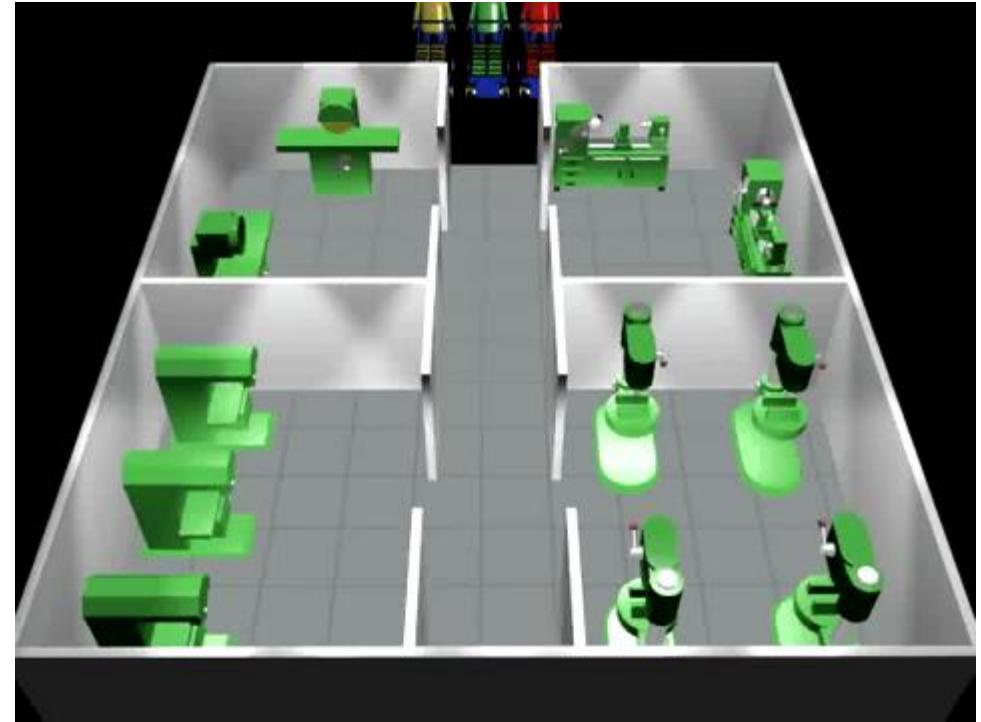
- O layout de uma operação é a maneira pela qual os recursos de uma operação estão dispostos.
- Um bom projeto de arranjo físico deve ter como objetivo:
  - Minimizar os **custos de manuseio e movimentação interna**;
  - Utilizar o espaço disponível de modo eficiente;
  - Suportar a utilização adequada da mão-de-obra, evitando movimentação desnecessária;
  - Facilitar a comunicação entre as pessoas;
  - Propiciar baixos tempos de atravessamento na operação.

# Tipos de Arranjo Físico

- Layout por Processo (Funcional).
- Layout por Produto;
- Layout Posicional;
- Layout Celular.

# Layout por Processo/Funcional

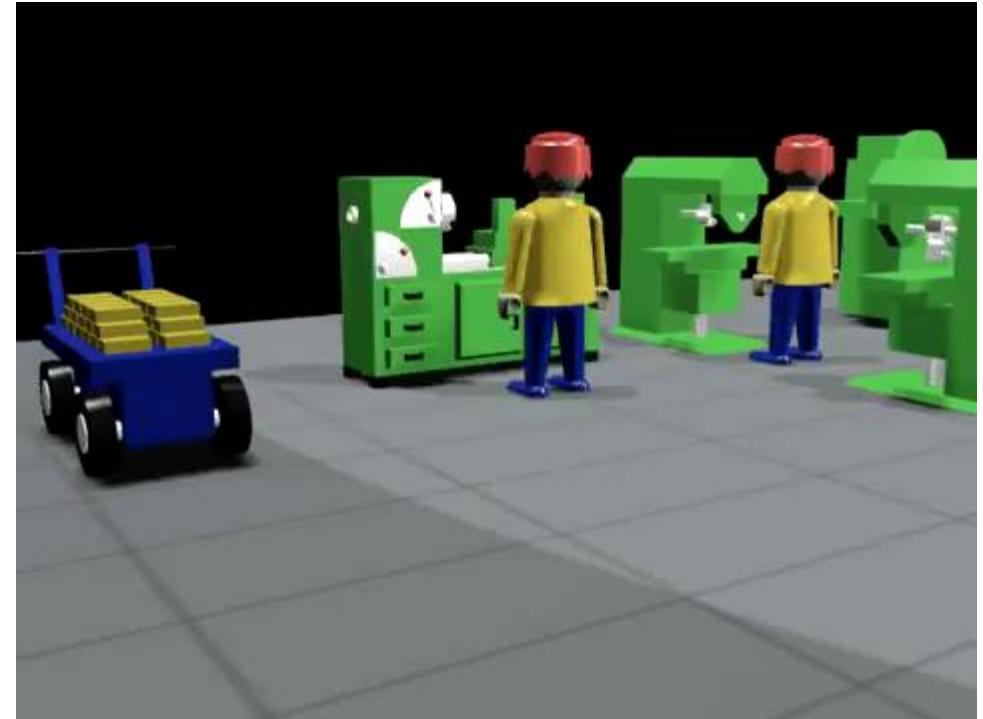
- A lógica deste layout é agrupar recursos com funções ou processos similares.
- É utilizado quando os fluxos que passam pelos setores são variados, e ocorrem intermitentemente (ou seja, há diferentes roteiros de produção);
- Adequado para situações onde é necessária alta flexibilidade do sistema produtivo.



<https://www.youtube.com/watch?v=3YgrNSme7Eo>

# Layout por Produto / Linha

- Utiliza-se a sequência de etapas de produção do produto para a definição do layout.
- Só será aplicada se houver um grande volume de produção, com baixa customização relativa.



<https://www.youtube.com/watch?v=1h9AHDoLu1Q>

Critério de Comparação	Layout por Processo	Layout por Produto
Lógica	Recursos agrupados por função	Recursos arranjados sequencialmente
Tipo de Processo	Por Tarefa	Linha (manual ou automática)
Fluxo processado	Intermitente e variável	Contínuo
Volumes por Produto	Baixos	Altos
Variedade dos Produtos	Alta	Baixa
Decisão de Arranjo Físico	Localização dos Recursos	Balanceamento de Linhas
Estoque em Processo	Alto	Baixo
Sincronização entre etapas	Difícil	Fácil
Identificação de Gargalos	Mais difícil	Mais fácil
Distâncias Percorridas	Longas	Curtas
% de Tempo Agregando Valor	Baixo	Alto
Espaço requerido	Grande	Pequeno
Natureza dos Recursos	Polivalentes	Dedicados
Custos com manuseio de materiais	Mais Altos	Mais Baixos
Critério competitivo priorizado	Flexibilidade	Custo e Velocidade

Corrêa (2010)

# Layout Celular

- O arranjo celular busca superar as limitações do arranjo funcional, porém sem perder toda sua flexibilidade.
- Recursos que atendem a famílias similares de produtos são agrupados, para que possam processar em apenas um lugar diversos produtos.



<https://www.youtube.com/watch?v=kj2LSEXSR9A>

# Layout Celular

- Vantagens do Arranjo Celular:
  - Não se perde flexibilidade, pois ainda é possível processar os mesmos itens;
  - Ganha-se velocidade e eficiência no fluxo produtivo, já que as distâncias percorridas são menores;
  - Tempos de preparação tendem a diminuir;
  - É possível trabalhar com lotes de transferência menores, reduzindo o estoque em processo.

# Layout Posicional

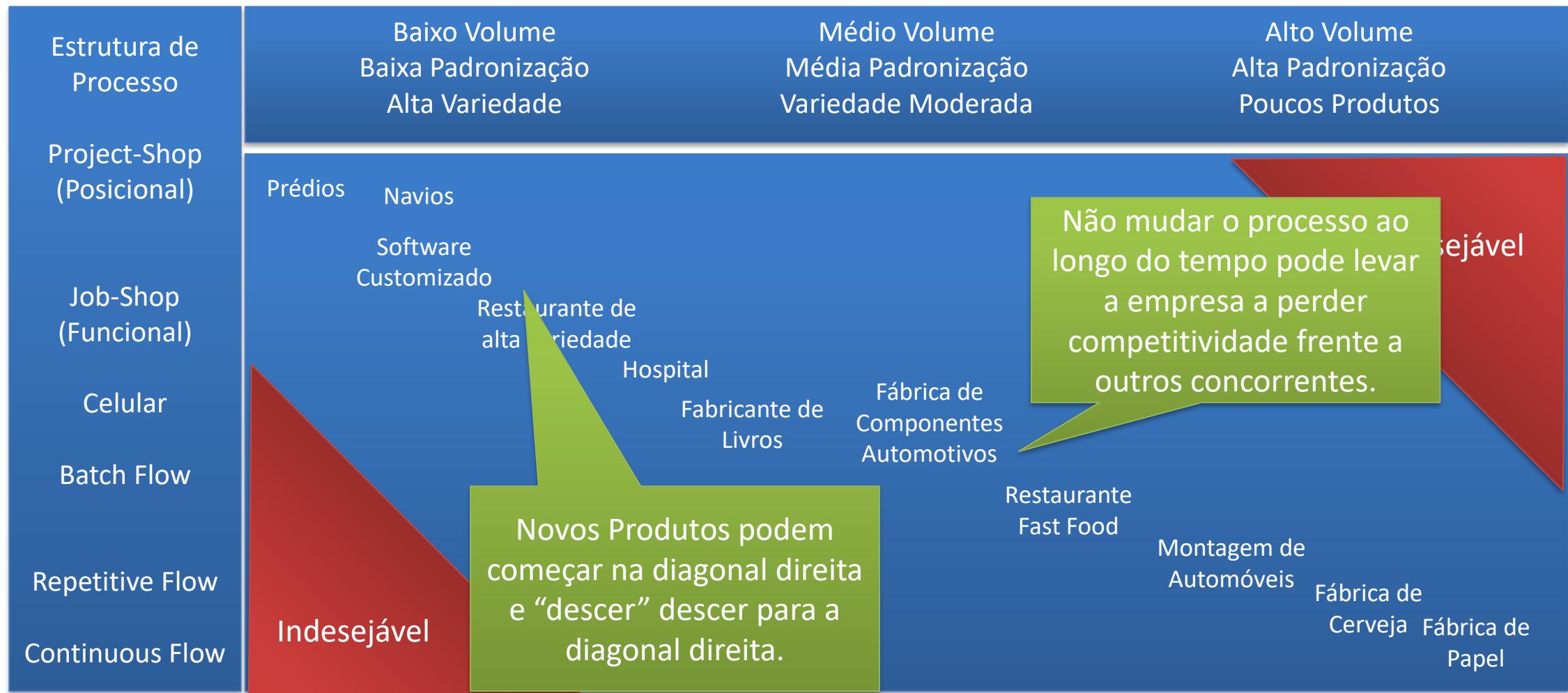
- O material em processamento não se move (visto que isto geralmente é impossível);
- Os recursos se deslocam até o material;
- Adequado para o maior grau de customização;



# A Matriz Produto-Processo



# A Matriz Produto-Processo

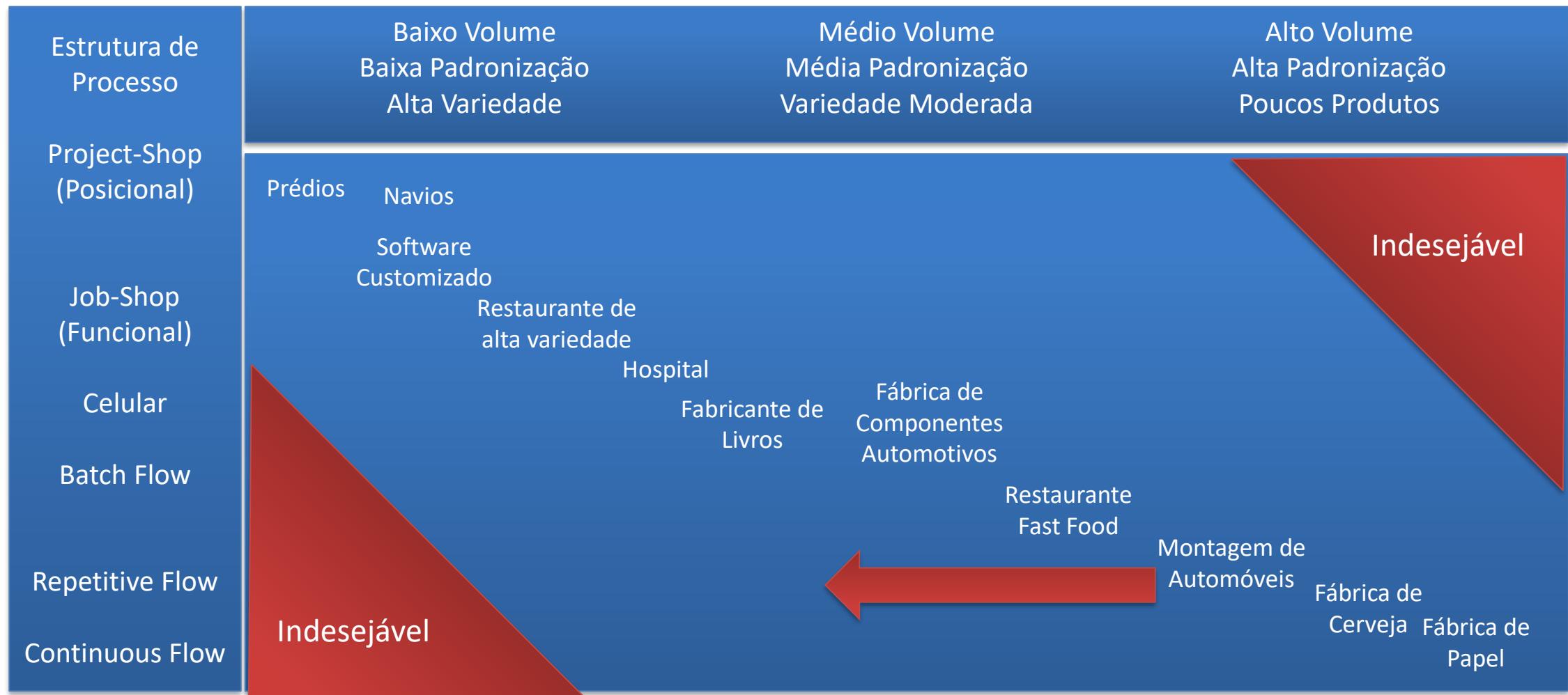


# Exemplos – Matriz Produto Processo e Estratégia de Operações

- A Empresa A possui uma **posição dominante no mercado com um produto com baixa customização**, utilizando um processo altamente padronizado.
- Um novo **concorrente B decide competir adicionando diferenciação ao seu produto**, com uma estrutura produtiva funcional.
- O setor de **marketing da empresa A percebe que perdeu um pouco de participação do mercado**, e decide adicionar novas customizações ao seu produto.
- Qual é o problema desta mudança?



# A Matriz Produto-Processo



# Como decidir o Arranjo Produtivo – “Crossover Analysis”

- A estrutura de custos de um processo produtivo será influenciada pela capacidade produtiva projetada, bem como pela tecnologia utilizada.
- Ex.: É mais econômico produzir uma quantidade pequena de produtos com mão-de-obra intensiva, porém é mais vantajoso produzir uma quantidade enorme de produtos com um processo automatizado.
- Para isto, é necessário construir uma **função de custo** para cada tecnologia produtiva candidata, **em função do volume de produção** projetado. Esta função normalmente possui um componente fixo (custos de implantação - CAPEX), e componentes variáveis (custos de operação – OPEX).

# Exemplo – Análise Crossover

- Uma empresa está decidindo qual deve ser o processo produtivo para uma nova fábrica.
- A opção A é intensiva em mão de obra, requer baixos custos de implementação (1500), porém demanda um alto custo variável (15).
- A opção C é o outro extremo. Uma linha de produção altamente automatizada, e possui um custo de implantação alto (4000), porém proporciona um custo variável baixo (1,5).
- A opção B é um meio termo. Possui um custo de implantação médio (3000), e um custo variável também médio (7,5).
- A empresa não sabe como decidir esta questão, e atualmente acredita que a demanda pode estar entre 100 unidades e 400 unidades.
- Qual processo você escolheria, e porquê?

# Exemplo – Análise Crossover

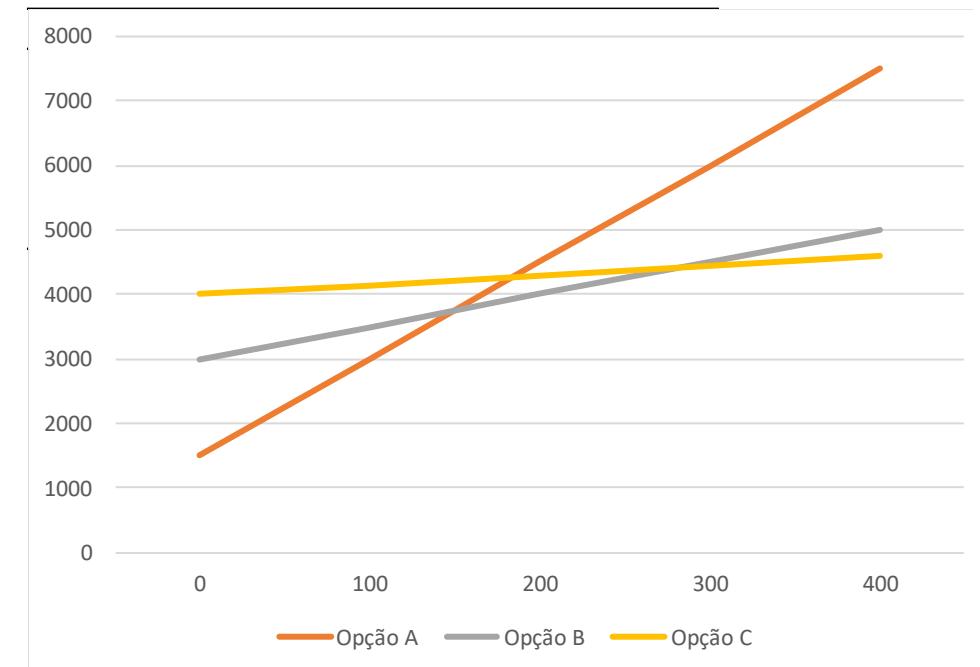
- Estruturando o Problema:
- A empresa deveria escolher o processo que proporcione o menor custo de operação total (implantação e operação) para um dado **volume de produção**.
- Sendo assim, ela pode construir uma função de custos para cada uma das opções:

$$C(p)_a = 1500 + 15 p$$

$$C(p)_b = 3000 + 5 p$$

$$C(p)_c = 4000 + 1,5 p$$

- Represente o problema graficamente.



# Exemplo – Análise Crossover

- A partir de que volume é mais vantajoso escolher o processo B do que o A?

$$C(p)_a = C(p)_b$$

$$1500 + 15p = 3000 + 5p$$

$$p = \frac{1500}{10} = 150$$

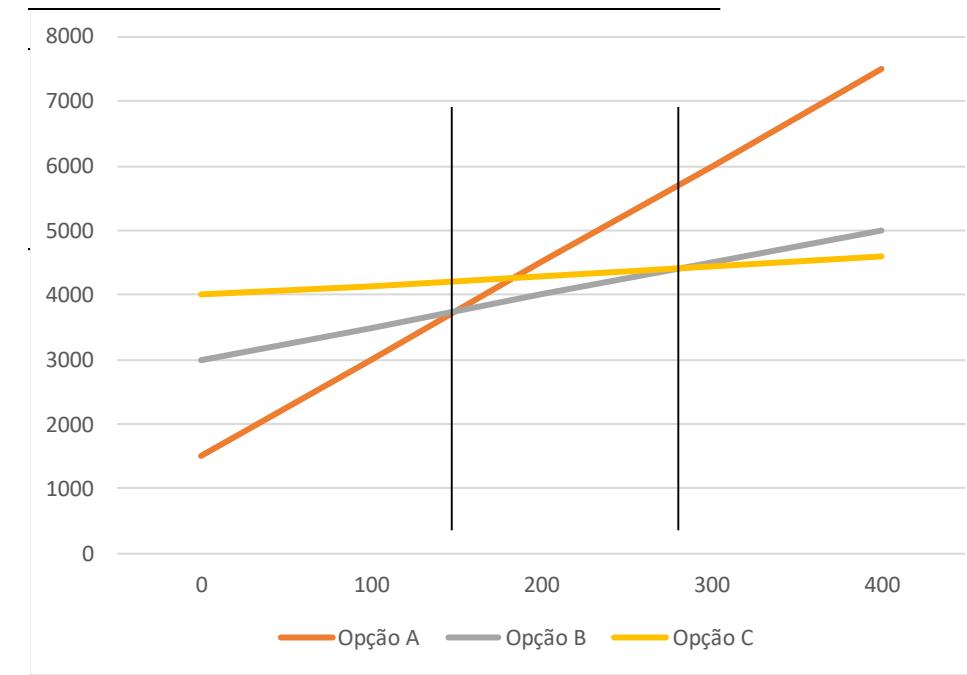
- A partir de que volume é mais vantajoso escolher o processo C do que o B?

$$C(p)_b = C(p)_c$$

$$3000 + 5p = 4000 + 1,5p$$

$$p = \frac{1000}{3,5} = 285,71$$

- Em quais circunstâncias cada opção deve ser escolhida?



# Exemplo de Revisão – Análise Crossover

Uma empresa de manufatura deseja decidir se deve adotar uma linha de montagem altamente automatizada, ou se deve empregar uma linha de montagem manual em um novo setor produtivo.

No horizonte de planejamento considerado (5 anos), a empresa considera que sua demanda total estará entre 50 mil unidades e 150 mil unidades, porém há dúvidas sobre qual valor de demanda de fato será concretizado.

O setor de engenharia de processos considera que existem duas alternativas para a escolha da empresa. A primeira alternativa (A) possui um custo de implantação de 1,5 milhões de reais, e poderia produzir os itens avaliados a um custo de 5 reais por unidades. A segunda alternativa (B) possui um custo de implantação de 0,5 milhões, e um custo de produção de 15 reais por unidade.

Considerando as informações apresentadas, responda os seguintes questionamentos:

- Qual deve ser a decisão da empresa se há uma informação confiável de que a demanda será de 125 mil unidades?
- Qual deve ser a decisão da empresa se há uma informação confiável de que a demanda será de 75 mil unidades?
- A partir de que qual demanda projetada faz sentido escolher a opção A e não a Opção B?
- Represente a sua resposta para o item c graficamente, indicando no eixo x a demanda projetada, no eixo y o custo total da opção e desenhando as duas opções como retas.

Revisão

# Exemplo de Revisão – Análise Crossover

Revisão

Para a Opção A:  $C(q) = 1,5 + 5q$

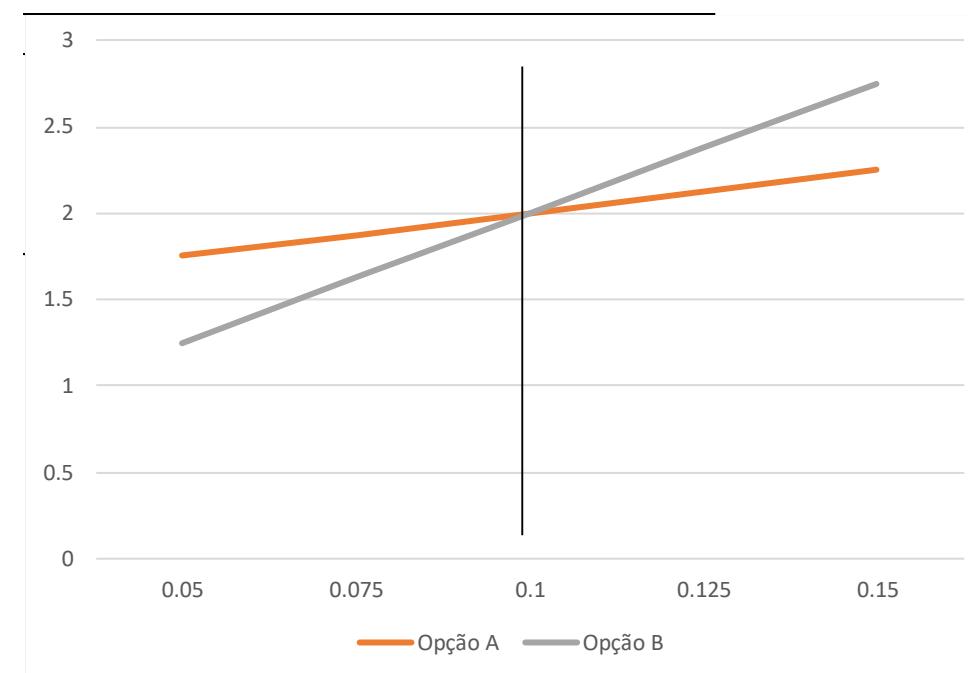
Para a Opção B:  $C(q) = 0,5 + 15q$

- a) Opção A, pois o custo total será 2,125 mi com a opção A e 2,375 mi com a B.
- b) Opção B, pois o custo total seria de 1,625 mi com a opção B e 1,875 mi com a A.
- c) 100 mil, pois é o ponto no qual o custo de escolher a opção A ou B é igual à escolher a opção B:

$$1,5 + 5q = 0,5 * 15q$$

$$q = 0,1 \text{ mi}$$

- a) Gráfico ao lado ->





# PREVISÃO DE DEMANDA

Fundamentos dos Sistemas Produtivos

Com "A Ciência da Fábrica" - Prof. Pedro Nascimento de Lima



JESUÍTAS BRASIL



# Níveis de Previsão e Planejamento

Nível	Horizonte	Propósitos
Estratégico	Anos – Longo Prazo	Planejamento Estratégico Planejamento de Capacidade / Tecnologia de Processo a Adotar Estratégia de Investimento
Tático	Trimestre, Meses, Semanas – Médio Prazo	Orçamentação Planejamento de Vendas Planejamento de Contratação da MDO  Planejamento do Inventário Plano Mestre de Produção
Operacional	Dias / Horas	Planejamento de Transporte e Distribuição Planejamento da Produção no Curto Prazo Planejamento de inventário

# Aplicações da Previsão para Decisões Operacionais

- **Projeto do Processo Produtivo e Layout:** Como decidir se o processo deve possuir um maior nível de automação e rigidez ou se deve ser mais flexível?
- Para esta aplicação, é necessário desenvolver previsões para o longo prazo, com média acurácia, de modo agregado.
- A decisão envolve o alto nível gerencial, e pode utilizar métodos Qualitativos ou Causais.

# Aplicações da Previsão para Decisões Operacionais

- **Planejamento da Capacidade:** Como decidir qual deve ser a capacidade de uma unidade fabril?
- Para esta aplicação, é necessário desenvolver previsões para o longo prazo, com média acurácia, de modo agregado.
- A decisão envolve o alto nível gerencial, e pode utilizar métodos Qualitativos ou Causais.

# Aplicações da Previsão para Decisões Operacionais

- **Planejamento Agregado da Produção:** Como decidir quanta matéria prima comprar, quantos funcionários contratar, qual deve ser a capacidade dos fornecedores, qual deve ser o volume de demanda negociado com outros fornecedores estratégicos?
- Para esta aplicação, é necessário desenvolver previsões para o médio prazo, com acurácia, de modo agregado.
- A decisão envolve o médio nível gerencial, e pode utilizar métodos Causais e Séries Temporais.

# Aplicações da Previsão para Decisões Operacionais

- **Programação Fina da Produção e Gestão de Estoques:** Como decidir quanta matéria prima comprar no próximo mês, se devem ser programados turnos extras ou não?
- Para esta aplicação, é necessário desenvolver previsões para o curto prazo, com alta acurácia, de modo mais detalhado.
- A decisão envolve o médio e baixo nível gerencial, e pode utilizar métodos de Séries Temporais.

# Aplicações da Previsão e Métodos

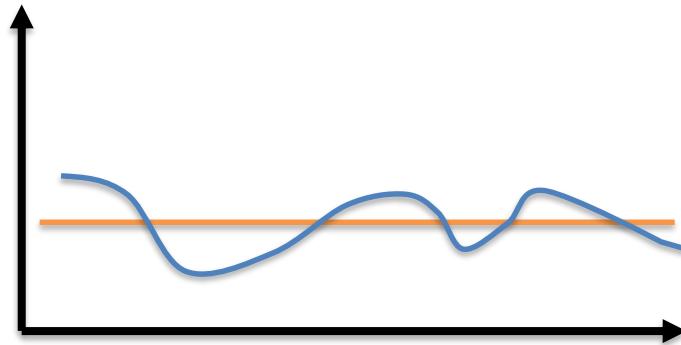
Aplicação	Horizonte de Tempo	Acurácia Exigida	Número de Produtos	Nível Gerencial	Métodos de Previsão
Projeto do Processo Produtivo	Longo Prazo	Média	Um ou Poucos	Alto	Qualitativos e Causais
Planejamento da Capacidade	Longo Prazo	Média	Um ou Poucos	Alto	Qualitativos e Causais
Planejamento Agregado	Médio Prazo	Alta	Poucos	Médio	Causais e Séries Temporais
Sequenciamento / Programação da Produção	Curto Prazo	Altíssima	Diversos	Baixo	Séries Temporais
Gestão de Estoques	Curto Prazo	Altíssima	Diversos	Baixo	Séries Temporais

SCHROEDER (1985, p. 101)

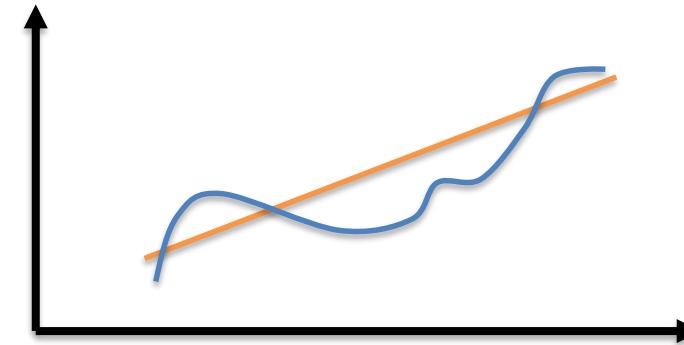
# Abordagens para Previsão

Subjetivas	Objetivas
<p>Baseadas em Julgamento</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Surveys com Vendedores;</li><li>• Painel de Especialistas;</li><li>• Método Delphi.</li></ul>	<p>Causais</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modelos Econométricos – Modelos de Regressão.</li><li>• Indicadores-Chave;</li><li>• Modelos de Input-Output.</li></ul>
<p>Experimentais</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Surveys com Clientes;</li><li>• Grupos Focais;</li><li>• Testes com Clientes.</li></ul>	<p>Séries Temporais</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Método Holt-Winters</li><li>• Método ARIMA.</li></ul>

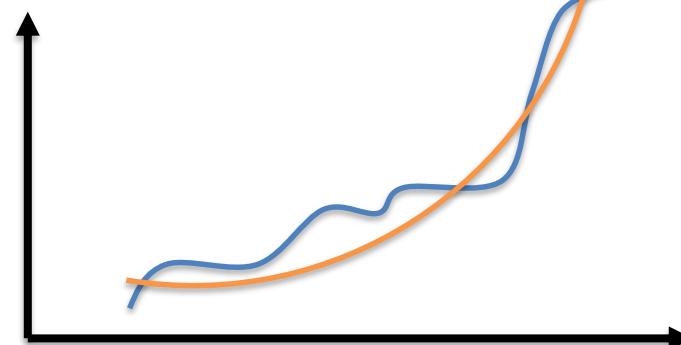
# Padrões de Demanda Comuns



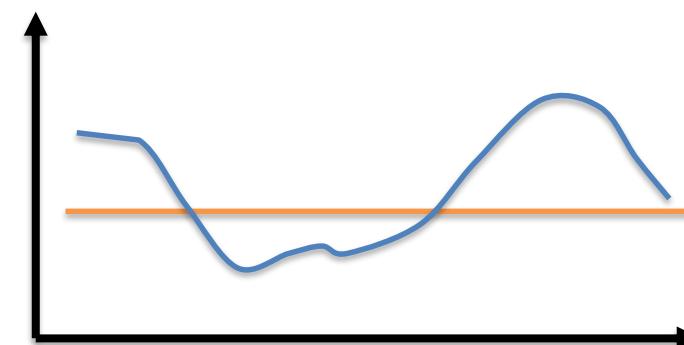
Média



Tendência Linear



Tendência não linear



Sazonal

Martins e Laugeni

# Previsões sempre Erram

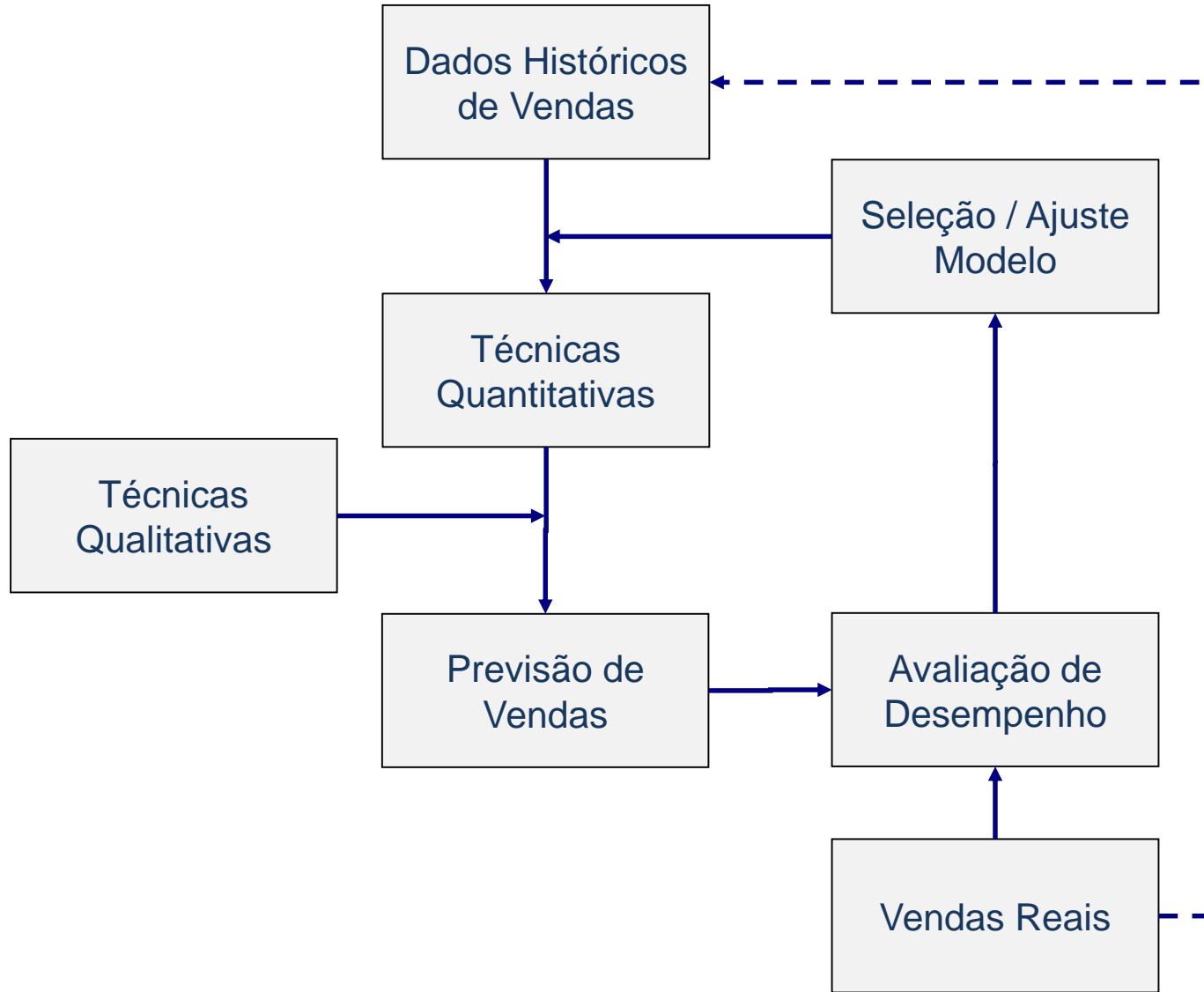
- A probabilidade de acertar uma previsão tende a zero.
- Toda a estimativa possui uma faixa de erro esperada.
- Quanto maior for a desagregação da previsão, maior a sua utilidade, porém também maior será o seu erro.
  - Ex.: Prever o número de calças jeans do tamanho 39, do tipo X vendido na loja y, é mais difícil do que prever o número de calças jeans vendidas em todas as lojas.
- Alternativas:
  - Procure não se fixar apenas na estimativa da demanda, mas considere o range estimado;
  - Controle o Erro das previsões como um proxy para estimar projetar o estoque de segurança.

# Previsões Agregadas são mais precisas

- Podemos agregar uma previsão por:
  - Tipo de Produto, famílias de produto, etc;
  - Tempo (Anual, Mensal, Diário);
  - Localização: Demanda em um Município, Estado, País.
- Utilize o Coeficiente de Variação como forma de avaliar a variabilidade da demanda:
  - $CV = \sigma \div \mu$
  - Quanto maior for o CV, maior a variabilidade, logo maior será a dificuldade de realizar previsões precisas.

# Processo Ideal

Combina técnicas quantitativas e qualitativas, de forma a aproveitar o melhor de cada uma delas



# Métodos Quantitativos para Previsão

- A estatística trata a demanda de um produto (por exemplo, pão), como uma **variável aleatória**  $Y_t$ , representando a demanda de um produto  $Y$  no mês  $t$ .
- A demanda real do produto no futuro é desconhecida, e é influenciada na realidade por uma série de fatores:
  - Há quanto tempo o produto está no mercado;
  - A demanda em meses prévios;
  - O preço deste pão e outros pães concorrentes;
  - Quanto a empresa gastou em propaganda;
  - Número de competidores, etc.

# Métodos Quantitativos para Previsão

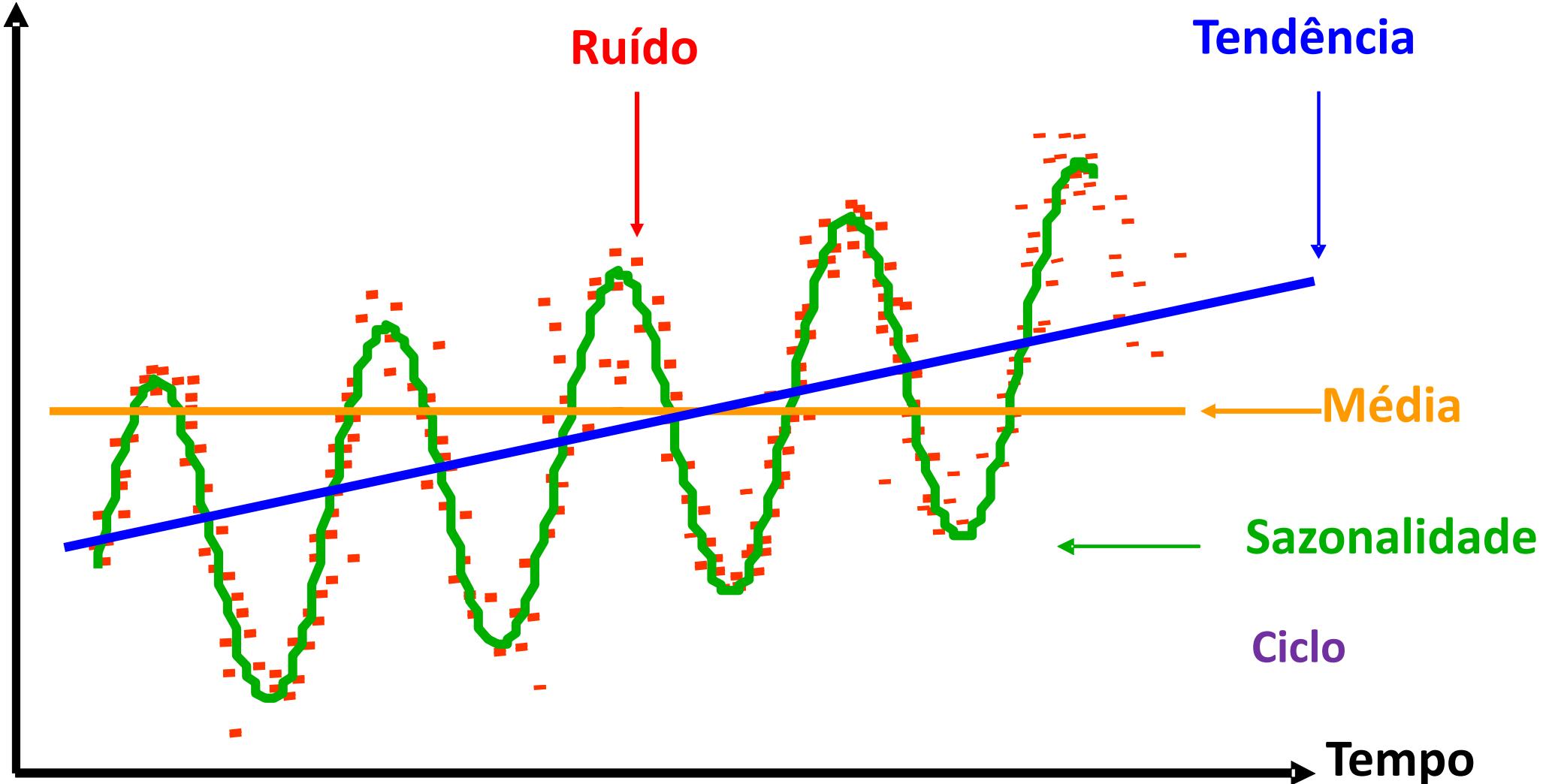
- A previsão de demanda pode tomar diferentes formas, mas geralmente segue estes passos:
  - Observamos valores reais de demanda  $Y_t$  em diversos períodos de tempo, formando uma série temporal;
  - A partir destes dados, selecionamos uma função  $f()$ , a qual pode representar a demanda;
  - A partir de então, assumimos que esta função representa o processo razoavelmente bem, de modo que:

$$Y_t = f() + e_t$$

# Passos Utilizados para Aplicar Métodos Quantitativos de Previsão

1. Faça um gráfico dos dados;
2. Selecione uma função para a previsão;
3. Estime os parâmetros da função;
4. Avalie a Qualidade do modelo de previsão;
5. Selecione e implemente o melhor modelo encontrado.

# Quantidade



# Avaliando a Qualidade das Previsões

- Erro (Previsto – Realizado):

$$e_t = P_t - R_t$$

- Mean Absolute Deviation - MAD (Erro Médio Absoluto):

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n}$$

- Root Mean Square of Error – RMSE (Raiz da Média dos Erros Quadrados):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}}$$

- Mean Absolute Percent Error – MAPE (Erro Médio Percentual Absoluto):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{R_t}}{n}$$

# Exemplo – Calcule as Medidas de Erro da Previsão

- MAD (Erro Médio Absoluto):

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n}$$

- RMSE (Raiz da Média dos Erros Quadrados):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}}$$

- MAPE (Erro Médio Percentual Absoluto):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{D_t}}{n}$$

Dia	Demanda Real	Demanda Prevista	Erro
1	40	43	3
2	40	30	-10
3	50	60	10
4	32	40	8
5	70	80	10

# Exemplo – Calcular Medidas de Erro da Previsão

- MAD (Erro Médio Absoluto):

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n}$$

- RMSE (Raiz da Média dos Erros Quadrados):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}}$$

- MAPE (Erro Médio Percentual Absoluto):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{D_t}}{n}$$

Dia	Demand Real	Demand Prevista	e	e	e <sup>2</sup>	e   / D
1	40	43	3	3	9	7.5%
2	40	30	-10	10	100	25.0%
3	50	60	10	10	100	20.0%
4	32	40	8	8	64	25.0%
5	70	80	10	10	100	14.3%
			Soma	21	41	373
						92%

MAD	8.20
RMSE	8.64
MAPE	18.36%

# Exemplo de Revisão – Calcular Medidas de Erro da Previsão

- Dois Modelos de Previsão empregados pela empresa XPTO foram utilizados para a prever a demanda de um determinado produto durante os 5 meses indicados.
  - a) Calcular os indicadores de Erro MAD, RMSE e MAP.
  - b) Qual dos modelos deve ser utilizado pela empresa, utilizando como critério o MAPE?

Previsões				
Mês	Demand Real	Modelo A	Modelo B	
1	397	297	393	
2	272	327	275	
3	362	429	421	
4	373	393	251	
5	335	301	275	

Revisão

# Exemplo de Revisão – Calcular Medidas de Erro da Previsão

- Dois Modelos de Previsão empregados pela empresa XPTO foram utilizados para a prever a demanda de um determinado produto durante os 5 meses indicados.
- Calcular os indicadores de Erro MAD, RMSE e MAP.
  - Qual dos modelos deve ser utilizado pela empresa, utilizando como critério o MAPE?

Mês	Demanda Real	Previsões		e	e	Modelo A			e	e	Modelo B		
		Modelo A	Modelo B			$e^2$	e   / D	$e^2$			$e^2$	e   / D	
1	397	297	393	-100	100	10000	25.2%	-4	4	16	1.0%		
2	272	327	275	55	55	3025	20.2%	3	3	9	1.1%		
3	362	429	421	67	67	4489	18.5%	59	59	3481	16.3%		
4	373	393	251	20	20	400	5.4%	-122	122	14884	32.7%		
5	335	301	275	-34	34	1156	10.1%	-60	60	3600	17.9%		
		Soma		8	276	19070	79%	-124	248	21990	69%		

Índices - Modelo A

MAD	55.20
RMSE	61.76
MAPE	15.89%

Índices - Modelo B

MAD	49.60
RMSE	66.32
MAPE	13.81%

Revisão

# Séries Temporais

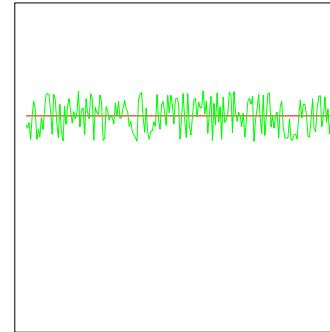
Mais de 60 métodos existentes para planejamento da demanda

- Média Simples - MS
  - Média Móvel Simples - MMS
  - Média Móvel Dupla - MMD
  - Amortecimento Exponencial Simples - AES
  - Amortecimento Exponencial Duplo - AED
    - Método de Brown
    - Método de Holt
  - Decomposição Clássica
  - Amortecimento Exponencial Triplo
    - Método de Holt-Winters
  - ARIMA – Box Jenkins (\*)
  - Redes Neurais (\*)
- (\*) Não serão vistos em detalhe

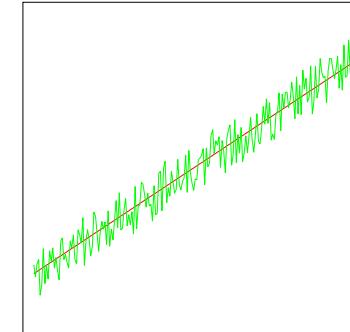
# Seleção do Método

**Sem sazonalidade**

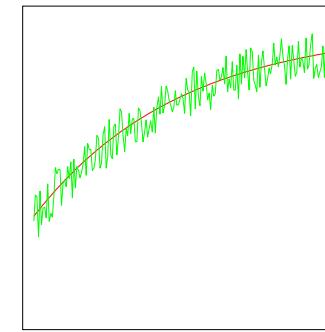
**Sem tendência**



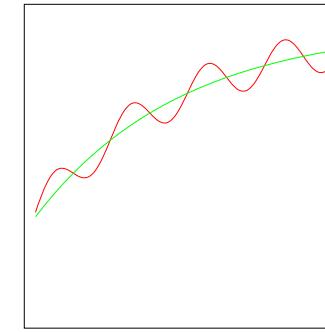
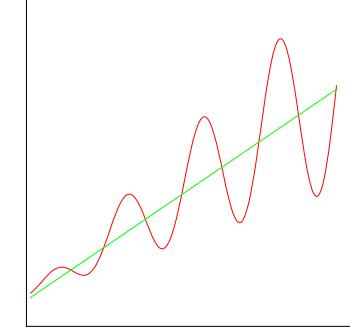
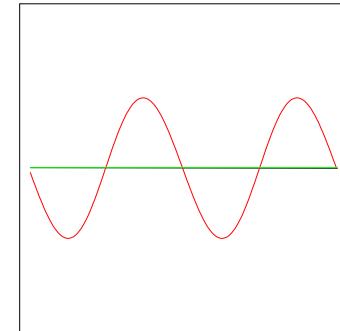
**Tendência Linear**



**Tendência com Decaimento**



**Com sazonalidade**



# Média Simples

- É a técnica mais simples 
- Consiste na média aritmética simples de todas as vendas passadas
- Desvantagem: não responde facilmente a alterações 
- Não é indicada quando há sazonalidade ou tendência 

$$P_{t+1} = \frac{\sum_{t=1}^n R_t}{n}$$

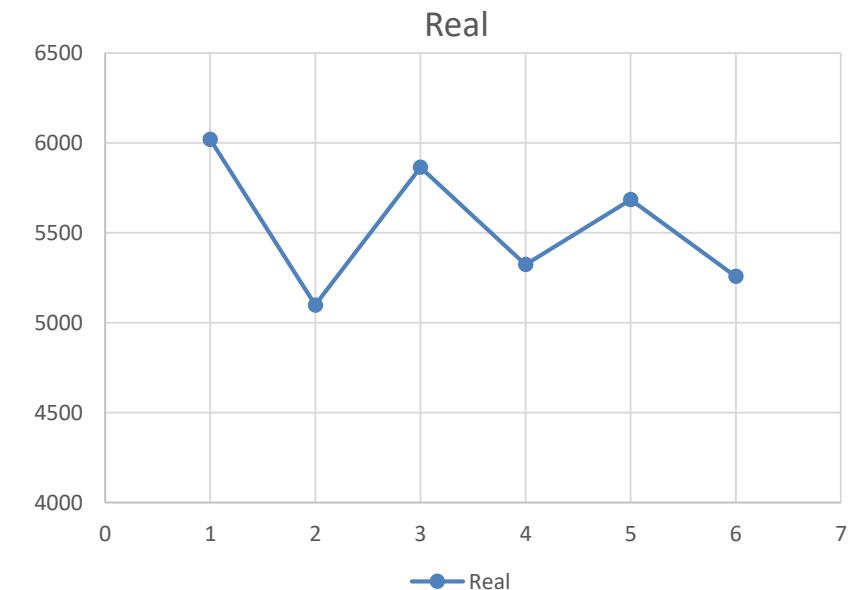
Onde:

- $P_{t+1}$  – previsão para o próximo período
- $R_t$  – valor real observado no período t
- n – número de períodos históricos de vendas passadas

# Média Simples

- Calcule uma previsão para os períodos 2 ao 6, considerando a média simples (considere todos os períodos anteriores disponíveis, a cada nova previsão).
- Calcule os índices de aderência da previsão e os interprete

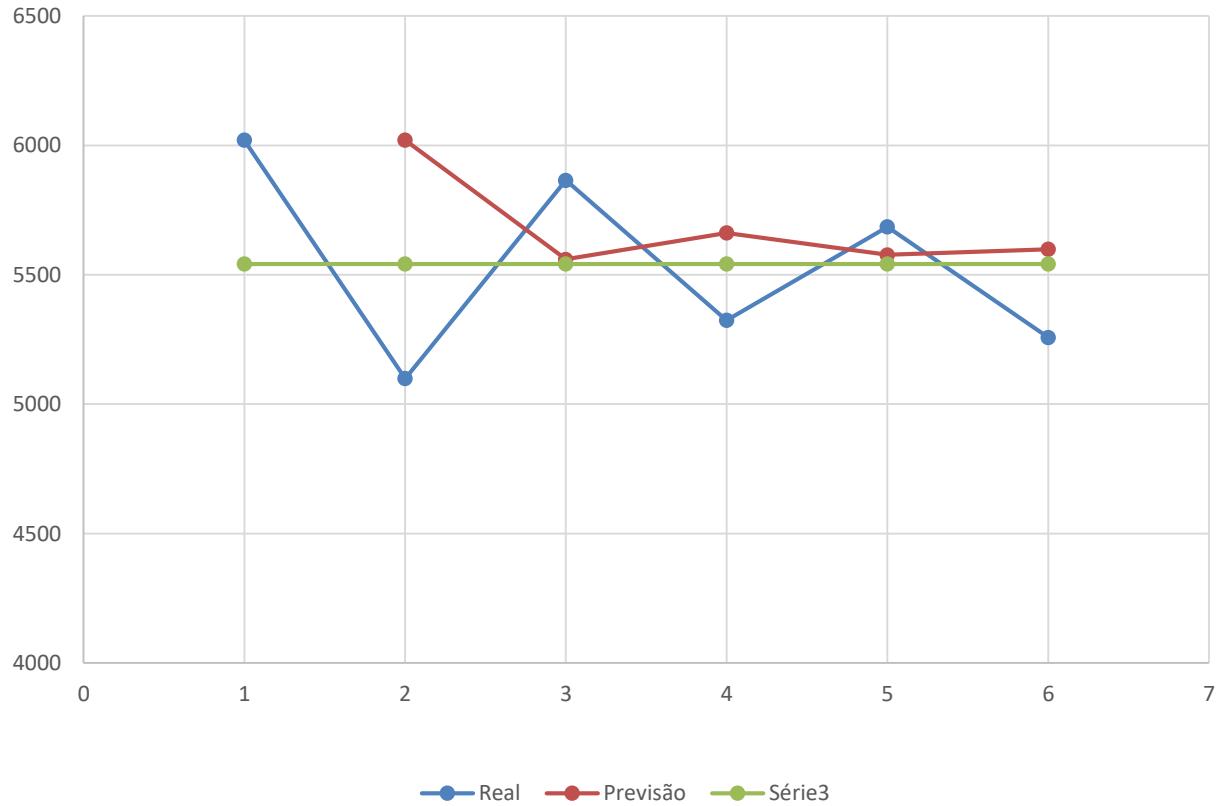
Período	Real
1	6020
2	5099
3	5865
4	5324
5	5685
6	5258



# Média Simples

Período	Real	Previsão	e	e	e   / D	$e^2$
1	6020					
2	5099	6,020	921	921	18.1%	848,241
3	5865	5,560	-306	306	5.2%	93,330
4	5324	5,661	337	337	6.3%	113,794
5	5685	5,577	-108	108	1.9%	11,664
6	5258	5,599	341	341	6.5%	116,008

MAD	MAPE	RMSE
402	7.6%	486



# Média Móvel Simples

- ▶ Ainda é uma técnica simples 
- ▶ Utiliza a média aritmética dos últimos “n” valores para prever o seguinte.
- ▶ A cada nova observação, o valor mais antigo é desconsiderado e o mais recente é inserido.
- ▶ Não é indicada quando há sazonalidade ou tendência. 
- ▶ Resposta à variação depende do número de períodos considerados 

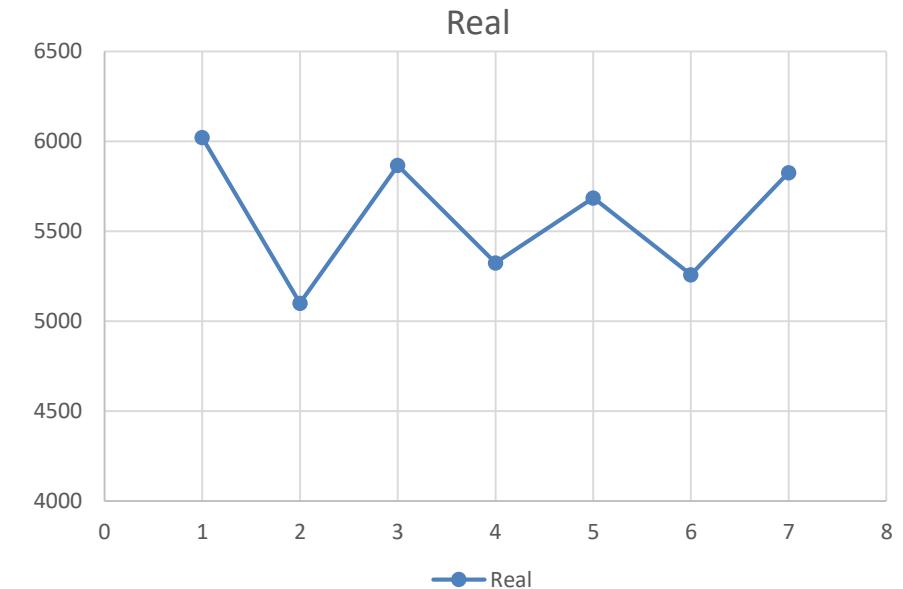
$$P_{t+1} = \frac{(R_t + R_{t-1} + R_{t-2} + \dots + R_{t-n+1})}{n}$$

- Onde:
  - $P_{t+1}$  – previsão para o próximo período
  - $R_t$  – valores reais observados nos n períodos t considerados
  - n – número de períodos históricos de vendas passadas considerados

# Média Móvel Simples

- Calcule uma previsão para os períodos, utilizando o modelo de média móvel simples, considerando sempre os três últimos períodos.
- Calcule os índices de aderência da previsão e os interprete.

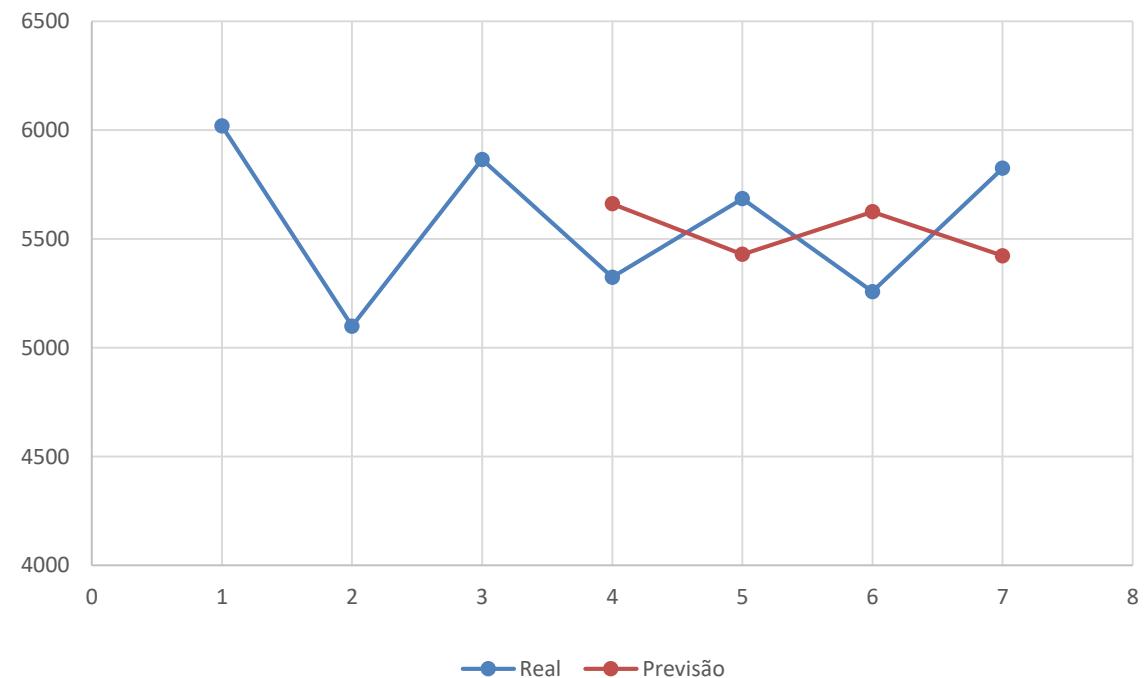
Período	Real
1	6020
2	5099
3	5865
4	5324
5	5685
6	5258
7	5825



# Média Móvel Simples

Período	Real	Previsão	e	e	e   / D	$e^2$
1	6020					
2	5099					
3	5865					
4	5324	5,661	337	337	6.3%	113,794
5	5685	5,429	-256	256	4.5%	65,365
6	5258	5,625	367	367	7.0%	134,444
7	5825	5,422	-403	403	6.9%	162,140

MAD	MAPE	RMSE
341	6.2%	345



# Média Móvel Ponderada

- Utiliza a média aritmética dos últimos “n” valores para prever o seguinte.
- Cada um dos “n” valores assume peso diferente na composição da média
- A cada nova observação, o valor mais antigo é desconsiderado e o mais recente é inserido
- Não é indicada quando há sazonalidade ou tendência.
- Resposta à variação depende do número de períodos considerados e dos “pesos” utilizados na ponderação



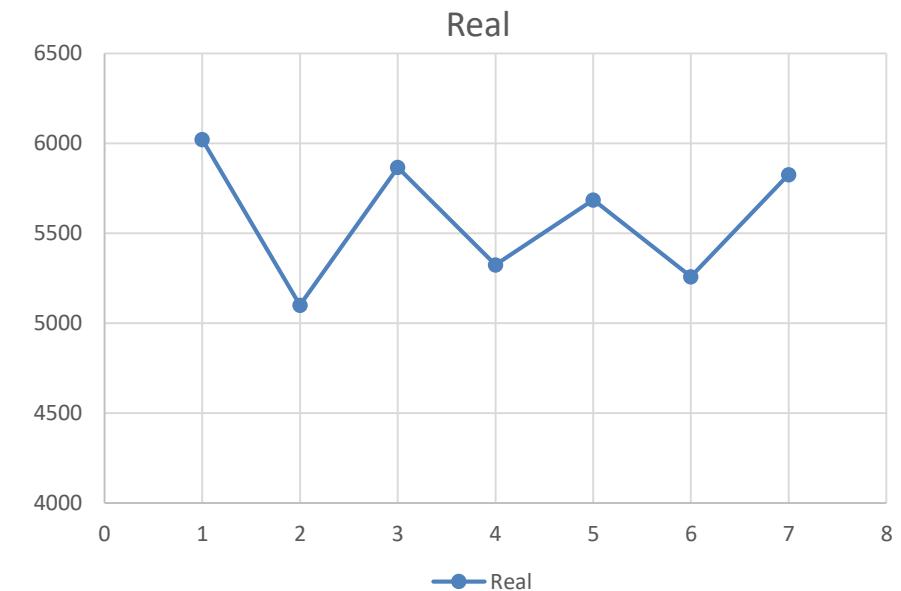
$$P_{t+1} = \frac{(aR_t + bR_{t-1} + cR_{t-2} + \dots + zR_{t-n+1})}{(a+b+c+\dots+z)}$$

- Onde:
  - $P_{t+1}$  – previsão para o próximo período
  - $R_t$  – valores reais observados nos n períodos t considerados
  - a ... z – pesos atribuídos aos n períodos considerados

# Média Móvel Ponderada

- Calcule uma previsão para os períodos, utilizando o modelo de média móvel ponderada, considerando sempre os dois últimos períodos.
- Utilize um alfa = 0.9 para o último período e um beta = 0.1 para o penúltimo período.
- Calcule os índices de aderência da previsão e os interprete.
- **Desafio mude o alfa e o beta e obtenha a previsão com MAPE de 2 %.**

Período	Real
1	6020
2	5099
3	5865
4	5324
5	5685
6	5258
7	5825

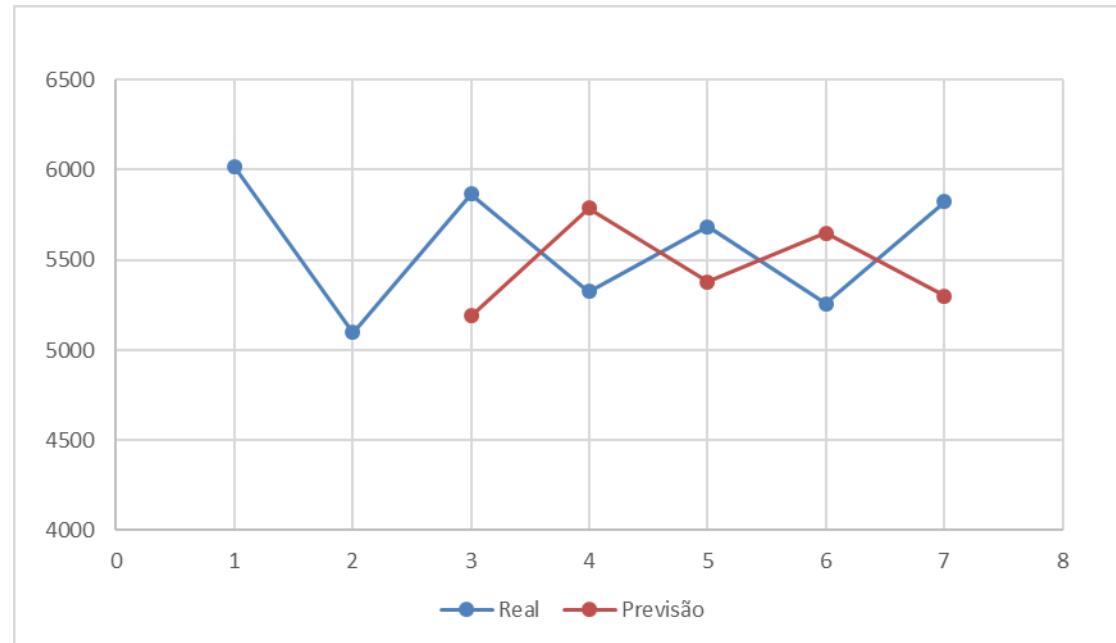


# Média Móvel Ponderada

- Solução com alfa e beta dados:

Período	Real	Previsão	e	e	e  / D	e <sup>2</sup>
1	6020					
2	5099					
3	5865	5,191				
4	5324	5,788	464	464	8.7%	215,667
5	5685	5,378	-307	307	5.4%	94,188
6	5258	5,649	391	391	7.4%	152,803
7	5825	5,301	-524	524	9.0%	274,890

MAD	MAPE	RMSE
422	7.6%	429

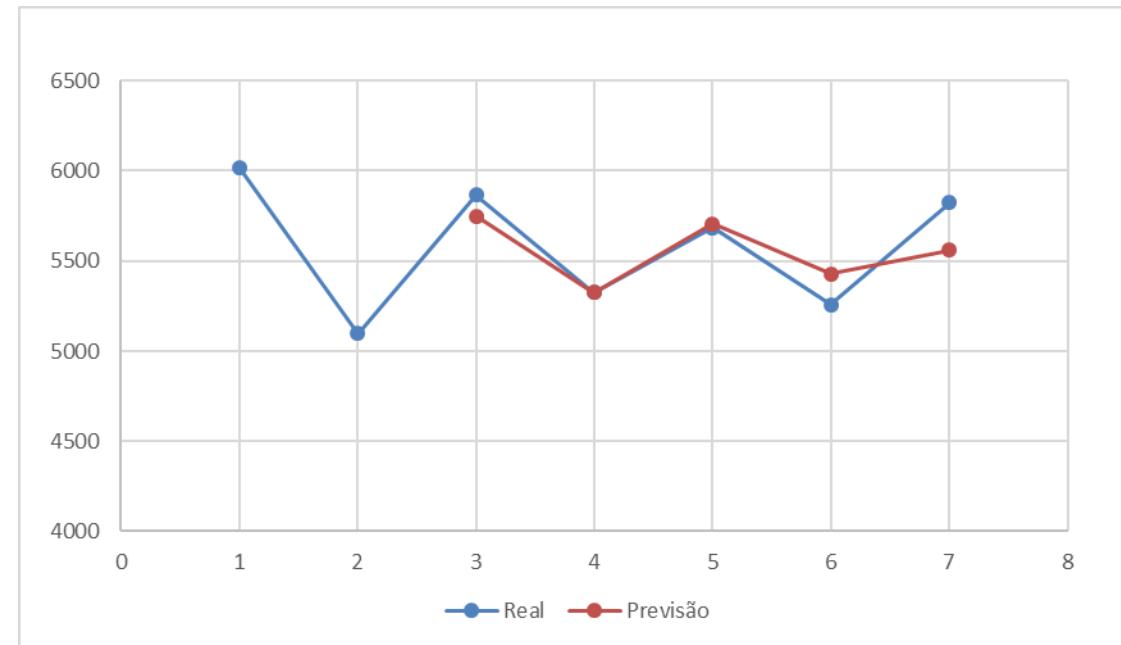


# Média Móvel Ponderada

- Solução com alfa e beta otimizados:

Período	Real	Previsão	e	e	e  / D	e <sup>2</sup>
1	6020					
2	5099					
3	5865	5,749				
4	5324	5,324	0	0	0.0%	0
5	5685	5,706	21	21	0.4%	445
6	5258	5,430	172	172	3.3%	29,597
7	5825	5,560	-265	265	4.6%	70,450

MAD	MAPE	RMSE
115	2.0%	159



# Comparando Modelos vistos até aqui

- Média Simples:

MAD	MAPE	RMSE
402	7.6%	486

- Média Móvel Simples:

MAD	MAPE	RMSE
341	6.2%	345

- Média Móvel Ponderada (sem otimizar alfa e beta):

MAD	MAPE	RMSE
422	7.6%	429

- Média Móvel Ponderada otimizando alfa e beta:

MAD	MAPE	RMSE
115	2.0%	159

# Exemplo de Revisão

- Uma empresa deseja formular modelos de previsão de demanda utilizando as técnicas de Média Simples, Média Móvel ( $n = 3$ ) e Média Móvel Ponderada ( $n = 2$ , alfa = 0,6 e beta = 0,4). Apresente a previsão da demanda para os períodos 4, 5, 6 e 7 utilizando cada uma das três técnicas.

Período	Demand Real
1	163
2	226
3	182
4	170
5	192
6	166
7	178

Revisão

# Exemplo de Revisão

- Resultados

Período	Demanda Real	Média Simples	Média Móvel	Média Móvel Ponderada
1	163			
2	226			
3	182			
4	170	190	190	200
5	192	185	193	175
6	166	187	181	183
7	178	183	176	176

Revisão



# PREVISÃO DE DEMANDA – TÉCNICAS DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL (NO R)

# Siga o Tutorial da Aula de Laboratório:

<https://www.pedronl.com/post/previsao-de-series-temporais-com-o-r/>

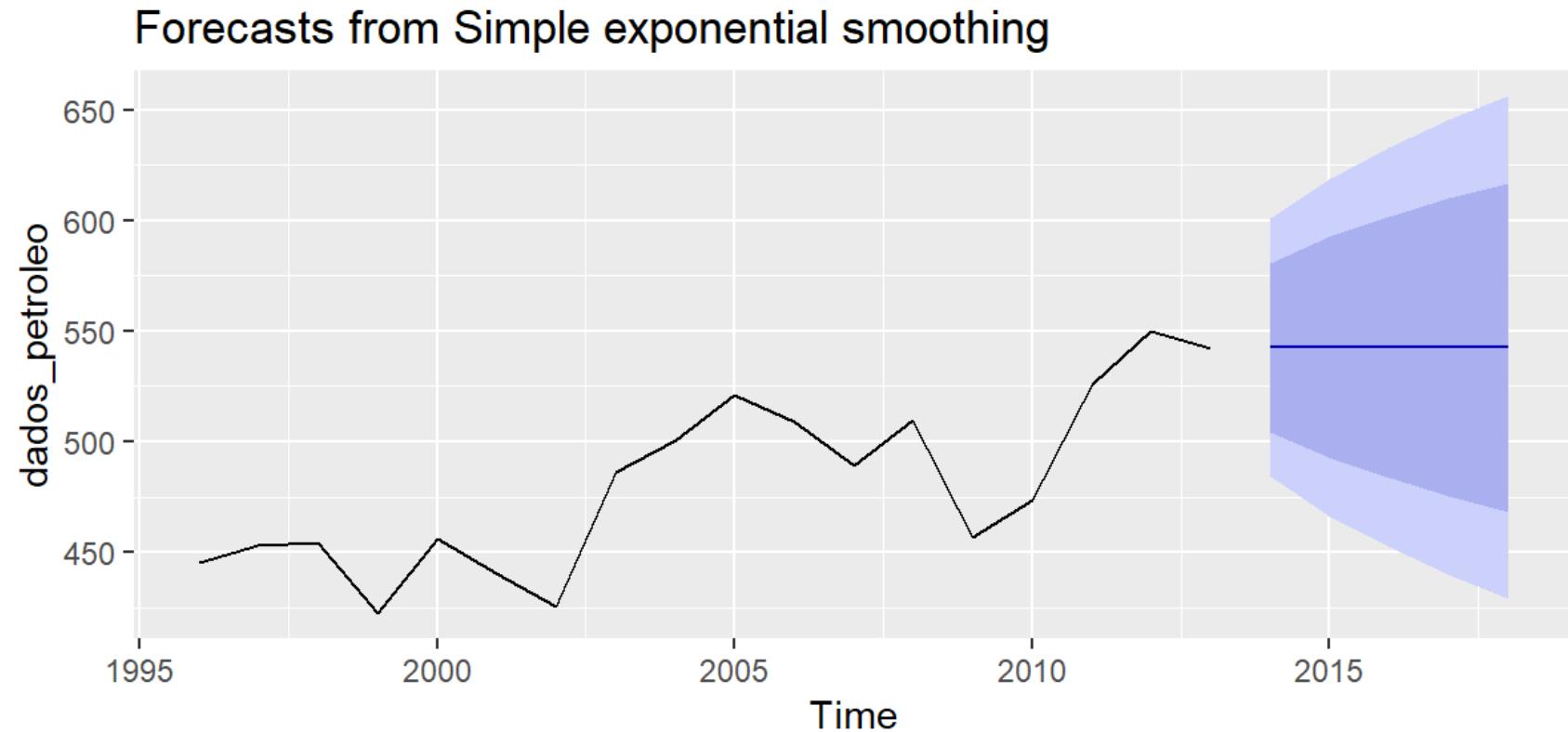
# Técnicas de Amortecimento Exponencial

- Técnicas de Amortecimento (ou suavização) Exponencial são utilizadas para permitir a existência de varrições no nível, tendência e sazonalidade da variável observada;
- Todas as técnicas funcionam do mesmo modo:
  - São estimados parâmetros para a equação de previsão utilizando um período de dados históricos;

# Amortecimento Exponencial Simples

- Método não exige série longa de dados.
- Aplica-se a séries que só possuem nível e ruído, ou seja, sem tendência ou sazonalidade
- Informações mais recentes tem peso maior do que as antigas
- Dificuldade em definir o valor do fator de suavização. Quanto maior o valor
  - maior influência dos eventos mais recentes
  - Maior sensibilidade às variações aleatórias
  - Menor sensibilidade às mudanças estruturais
- A seleção é normalmente feita utilizando dados históricos e selecionando aquele que minimiza o erro médio da previsão
- Valores usualmente recomendados: 0,05 – 0,25

# Amortecimento Exponencial Simples

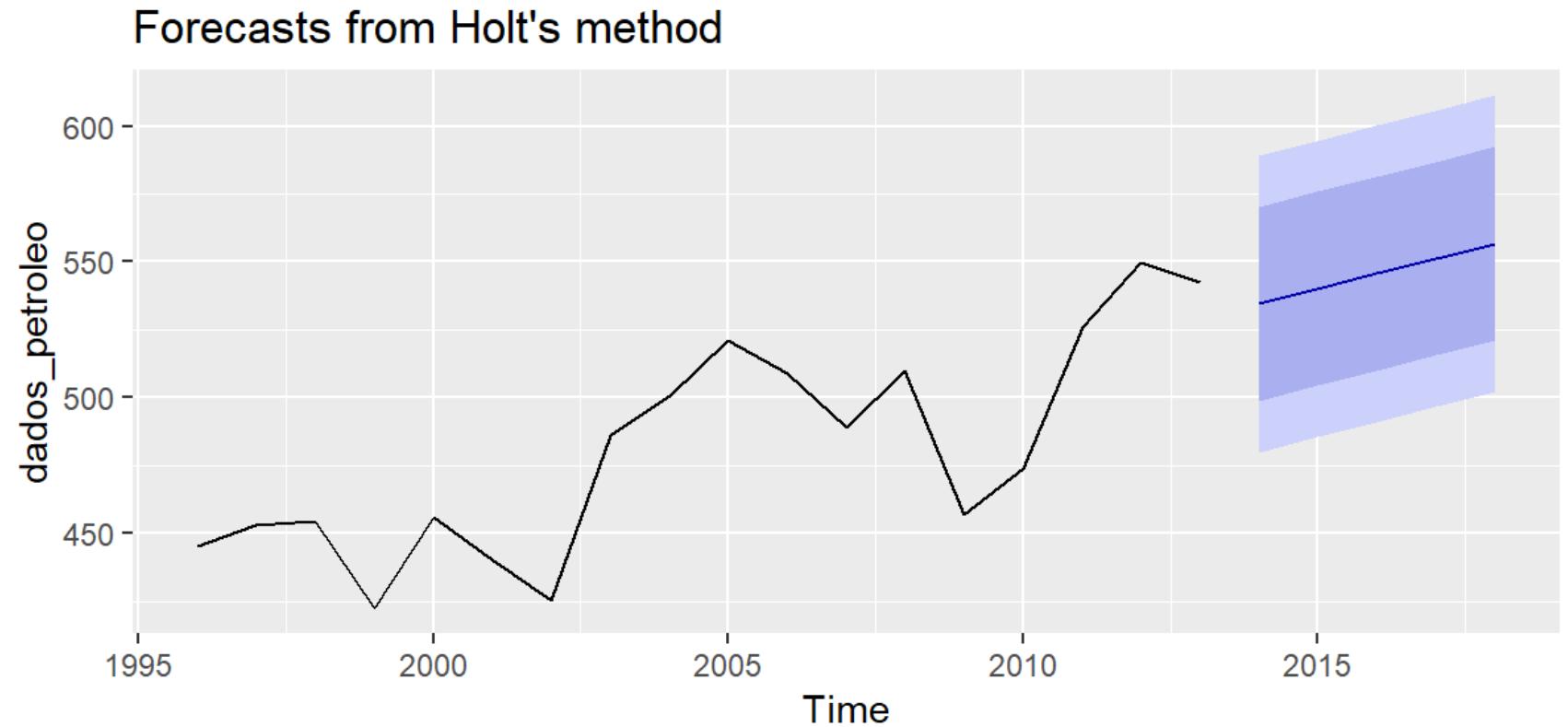


# Amortecimento Exponencial Duplo

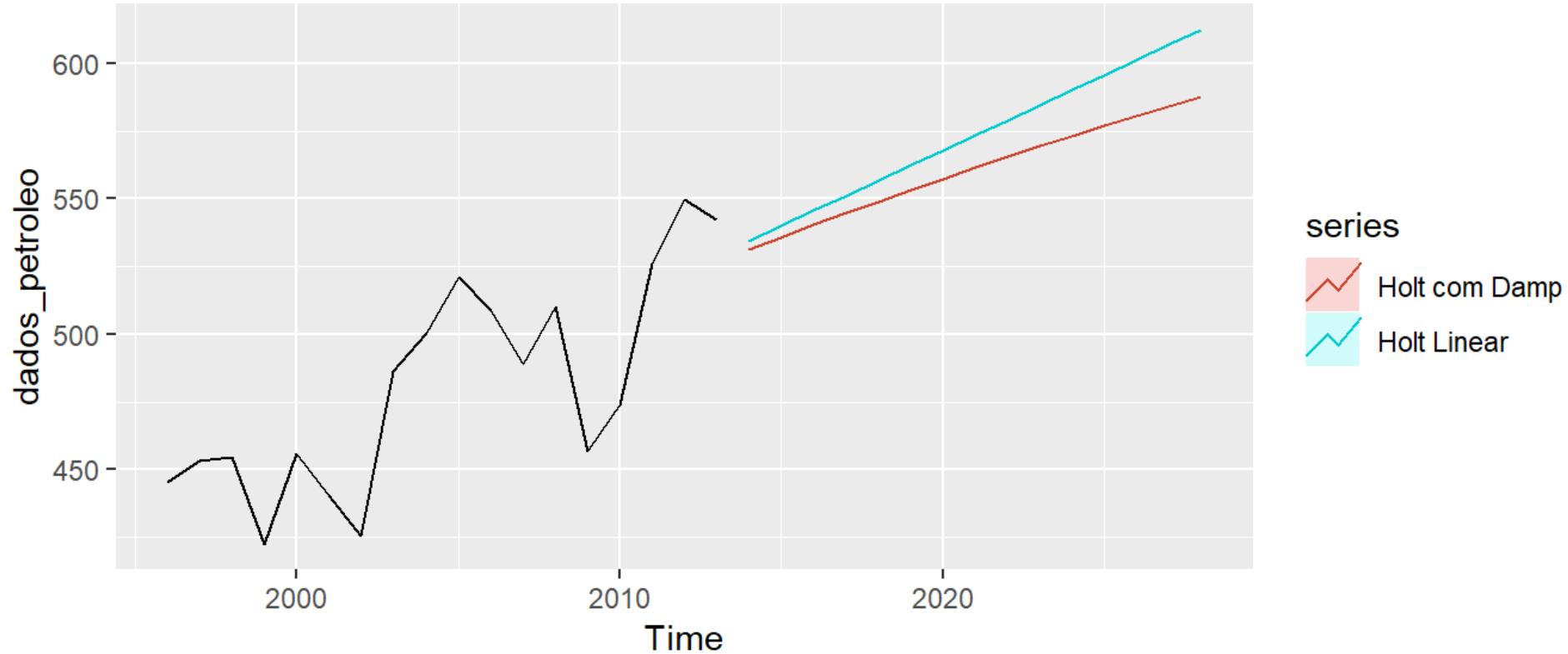
## Método de Holt

- ▶ Variação para séries que apresentam tendência, mas não sazonalidade.
- ▶ Adota dois fatores de amortecimento distintos –  $\alpha$  e  $\beta$  – para o nível e para a tendência
- ▶ Mantem a dificuldade na estimativa dos fatores de amortecimento

# AED – Método de Holt



# AED – Método de Holt com “Damp” - Decay



# Amortecimento Exponencial Triplo

## Método de Holt-Winters

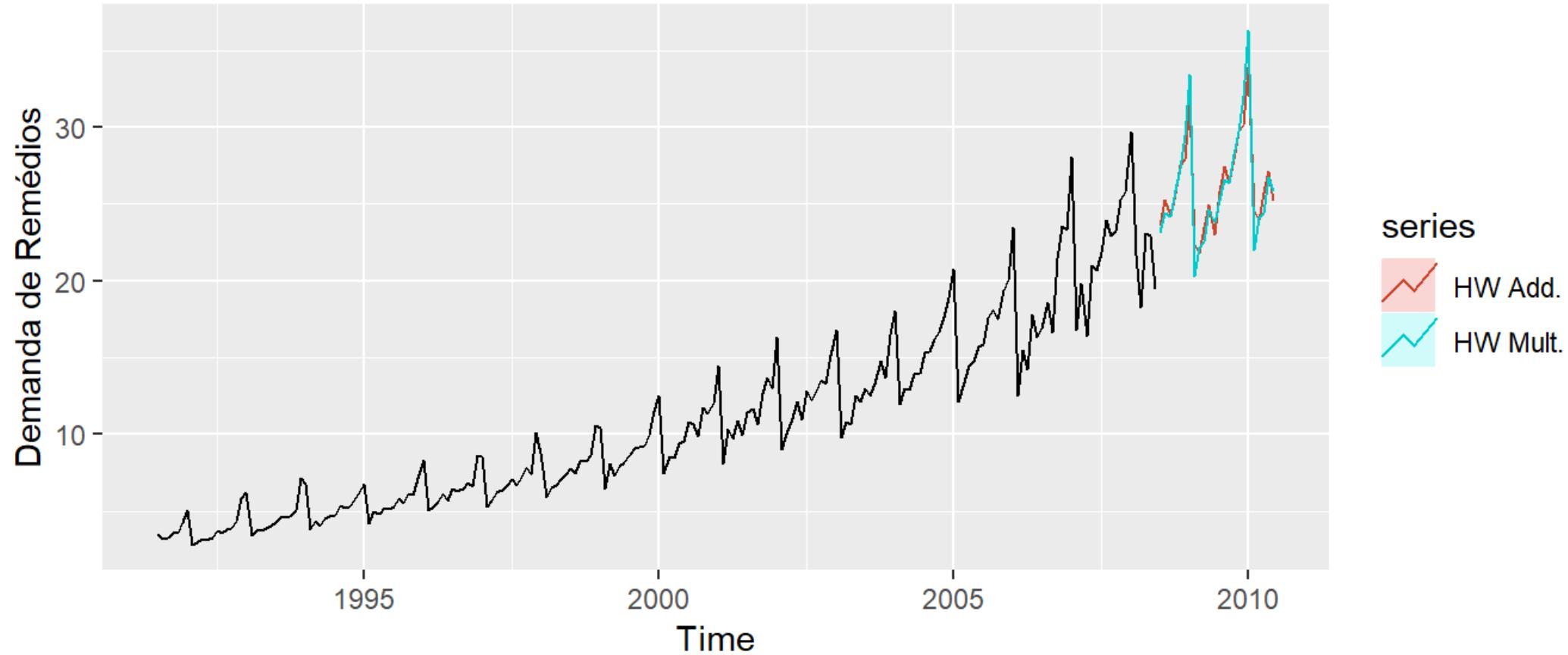
- ▶ Variação para séries que apresentam tendência e sazonalidade.
- ▶ Adota três fatores de amortecimento distintos –  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  – respectivamente para o nível, para a tendência e para a sazonalidade.
- ▶ A modelagem da sazonalidade pode ser aditiva (amplitude da sazonalidade é constante ao longo do tempo) ou multiplicativa (amplitude aumenta ou diminui ao longo do tempo)

$$P_t = N_t + T_t + S_t$$

$$P_t = (N_t + T_t) \times S_t$$

- ▶ Mantem a dificuldade na estimativa dos fatores de amortecimento

# AET – Método de Holt-Winters

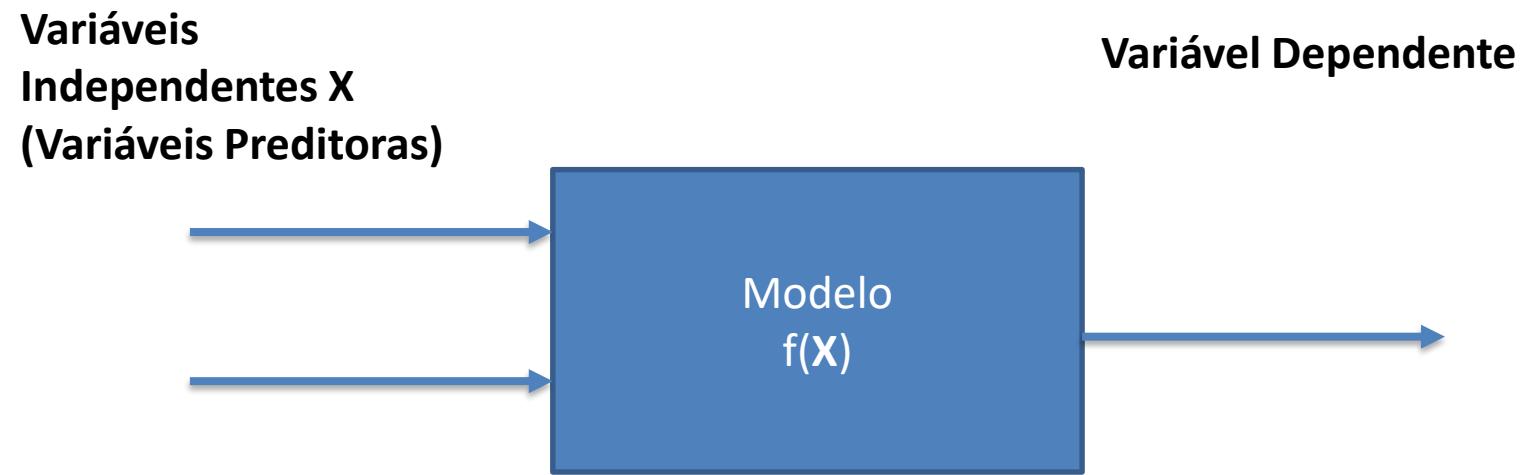


# PREVISÃO COM REGRESSÃO LINEAR

# Modelos Causais

- Modelos Causais
  - Regressão Linear Simples
    - Venda de um produto depende fortemente de um único fator. Ex:  
Gasto com propaganda
  - Regressão Múltipla
    - Venda depende de mais de um fator
    - Usualmente fazem uso de softwares específicos

# O que é um Modelo?



# Questão....

Qual é a maneira **mais óbvia** de estabelecer /estudar a relação entre...

- O quanto alunos tiram no Enem e o quanto eles ganham?
- O quanto as empresas investem em P&D e o quanto elas lucram?
- O quanto você vai à academia e o quanto você emagrece?
- O quanto o professor lê os slides o quanto os alunos aprendem?

# Conteúdo desta Seção

- Nesta seção abordaremos:
  - O que é a Análise de Regressão Linear (e porquê aprendê-la antes de aprender outros algoritmos de machine learning);
  - Diferentes usos da Regressão: Estudo do Sistema e Predição;
  - Como a regressão pode ser usada em um caso de análise de performance esportiva (Moneyball)?
- Nesta seção não abordaremos:
  - Avaliação de Pressupostos da Regressão Linear;
  - Outras formas de regressão.

# Exemplo 1 – Previsão de Vendas a Partir de Custo em Propaganda

- A Empresa “X” vende produtos diretamente ao consumidor final, de modo que as vendas são altamente influenciadas pela propaganda realizada.
1. Visualize os Dados da empresa em um gráfico de dispersão. Faz sentido criar um modelo de previsão utilizando regressão linear?
  2. Qual é a correlação linear entre estas duas variáveis?
  3. Crie um Modelo de Regressão Linear;
  4. Visualize as Informações do Modelo e Monte a Fórmula do Modelo por Escrito;

# Exemplo 1 – Previsão de Vendas a Partir de Custo em Propaganda

5. Visualize o Modelo de Regressão Junto aos Dados;
6. A Empresa está avaliando gastar 210 em propaganda. Com base no modelo, qual seria a quantidade em Vendas esperada?
7. Obtenha os índices de acurácia do modelo.

# Exemplo 2 – Previsão de Demanda com Modelos de Suavização Exponencial

Utilize os dados do arquivo fornecido para realizar previsões de Demanda para os próximos 6 meses, utilizando o R (utilize os modelos de suavização exponencial) . Apresente:

- Um gráfico da série de dados;
- Apresente um modelo de previsão de demanda para cada uma das técnicas vistas em aula, por meio de um gráfico. Dica: utilize o tutorial para obter uma série temporal a partir dos dados do Excel.
  - Suavização Exponencial Simples;
  - Suavização Exponencial com Tendência Linear (Holt);
  - Holt com “Damp”;
  - Holt-Winters Aditivo;
  - Holt-Winters Multiplicativo.

# Exemplo 2 – Previsão de Demanda com Modelos de Suavização Exponencial

- Qual modelo melhor representa a série de dados? Explique em um parágrafo, indicando o motivo pelo qual o modelo é mais adequado, bem como as estatísticas de acurácia do modelo. Utilize o indicador MAPE como critério de escolha;
- Para este modelo, apresente uma tabela com as próximas 6 demandas previstas, considerando sua resposta anterior. Estes dados serão utilizados para o próximo exercício.



# OTIMIZAÇÃO APLICADA A SISTEMAS PRODUTIVOS

Fundamentos dos Sistemas Produtivos

Com "A Ciência da Fábrica" - Prof. Pedro Nascimento de Lima



JESUÍTAS BRASIL



# Otimização Aplicada a Sistemas Produtivos

- A Técnica de Otimização é uma ferramenta fundamental de Planejamento.
- Alguns exemplos a serem explorados:
  - **Exemplo Inicial:** Otimização de Receita de Linhas Aéreas.
  - **Mix de Produção:** Como maximizar a lucratividade escolhendo o que produzir;
  - **Previsão de Longo Prazo + Planejamento Agregado:** Como decidir entre estoque ou horas extra considerando um horizonte de planejamento de diversos meses;
  - **Minimização dos Custos de Ligas e Misturas:** Minimizando Custos para atender a especificações técnicas;
  - **Alocação e Transporte em Cadeias de Suprimentos:**
  - **Roteirização:** Escolha da Melhor Rota em Função de custos de transporte.
  - **Decisões Interligadas:** Alocação de Produtos em Fábricas e Mix.

# Desafio: O Problema da Azul

- A Azul Linhas aéreas está estudando como maximizar seus lucros melhorando sua oferta de passagens.
- A empresa pratica duas modalidades de preço (Normal e Com Desconto para compra antecipada);
- O objetivo da empresa é determinar quantas passagens ofertar de cada modalidade de modo a maximizar seus lucros.
- A empresa opera somente duas rotas:
  - POA – GRU
  - GRU – FOR
  - E portanto, POA – GRU – FOR (com conexão).



# Desafio: O Problema da Azul

- A Azul Linhas aéreas está estudando como maximizar seus lucros melhorando sua oferta de passagens.
- A empresa pratica duas modalidades de preço (Normal e Com Desconto para compra antecipada);
- O objetivo da empresa é determinar quantas passagens ofertar de cada modalidade de modo a maximizar seus lucros.
- A empresa opera somente duas rotas:
  - POA – GRU
  - GRU – FOR
  - E portanto, POA – GRU – FOR (com conexão).
- Nestas rotas, a empresa utiliza o Embraer 190, com capacidade para 106 passageiros.



# Desafio: O Problema da Azul

- Informações Necessárias para a Solução do Problema:

Itinerário	Tipo	Preço	Demandá Máxima	Demandá Mínima
POA - GRU	Normal	428	80	12
	Desconto	380	120	18
POA - FOR	Normal	600	75	5
	Desconto	380	100	20
GRU - FOR	Normal	512	60	6
	Desconto	190	110	7

# Perguntas:

- A empresa tem um custo operacional de 70 k com estas rotas (sendo quase todos fixos no período analisado).
- Qual é a Quantidade de Assentos que a Azul deveria vender para cada itinerário, visando maximizar sua lucratividade?
- Qual é o máximo de lucro que a empresa pode obter nas condições atuais?
- O que a empresa pode fazer para melhorar ainda mais o seu lucro?

# A Importância da Modelagem

- A Modelagem é importante porque...
  - Nossa intuição não é boa o suficiente para responder a problemas até simples de resolver;
  - Modelos computacionais nos ajudam a encontrar soluções para problemas complexos;
  - Podemos testar o impacto de decisões sem comprometer o sistema real.

# Modelando o Problema da Azul

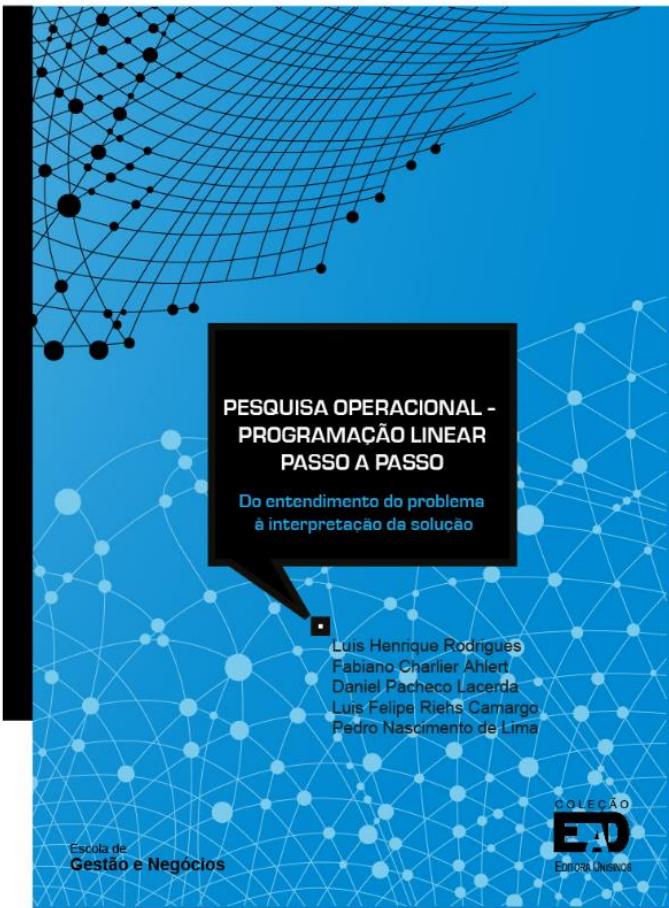
- Variáveis de Decisão:
  - Quanto Ofertar de Cada Tipo de Passagem em cada itinerário
- Função Objetivo:
  - Maximizar Lucro = Preço \* Oferta – Custos Fixos
- Restrições:
  - Atender Demanda Mínima;
  - Atender Demandas Máximas;

# Mix de Produção e Terceirização

- Informações sobre os Produtos:
- A empresa tem, por mês, 270 k em custos Fixos.
- Com o Plano atual, a empresa terá prejuízo de 23 k.
- Faça um plano de produção e terceirização que melhore este resultado (sem comprar mais recursos)! Qual é o máximo que é possível chegar em lucratividade?

Produto	Preço	Custo MP	Custo Terceirizada	Demanda	Operação A	Operação B	Operação C	Operação D	Prod. Interna	Prod. Terceiriz.
1	900	450	810	100	15	15	15	35	40	60
2	1000	500	900	87	10	25	5	14	34	52
3	980	450	882	112	15	15	5	15	44	67
4	920	500	828	98	12	25	7	14	39	58
5	960	500	864	45	15	15	13	35	18	27
6	970	470	873	114	11	45	10	54	45	68
7	1000	480	900	30	11	78	10	47	12	18
8	930	500	837	130	11	25	5	14	52	78
9	1400	560	1260	114	12	60	10	80	45	68
10	980	480	882	97	15	25	14	14	38	58

# Livro PO UNISINOS



Livro: Pesquisa operacional : programação linear passo a passo : do entendimento do problema à interpretação da solução

Passos para Acessar:

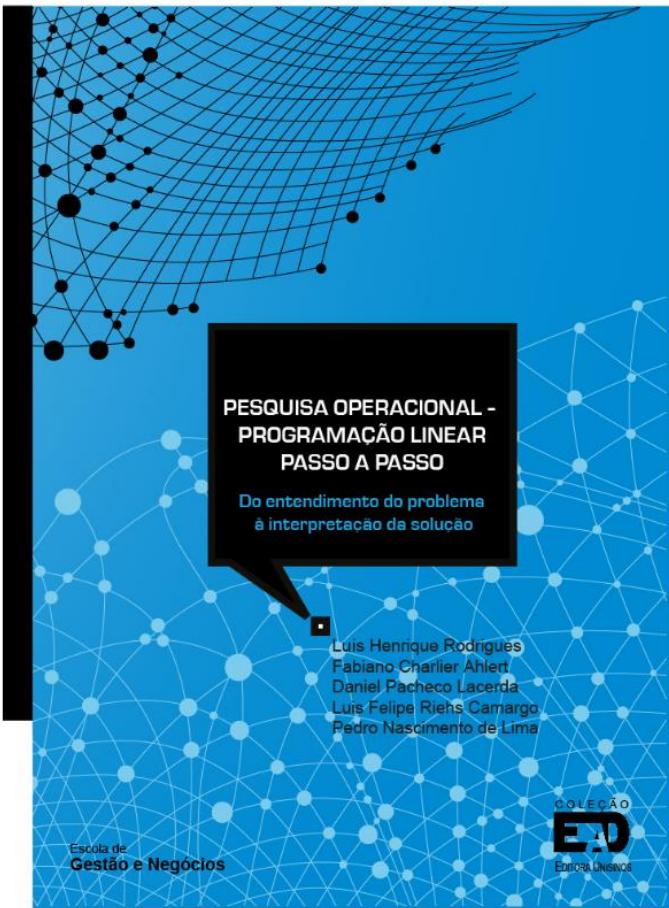
- Acessar o Site da Biblioteca:  
<http://biblioteca.asav.org.br/>
- Pesquisar o Nome do Livro;
- Clicar na opção para download em pdf.

3.  Pesquisa operacional [recurso eletrônico] : programação linear passo a passo  
RODRIGUES, Luís Henrique et al. Pesquisa operacional : programação linear passo a passo : do entendimento do problema à interpretação da solução. Recurso online (EAD). ISBN 9788574316710.  
PDF Marc

PESQUISA OPERACIONAL

# **PASSOS PARA ENTENDER E MODELAR UM PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**

# Livro PO UNISINOS



Livro: Pesquisa operacional : programação linear passo a passo : do entendimento do problema à interpretação da solução

Passos para Acessar:

- Acessar o Site da Biblioteca:  
<http://biblioteca.asav.org.br/>
- Pesquisar o Nome do Livro;
- Clicar na opção para download em pdf.

3.  Pesquisa operacional [recurso eletrônico] : programação linear passo a passo  
RODRIGUES, Luís Henrique et al. Pesquisa operacional : programação linear passo a passo : do entendimento do problema à interpretação da solução. Recurso online (EAD). ISBN 9788574316710.  
PDF Marc

# Passos para Entender o Problema

Propósito: Identificar as Variáveis de Decisão

- 1 - Elaborar um esquema simplificado do problema
- 2 - Definir uma solução para o problema
- 3 - Definir as Variáveis de Decisão



Propósito: Identificar a Função Objetivo

- 4 - Identificar o que deve ser Maximizado ou Minimizado



Propósito: Identificar as Restrições

- 5 - Identificar as Classes de Restrições

# Elementos de um modelo de Otimização

- Variáveis de Decisão:
  - Que produtos a empresa deve produzir...
  - Que rota alguém deve fazer...
  - Que composição química uma siderúrgica deve adotar...
- Função Objetivo:
  - Para Maximizar o seu Lucro...
  - Para Minimizar o seu Tempo de Viagem...
  - Para Minimizar o seu Custo de Produção...
- Restrições:
  - Considerando sua Capacidade Produtiva.
  - Passando por todos os destinos necessários.
  - Atendendo à requisitos de qualidade.

# Variáveis de Decisão

- Representam as Decisões que queremos avaliar com o modelo;
  - Quantos Produtos “X” Produzir de Cada tipo  $i$ ?
  - Quantos Reais “Y” Investir em cada Ação  $i$ ?
  - Quanto tempo “X” alocar para cada Funcionário  $i$ ?
- Variáveis de decisão são quantidades que o gestor pode controlar para melhorar a **função objetivo** e descrevem as decisões que podem ser tomadas;

# Função Objetivo

- Uma função matemática que queremos maximizar ou minimizar:
- É o valor que utilizamos para “ranquear” as alternativas;
- Sempre iremos querer **maximizar** ou **minimizar** a função objetivo:
  - Ex.: Maximizar o Lucro:
    - $\text{Lucro} = \text{Receita} - \text{Custos}$
    - $\text{Lucro} = (\text{Preço} - \text{Custos Variáveis}) * \text{Quantidade Vendida} - \text{Custos Fixos}$

# Restrições

- Representam “Regras” que não podemos quebrar e limitam as decisões que podemos tomar;
- “Regras do Negócio”:
  - A capacidade máxima de cada recurso é limitada -> Logo não podemos produzir *qualquer quantidade de recursos*;
  - O dinheiro total a ser investido é limitado -> Logo não podemos investir uma quantidade ilimitada de dinheiro;
  - A empresa não quer produzir menos do que “x” unidades de algum produto;
- Regras “Físicas”:
  - Ninguém produz um número negativo de produtos;
  - Conservação da Matéria: O número de produtos que sobra no estoque é igual ao número que está lá mais o número que entra, menos o número que sai;

# Como a Modelagem Funciona

- Definimos as Variáveis de Decisão, Função Objetivo e Restrições em um **modelo de programação linear**;
- Comunicamos este modelo à algum mecanismo de solução (quase sempre um software);
- Este mecanismo **gera a solução** do problema e informações para a nossa análise;
- Tomamos a Decisão.

# Passos para Entender o Problema

Propósito: Identificar as Variáveis de Decisão

- 1 - Elaborar um esquema simplificado do problema
- 2 - Definir uma solução para o problema
- 3 - Definir as Variáveis de Decisão



Propósito: Identificar a Função Objetivo

- 4 - Identificar o que deve ser Maximizado ou Minimizado



Propósito: Identificar as Restrições

- 5 - Identificar as Classes de Restrições



JESUÍTAS BRASIL



# Definição da Liga a Custo Mínimo: O Problema da Metalúrgica

Uma metalúrgica deseja produzir 1.500 Kg de uma liga de alumínio a preço mínimo, partindo de 3 matérias-primas cujos estoques, custos e composições são dados abaixo.

Minério	Custo	Estoque	Silício	Ferro	Alumínio
A	R\$ 4,00	500	25%	3%	72%
B	R\$ 3,00	2.000	10%	30%	60%
C	R\$ 2,00	300	5%	5%	90%

A liga a ser produzida deve atender a especificações técnicas que limitam a quantidade dos elementos químicos, tendo no máximo 30 % de Silício, 20 % de Ferro e no mínimo 65 % de Alumínio. Formular um modelo de programação linear para definir a composição desta liga ao menor custo possível.

# O Problema da Metalúrgica

VD:

$X_i$  – Quantidade de minério do tipo  $i$  a inserir na liga metálica (em kgs)

FO:

$$\text{MIN CUSTOS} = 4 X_A + 43 X_B + 2 X_C$$

Sujeito às restrições:

Estoques de Minérios:

$$X_A \leq 500$$

$$X_B \leq 2000$$

$$X_C \leq 300$$

Quantidade Máxima de Silício:

$$0.25 X_A + 0.1 X_B + 0.5 X_C \leq 4500$$

Quantidade Máxima de Ferro:

$$0.03 X_A + 0.3 X_B + 0.05 X_C \leq 375$$

Quantidade Máxima de Alumínio:

$$0.72 X_A + 0.6 X_B + 0.9 X_C \geq 975$$

Quantidade Total deve ser 1500 (em kg):

$$X_A + X_B + X_C \Rightarrow 1500$$

$$0,3 * 1500 = 450 \text{ kg de Silício}$$

$$0,25 * 1500 = 375 \text{ kg de Ferro}$$

$$0,65 * 1500 = 975 \text{ kg de Alumínio}$$

# Planejamento Agregado:

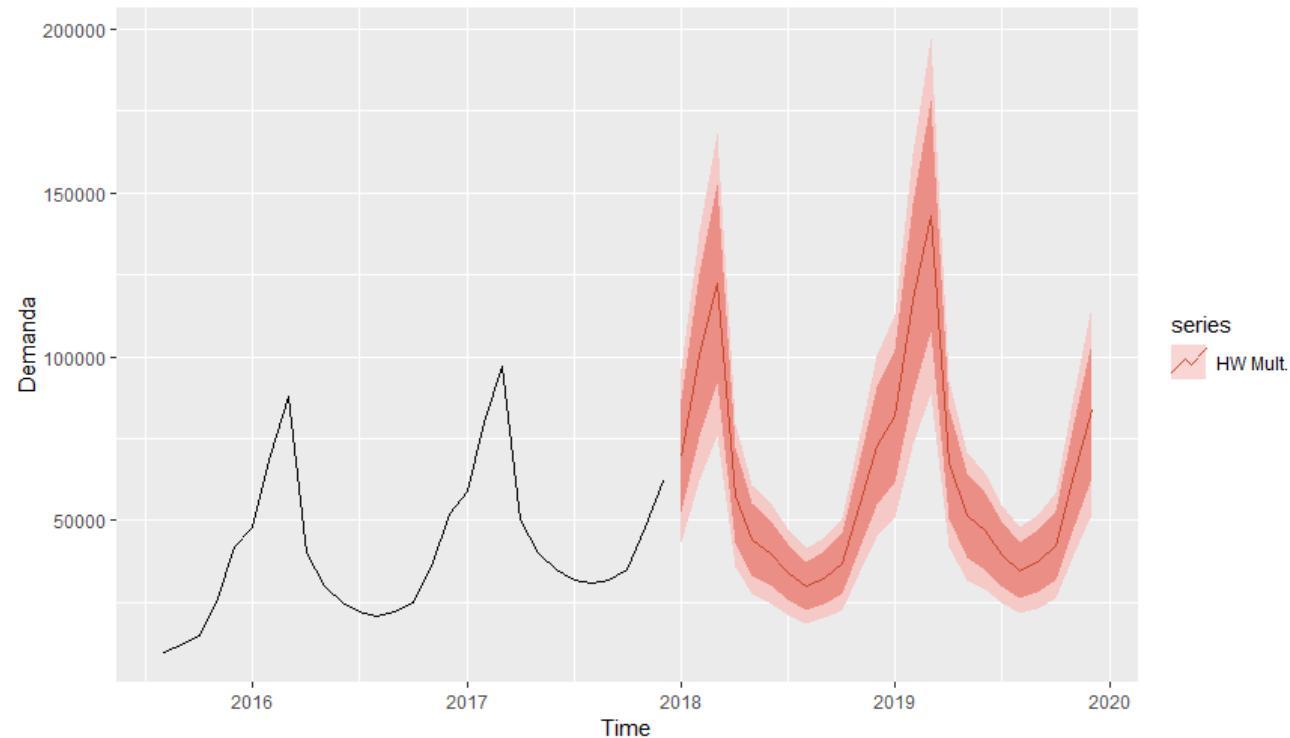
## Fornecedor de Peças Automotivas

- Agora que você possui a demanda projetada para o período de Janeiro a Junho de 2018, você deseja programar a produção para atender à demanda projetada. Sua empresa pode produzir 60000 peças por mês utilizando apenas horas normais. Utilizando horas extras, a empresa pode produzir 50000 unidades adicionais por mês.
- O custo de produção utilizando horas normais é de R\$ 180,00 / unidade, e utilizando horas extra, o custo torna-se 240 / unidade. Caso opte por armazenar produto acabado, a empresa incorre mensalmente um custo de R\$ 12,00 / unidade.
- A empresa não possui estoque da peça em questão, e o fabricante não deseja possuir estoques ao final do período de produção.

# Planejamento Agregado:

## Fornecedor de Peças Automotivas

- Considere o Modelo de Previsão de Demanda realizado no exemplo 2:  
Como Atender à esta demanda?



# Planejamento Agregado:

## Fornecedor de Peças Automotivas

- Agora que você possui a demanda projetada para o período de Agosto / 2019 a Jan/2020, você deseja programar a produção para atender à demanda projetada. Sua empresa pode produzir 60000 peças por mês utilizando apenas horas normais. Utilizando horas extras, a empresa pode produzir 50000 unidades adicionais por mês.
- O custo de produção utilizando horas normais é de R\$ 180,00 / unidade, e utilizando horas extra, o custo torna-se 240 / unidade. Caso opte por armazenar produto acabado, a empresa incorre mensalmente um custo de R\$ 60 / unidade.
- A empresa não possui estoque da peça em questão, e o fabricante não deseja possuir estoques ao final do período de produção.

# Fornecedor de Peças Automotivas

- Variáveis de Decisão:

$X_{i,j}$  = Quantidade a produzir no regime de produção i, no mês j:

XNO – Quantidade a Produzir em Turno Normal em Outubro

XNN – Quantidade a Produzir em Turno Normal em Novembro

XND – Quantidade a Produzir em Turno Normal em Dezembro

XEO – Quantidade a Produzir em Turno Extra em Outubro

XEN – Quantidade a Produzir em Turno Extra em Novembro

XED – Quantidade a Produzir em Turno Extra em Dezembro

- Variáveis Auxiliares:

SN – Sobra em Novembro

SD – Sobra em Dezembro

# Fornecedor de Peças Automotivas

- Função Objetivo:

$$\text{Min Custos} = 480 \text{ XNO} + 480 \text{ XNN} + 480 \text{ XND} + 620 \text{ XEO} + 620 \text{ XEN} + 620 \text{ XED} + 120 \text{ SN} + 120 \text{ SD}$$

- Restrições:

- Restrições de “Conservação do Estoque” e Demanda:

- Demanda de Outubro:

$$\text{XNO} + \text{XEO} - \text{SN} \geq 1200$$

- Demanda de Novembro:

$$\text{XNN} + \text{XEN} + \text{SN} - \text{SD} \geq 3600$$

- Demanda de Dezembro:

$$\text{XND} + \text{XED} + \text{SD} = 2400$$

- Capacidade do Turno Normal:

$$\text{XNO} \leq 1800$$

$$\text{XNN} \leq 1800$$

$$\text{XND} \leq 1800$$

- Capacidade do Turno Extra:

$$\text{XEO} \leq 1400$$

$$\text{XEN} \leq 1400$$

$$\text{XND} \leq 1400$$

# Alocação de Produção e Transporte: O problema da Montadora

- Uma montadora possui duas fábricas de motores e possui três fábricas onde os seus modelos são montados.
- Os custos de transporte de cada fábrica para cada uma das fábricas de montagem são exibidos no quadro abaixo.
- Cada uma das fábricas possui uma demanda mínima a ser atendida que deve ser respeitada;
- Formule um Modelo de Programação matemática que minimize o custo de transporte para atender a demanda prevista.

Fábricas de Motores	Fábricas de Montagem			Capacidade	
	Custo Unitário de Transporte				
	Montagem A	Montagem B	Montagem C		
Motores 1	2	3	4	6000	
Motores 2	1	1,5	3	4500	
Demandas Mínimas	2000	3500	4000		

# O problema da Montadora

- Variável de Decisão:

$X_{i,j}$  – Quantidade de Motores a enviar da fábrica de motores  $i$  para a fábrica de montagem  $j$ .

- Função Objetivo:

Minimizar Custo =  $2 X_{1A} + 3 X_{1B} + 4 X_{1C} + 1 X_{2A} + 1,5 X_{2B} + 3 X_{2C}$

- Sujeito às Restrições:

- Capacidades das Fábricas de Motores:

$$X_{1A} + X_{1B} + X_{1C} \leq 6000$$

$$X_{2A} + X_{2B} + X_{2C} \leq 4500$$

- Demanda das Fábricas de Montagem:

$$X_{1A} + X_{2A} \geq 2000$$

$$X_{1B} + X_{2B} \geq 3500$$

$$X_{3A} + X_{3B} \geq 4000$$

Programação Linear

# ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

# Análise de Sensibilidade

- Após a obtenção da solução ótima, é recomendável que as seguintes perguntas sejam realizadas: E se ...
  - A lucratividade individual dos produtos fosse diferente?
  - E se a demanda for menor do que a esperada?
  - E se a capacidade fosse maior do que a esperada?
  - E se ...?

# Retomando o Problema da Oficina de Brinquedos

- Uma pequena oficina de brinquedos produz dois tipos de brinquedos: caminhão de madeira e boneca de pano. O lucro do caminhão é de R\$ 10,00 por unidade e da boneca de pano é de R\$ 8,00 por unidade.
- São necessárias seis pessoas para fazer um lote de dez caminhões por dia e quatro pessoas para fazer um lote de 14 bonecas por dia. Existem 18 pessoas disponíveis para produzir os itens, podendo ser alocadas em qualquer um dos dois, em qualquer etapa. Devido à demanda existente é necessário fazer ao menos um lote de caminhões e um lote de bonecas por dia.
- Formular um modelo de programação linear que busque maximizar a lucratividade diária.

# Modelando o Problema

- Variáveis de decisão:

$X_i$ : quantidade de lotes fabricados do produto “i”, sendo  $i=\{C:\text{caminhão}, B:\text{boneca}\}$

- Função Objetivo:

$$\text{MAX } 100 XC + 112 XB$$

- Restrições:

SUBJECT TO

$$6 XC + 4 XB \leq 18$$

$$XC \geq 1$$

$$XB \geq 1$$

$$XC \geq 0$$

$$XB \geq 0$$

# Análise de Sensibilidade

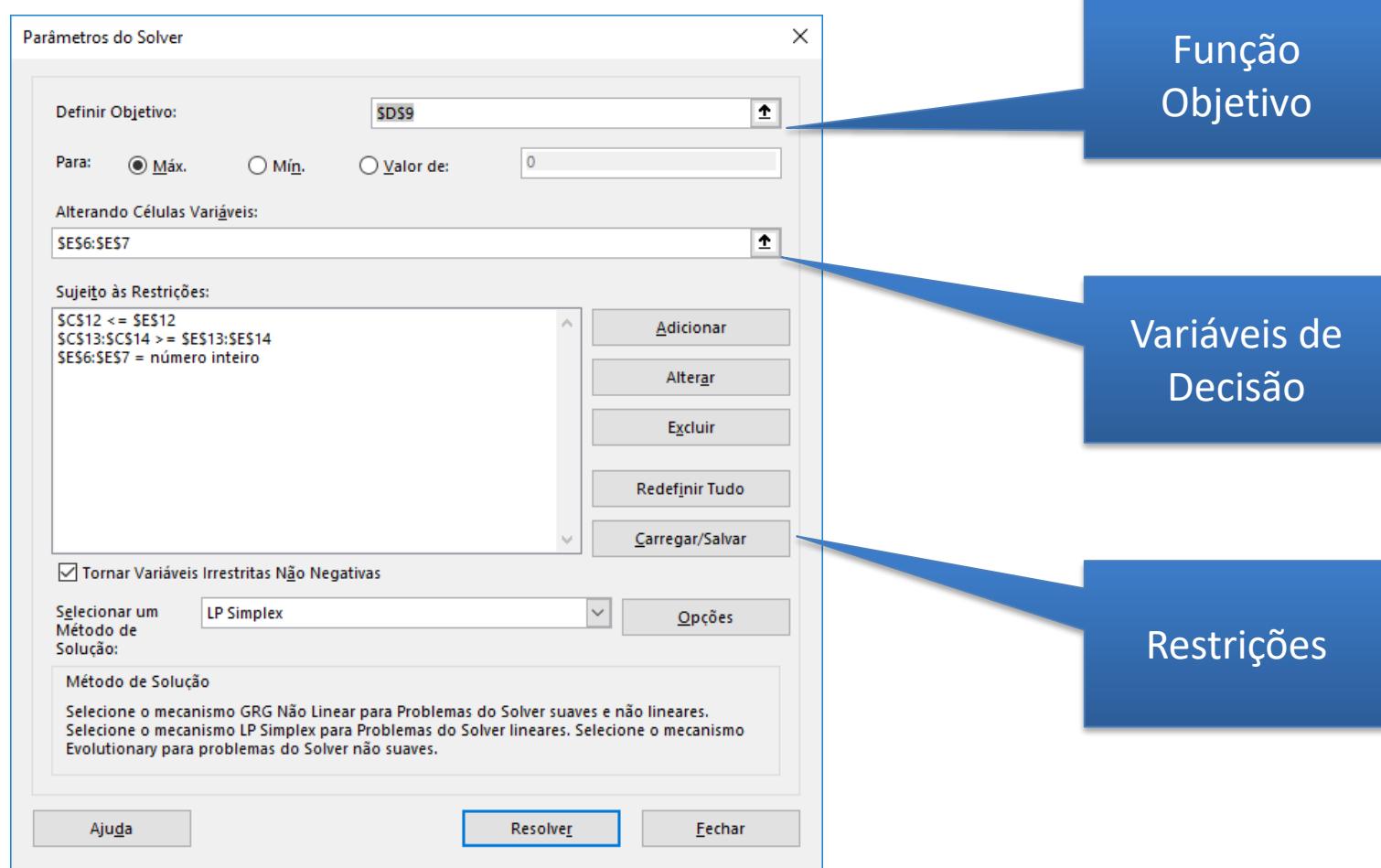
Tipo do Produto	Informações		
	Lucro do Lote	Uso de Pessoas	Quantidade a Produzir
Boneca	112	4	3
Caminhão	140	6	1
Função Objetivo		Lucro	476
Restrições			
Número de Pessoas	18	<=	18
Lotes de Caminhão	1	>=	1
Lotes de Boneca	3	>=	1

Variáveis de  
Decisão

Função  
Objetivo

Restrições

# Análise de Sensibilidade



# Análise de Sensibilidade

Variável de Decisão -  $X_i$  - Quantidade  $X$  de Lotes a produzir do tipo  $i$

Tipo do Produto	Informações	
	Lucro do Lote	Uso de Pessoas
Boneca	112	
Caminhão	140	

Função Objetivo

	Lucro	112

Restrições

	Valor Calculado	Sinal
Número de Pessoas	50	$\leq$
Lotes de Caminhão	1	$\geq$
Lotes de Boneca	11	$\geq$

Resultados do Solver

O Solver encontrou uma solução. Todas as Restrições e condições de adequação foram satisfeitas.

Manter Solução do Solver

Restaurar Valores Originais

Retornar à Caixa de Diálogo Parâmetros do Solver

Relatórios de Estrutura de Tópicos

Relatórios

OK Cancelar Salvar Cenário...

Selecionar opção para salvar relatórios de resposta e sensibilidade

The screenshot shows the 'Solver Results' dialog box from Microsoft Excel. It displays a message stating that a solution has been found and all constraints and adequacy conditions are satisfied. There are two main sections: 'Relatórios' (Reports) and 'Relatórios de Estrutura de Tópicos' (Topic Structure Reports). Under 'Relatórios', three options are listed: 'Manter Solução do Solver' (Keep Solver Solution), 'Restaurar Valores Originais' (Restore Original Values), and 'Relatórios' itself, which is highlighted with a blue selection bar. A callout bubble points to the 'Relatórios' option with the text 'Selecionar opção para salvar relatórios de resposta e sensibilidade' (Select option to save response and sensitivity reports).

# Relatórios Gerados

Tipo do Produto	Informações		
	Lucro do Lote	Uso de Pessoas	Quantidade a Produzir
Boneca	112	4	3
Caminhão	140	6	1
Função Objetivo		Lucro	476
Restrições	Valor Calculado	Sinal	Restrição
Número de Pessoas	18	<=	18
Lotes de Caminhão	1	>=	1
Lotes de Boneca	3	>=	1

Relatório de Respostas 1 | Relatório de Sensibilidade 1 | Relatório de Limites 1 | Planilha1 | + | : | □ |

# Relatório de Respostas

- Apresenta resultados da otimização:

Célula do Objetivo (Máx.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$D\$7	Lucro Uso de Pessoas	1372	476

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$E\$4	Boneca Quantidade a Produzir	11	3	Conting.
\$E\$5	Caminhão Quantidade a Produzir	1	1	Conting.

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$C\$10	Número de Pessoas Valor Calculado	18	\$C\$10<=\$E\$10	Associação	0
\$C\$11	Lotes de Caminhão Valor Calculado	1	\$C\$11>=\$E\$11	Associação	0
\$C\$12	Lotes de Boneca Valor Calculado	3	\$C\$12>=\$E\$12	Não-associação	2

# Relatório de Respostas

- Os seguintes resultados são apresentados nesta aba:
  - Função Objetivo: Apresenta o Valor Original da Função (antes da otimização) e Valor Final encontrado;
  - Células Variáveis: Apresenta o valor das variáveis de decisão escolhidos, ou seja, a **solução ótima**.
  - Restrições: Apresenta o valor das restrições. Colunas com informações importantes:
    - Status: Indica se a restrição limita o valor da função objetivo (Associação - *binding*) ou não (Não associação – *non-binding*). Restrições com status “não associação” são aquelas que não limitaram a melhoria da função objetivo;
    - “Margem de Atraso”: Indica a “sobra” da restrição.

# Relatório de Respostas

Célula do Objetivo (Máx.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$D\$7	Lucro Uso de Pessoas	1372	476

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro
\$E\$4	Boneca Quantidade a Produzir	11	3	Conting.
\$E\$5	Caminhão Quantidade a Produzir	1	1	Conting.

Restrições

Célula	Nome	Valor da Célula	Fórmula	Status	Margem de Atraso
\$C\$10	Número de Pessoas Valor Calculado	18	\$C\$10<=\$E\$10	Associação	0
\$C\$11	Lotes de Caminhão Valor Calculado	1	\$C\$11>=\$E\$11	Associação	0
\$C\$12	Lotes de Boneca Valor Calculado	3	\$C\$12>=\$E\$12	Não-associação	2

O número de pessoas limitou a lucratividade e a restrição do lote de caminhão também limitou a lucratividade.

A restrição de bonecas a vender não limitou. De fato “usamos 2 lotes de bonecas a mais do que a restrição demandava”

# Relatório de Sensibilidade

- O relatório de sensibilidade apresenta informações a respeito dos **coeficientes das variáveis de decisão e das restrições**:

Células Variáveis

Célula	Nome	Final	Reducido	Objetivo	Permitido	Permitido
		Valor	Custo	Coeficiente	Aumentar	Reducir
\$E\$4	Boneca Quantidade a Produzir	3	0	112	1E+30	18,66666667
\$E\$5	Caminhão Quantidade a Produzir	1	0	140	28	1E+30

Restrições

Célula	Nome	Final	Sombra	Restrição	Permitido	Permitido
		Valor	Preço	Lateral R.H.	Aumentar	Reducir
\$C\$10	Número de Pessoas Valor Calculado	18	28	18	1E+30	8
\$C\$11	Lotes de Caminhão Valor Calculado	1	-28	1	1,333333333	1
\$C\$12	Lotes de Boneca Valor Calculado	3	0	1	2	1E+30

# Relatório de Sensibilidade

## Coeficientes das Variáveis de Decisão

- Função Objetivo do Problema:

$$\text{MAX Lucro} = 100 Xc + 112 Xb$$



- Questão: E se a lucratividade dos lotes for diferente, a decisão será alterada?*
- Ou seja, E se os coeficientes da função objetivo fossem diferentes?*

# Relatório de Sensibilidade

## Coeficientes das Variáveis de Decisão

Células Variáveis

Célula	Nome	Final	Reducido	Objetivo	Permitido	Permitido
		Valor	Custo	Coeficiente	Aumentar	Reduzir
\$E\$4	Boneca Quantidade a Produzir	3	0	112	1E+30	45,33333333
\$E\$5	Caminhão Quantidade a Produzir	1	0	100	68	1E+30

Variável	Significado
Valor Final (Final Value)	Valor final (encontrado pelo solver) das variáveis de decisão.
Custo Reduzido (Reduced cost)	Pode ser interpretado de duas formas: 1 - A quantidade que o coeficiente da variável deve melhorar para que se torne vantajoso trazer essa variável à solução. 2 - A penalidade que você teria que pagar na Função Objetivo para colocar uma unidade da variável na solução.
Coeficiente da Função Objetivo (Objective Coefficient)	Valor Atual dos Coeficientes da função objetivo.
Aumento Permitido (Allowable Increase)	É o valor que pode ser somado ao coeficiente da referida variável, sem mudar o valor das variáveis de decisão.
Permitido Reduzir (Allowable decrease)	É o valor que pode ser subtraído do coeficiente da referida variável, sem mudar o valor das variáveis de decisão.

# Relatório de Sensibilidade - LINDO

OBJECTIVE FUNCTION VALUE			
LUCRO)	436.0000		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	
XC	1.000000	0.000000	
XB	3.000000	0.000000	
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	
PESSOAS)	0.000000	28.000000	
MINCAM)	0.000000	-68.000000	
MINBON)	2.000000	0.000000	
NO. ITERATIONS=	2		
RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:			
VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
XC	100.000000	68.000000	INFINITY
XB	112.000000	INFINITY	45.333332
ROW	CURRENT RHS	RIGHTHOOK SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
PESSOAS	18.000000	INFINITY	8.000000
MINCAM	1.000000	1.333333	1.000000
MINBON	1.000000	2.000000	INFINITY

# Exercício: Verificando o Entendimento da Análise de Sensibilidade

- Coeficientes das Variáveis de Decisão na Função Objetivo:
  - Quanto deve ser o lucro do lote de caminhão para que se torne vantajoso vender mais caminhões?
    - Teste os valores: 110, 150, 170.
    - Qual é o valor que a Análise de Sensibilidade mostra?

Células Variáveis

Célula	Nome	Final	Reducido	Objetivo	Permitido	Permitido
		Valor	Custo	Coeficiente	Aumentar	Reducir
\$E\$4	Boneca Quantidade a Produzir	3	0	112	1E+30	45,33333333
\$E\$5	Caminhão Quantidade a Produzir	1	0	100	68	1E+30

# Exercício: Verificando o Entendimento da Análise de Sensibilidade

- Coeficientes das Variáveis de Decisão na Função Objetivo:
  - Quanto deve ser o lucro do lote de bonecas para que a decisão sobre o que produzir mude?
    - Teste os valores: 100, 80, 60.
    - Qual é o valor que a Análise de Sensibilidade mostra?

Células Variáveis		Final	Reducido	Objetivo	Permitido	Permitido
Célula	Nome	Valor	Custo	Coeficiente	Aumentar	Reducir
\$E\$4	Boneca Quantidade a Produzir	3	0	112	1E+30	45,33333333
\$E\$5	Caminhão Quantidade a Produzir	1	0	100	68	1E+30

# Relatório de Sensibilidade

## Preços-Sombra

- Frequentemente, as restrições do problema representam recursos que a empresa pode utilizar para atingir seus objetivos. A restrição de utilização de mão de obra indica que:

Qtd. de Func. Utilizados  $\leq$  Qtd. de Func. Disponíveis

$$6 \text{ } XC + 4 \text{ } XB \leq \mathbf{18}$$

- Questão: Vale apena contratar um funcionário extra?*
- Ou seja, qual é a contribuição marginal para a função objetivo quando adicionamos uma unidade à restrição?*

# Relatório de Sensibilidade

## Restrições

### Restrições

Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reducir
SC\$10	Número de Pessoas Valor Calculado	18	28	18	1E+30	8
SC\$11	Lotes de Caminhão Valor Calculado	1	-68	1	1,333333333	1E+30
SC\$12	Lotes de Boneca Valor Calculado	3	0	1	2	1E+30

Variável	Significado
Valor Final (Final Value)	Valor final calculado pelo solver da utilização da restrição.
Preço Sombra	Mudança no valor da função objetivo gerada se o lado direito da restrição fosse acrescido de uma unidade.
Restrição Lateral (R.H.)	São as constantes do lado direito das restrições, sublinhadas neste exemplo: <u>20 XA + 4 XB &gt;= 400</u>
Aumento Permitido (Allowable Increase)	É o valor que pode ser somado à constante da referida restrição, sem mudar os Preços sombra e Custos Reduzidos.
Permitido Reduzir (Allowable decrease)	É o valor que pode ser subtraído à constante da referida restrição, sem mudar Preços sombra e Custos Reduzidos.

# Exercício: Verificando o Entendimento da Análise de Sensibilidade

- Preços-Sombra:
  - Quanto a lucratividade iria aumentar caso a empresa possuísse mais um funcionário?
    - Teste o acréscimo à lucratividade alterando a disponibilidade de funcionários, realizando a otimização novamente e verificando a mudança no valor da função objetivo?
    - Qual é o valor que a Análise de Sensibilidade mostra?

Restrições						
Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$C\$10	Número de Pessoas Valor Calculado	18	28	18	1E+30	8
\$C\$11	Lotes de Caminhão Valor Calculado	1	-68	1	1,333333333	1E+30
\$C\$12	Lotes de Boneca Valor Calculado	3	0	1	2	1E+30

Se a empresa possuísse mais um funcionário, a lucratividade aumentaria 28 reais.

# Relatório de Sensibilidade - LINDO

OBJECTIVE FUNCTION VALUE			
LUCRO)	436.0000		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	
XC	1.000000	0.000000	
XB	3.000000	0.000000	
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES	
PESSOAS)	0.000000	28.000000	
MINCAM)	0.000000	-68.000000	
MINBON)	2.000000	0.000000	
NO. ITERATIONS=	2		
RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:			
VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
XC	100.000000	68.000000	INFINITY
XB	112.000000	INFINITY	45.333332
ROW	CURRENT RHS	RIGHTHOOK SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
PESSOAS	18.000000	INFINITY	8.000000
MINCAM	1.000000	1.333333	1.000000
MINBON	1.000000	2.000000	INFINITY

# Exercício do Rádio Luxo e Standard

- Formule o Problema dos Rádios Luxo e Standard no Excel e resolva utilizando o solver.
- Responda:
  1. Qual é a solução ótima?
  2. Qual é o valor da função objetivo nesta condição?
  3. A empresa atualmente lucra 300 reais na situação atual. Quanto dinheiro a empresa está perdendo por não adotar a solução ótima?
  4. Quais são as restrições que limitam o ganho da empresa?
  5. Quanto o lucro do rádio luxo pode variar de modo que a decisão não seja alterada?
  6. Quanto o lucro do rádio standard pode variar de modo que a decisão não seja alterada?
  7. Qual seria a lucratividade da empresa se houvesse uma pessoa a mais disponível?
  8. Que linha de produção a empresa deve expandir?

# CIÊNCIA DA FÁBRICA - FECHAMENTO

# O que fazer com todos estes modelos?

- A aplicação dos conceitos da ciência da fábrica ainda é novidade na maior parte das empresas;
- Dificuldades:
  - Aplicar os conceitos exige conhecimento e expertise ainda escassos (estes conceitos não são normalmente ensinados);
  - A aplicação efetiva em ambientes complexos pode exigir o uso de modelos mais sofisticados;
  - Dois componentes da ciência da fábrica foram patenteados.

# A Ciência da Fábrica e os Demonstrativos de Resultados

- Os elementos da Ciência da Fábrica estão diretamente conectados aos demonstrativos de resultados;
- É possível desenvolver estratégias operacionais para estoque, capacidade e tempo de resposta visando o **impacto quantificável apresentado em demonstrativos financeiros.**

# A Ciência da Fábrica e os Demonstrativos de Resultados

Elementos da Ciência da Fábrica	Impacto no Demonstrativo de Resultados	Metas para a Gestão
Demandas	Receita	Maximizar a Receita (oferecer o menor tempo de resposta e oferta de produtos que maximize o fluxo de caixa).
Estoque	Custo dos Produtos Vendidos	Minimizar o Estoque e ao mesmo tempo oferecer o nível de serviço desejado.
Capacidade	Custo dos Produtos Vendidos e Despesas Fixas	Otimizar a capacidade dos buffers de capacidade.
Tempo	Receita e Custo dos Produtos Vendidos	Minimizar os tempos de Resposta.

# Impactos Previsíveis de Não Fazer Nada

- Flow Benchmarking e CONWIP:
  - Imprevisibilidade sobre o Lead Time pode levar a perda de credibilidade junto aos clientes, levando a menores receitas no médio-longo prazo;
  - Redução do WIP a níveis menores que o WIP crítico levarão a produtividades medíocres.
- Otimização de Estoques:
  - Retornos sobre ativos = Lucro / ativos. A otimização de estoques permite manter a lucratividade mantendo o buffer de estoque ao nível ideal. Não utilizar a otimização de estoques reduzirá o Retorno Sobre ativos.

# Impactos Previsíveis de Não Adotar as Ferramentas

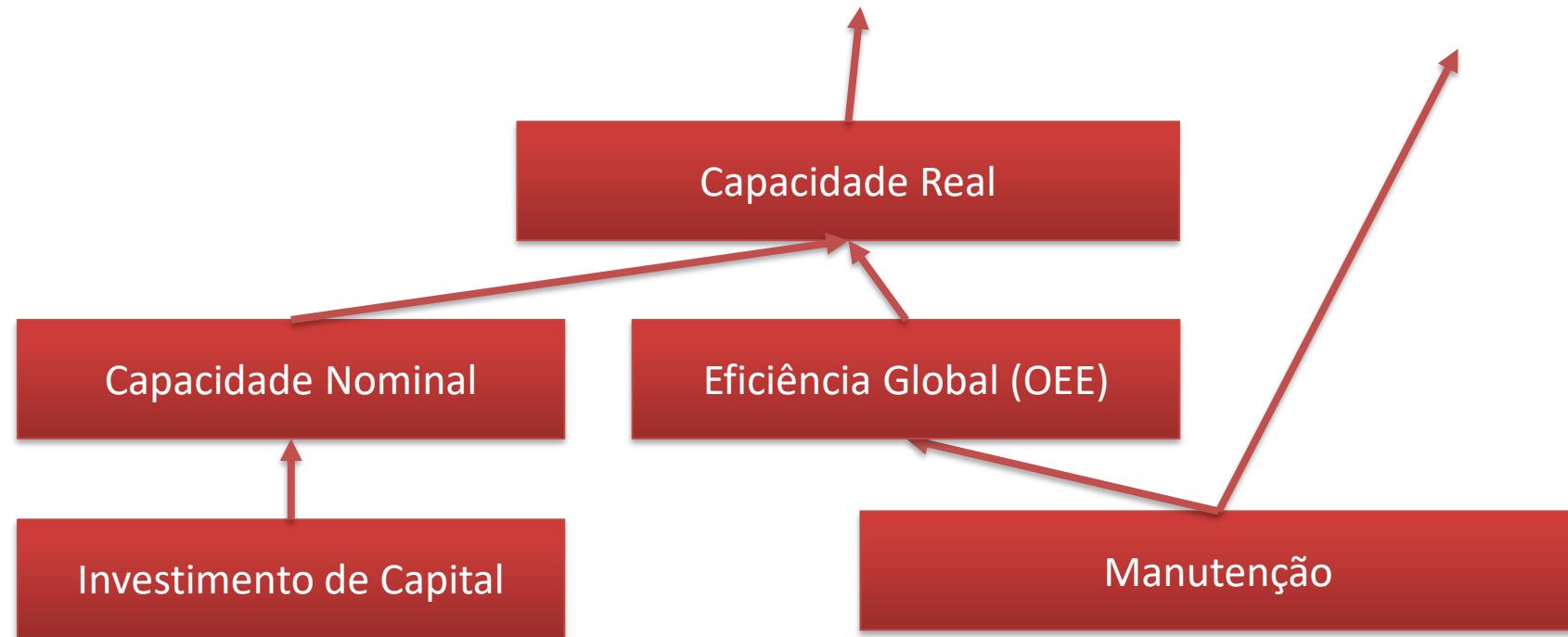
- Otimização do Mix de Produção:
  - Não escolher os produtos que maximizam a lucratividade gerará um impacto direto na lucratividade da empresa, afetando os lucros e retorno sobre ativos.
- Otimização do Plano Agregado de Produção:
  - Não planejar a produção de modo antecipado à demanda pode levar ao uso desnecessário de horas extras e terceirização, aumentando custos.
- Previsão de Demanda com Técnicas Adequadas:
  - Previsões de demanda precárias levam ao superdimensionamento de todos os buffers, ou a perdas de receita por falta de estoque. No médio-longo prazo, a previsão precária pode levar a falta de capacidade que será compensada com opções mais onerosas (terceirização e horas extras).

# OEE E MANUTENÇÃO

# Qual é a Meta de uma Empresa?

E qual é o Papel da Manutenção?

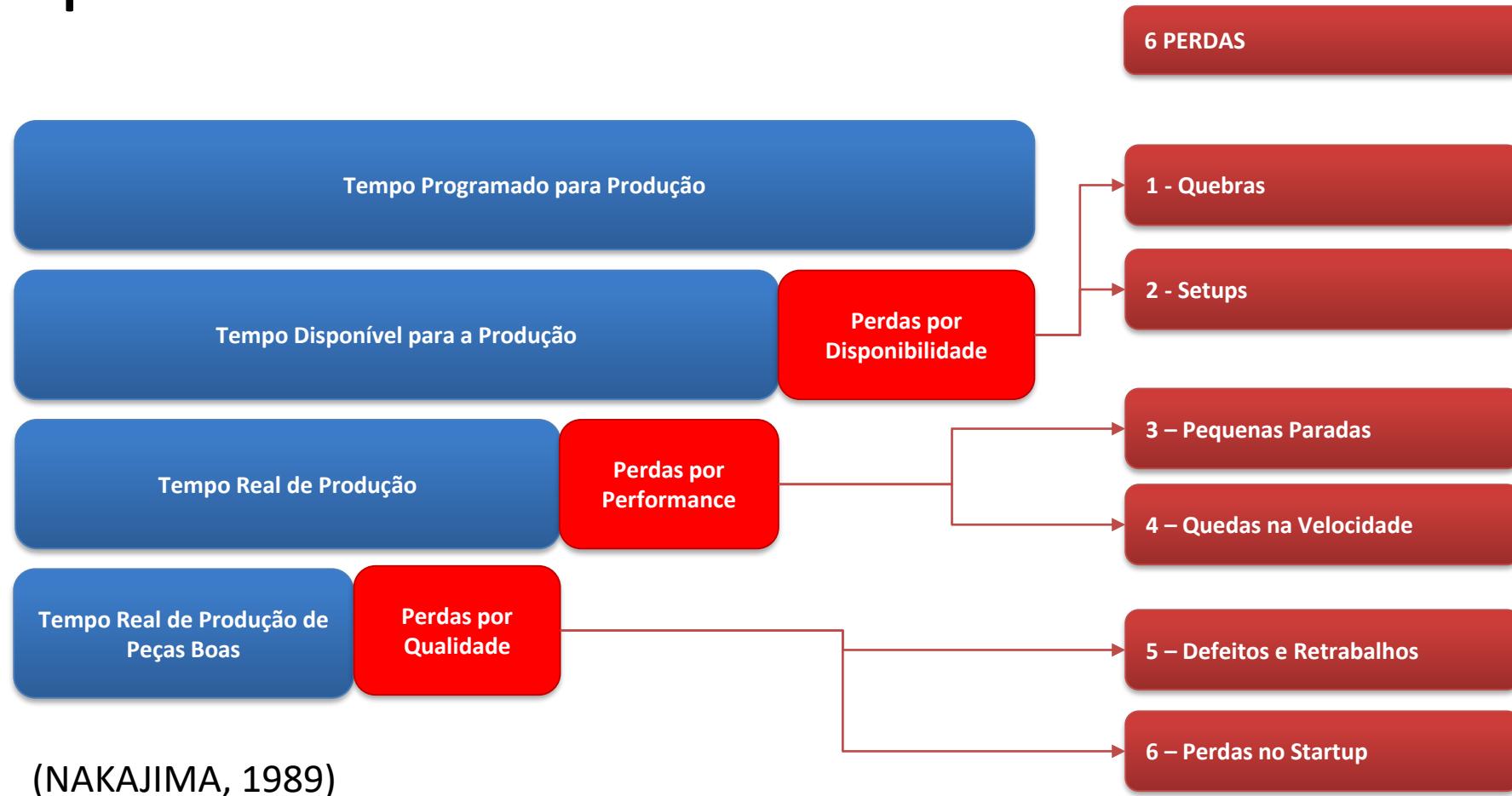
- Ganhar Dinheiro Hoje e no Futuro!
- $\text{Lucro Líquido} = \sum_{i=1}^n q_i * (P_i - CV_i) - CF$



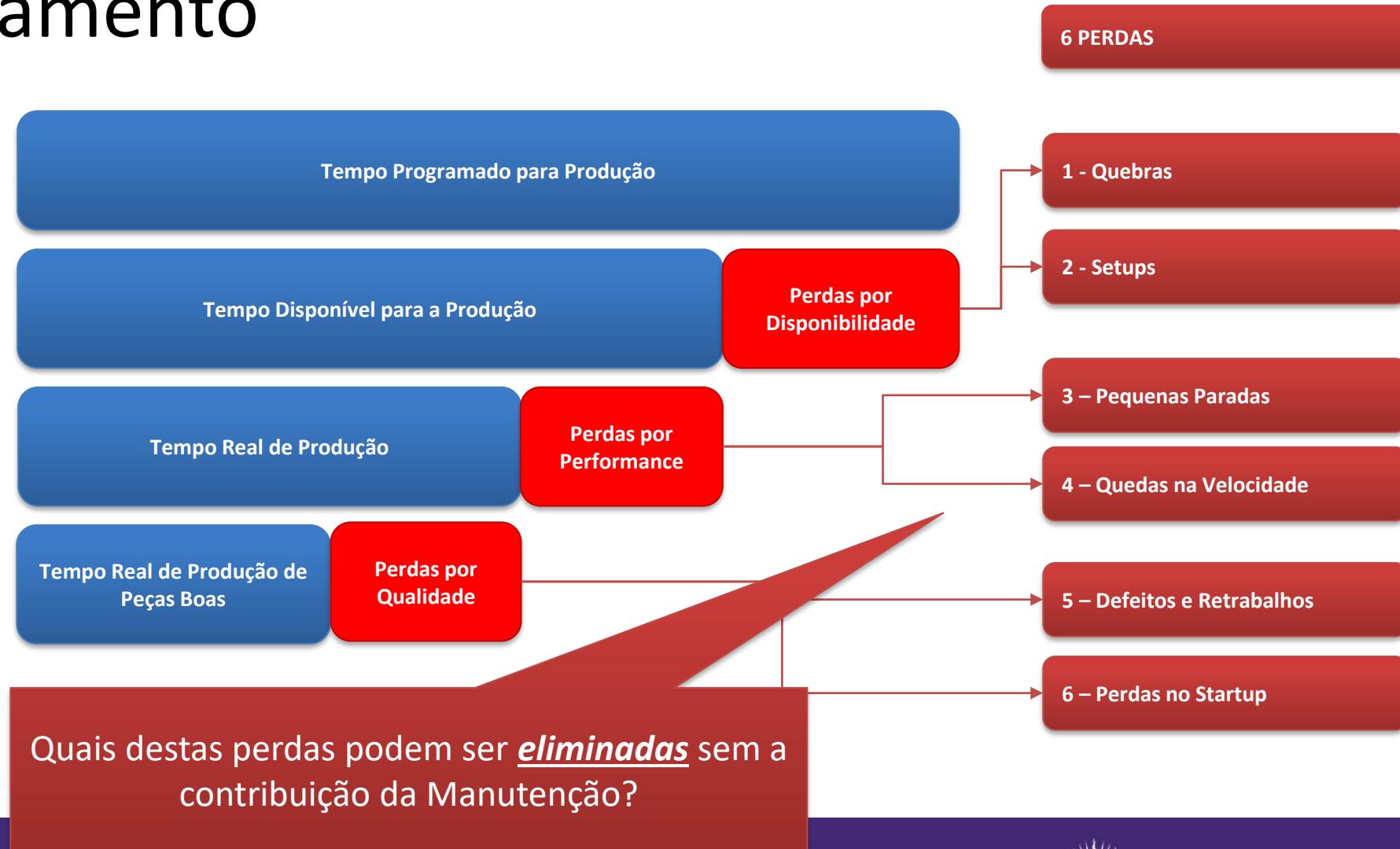
# Restrições para o Lucro Líquido

- Mercado;
- Preços e Custos Variáveis;
- Custos Fixos;
- Volume de Produção
- Papel da Manutenção:
  - Disponibilizar capacidade ao menor custo Fixo.

# As Seis Grandes Perdas que Limitam a Efetividade do Equipamento

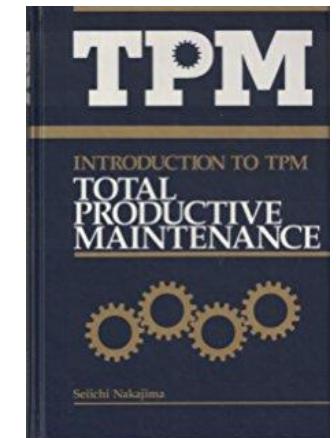


# Seis Grandes Perdas que Limitam a Efetividade do Equipamento



# Seiichi Nakajima e Introdução do OEE e TPM

- As 5 Metas da Manutenção Produtiva Total:
  1. Melhorar a Eficiência do Equipamento;
  2. Implementar Manutenção Autônoma pelos Operadores;
  3. Implementar Manutenção Planejada;
  4. Aumentar o grau de habilidades da operação e manutenção;
  5. Gerenciar o equipamento desde sua instalação.



# OEE



OEE, TEEP e IROG - Drops Indústria Mais SEBRAE RS

GMAP

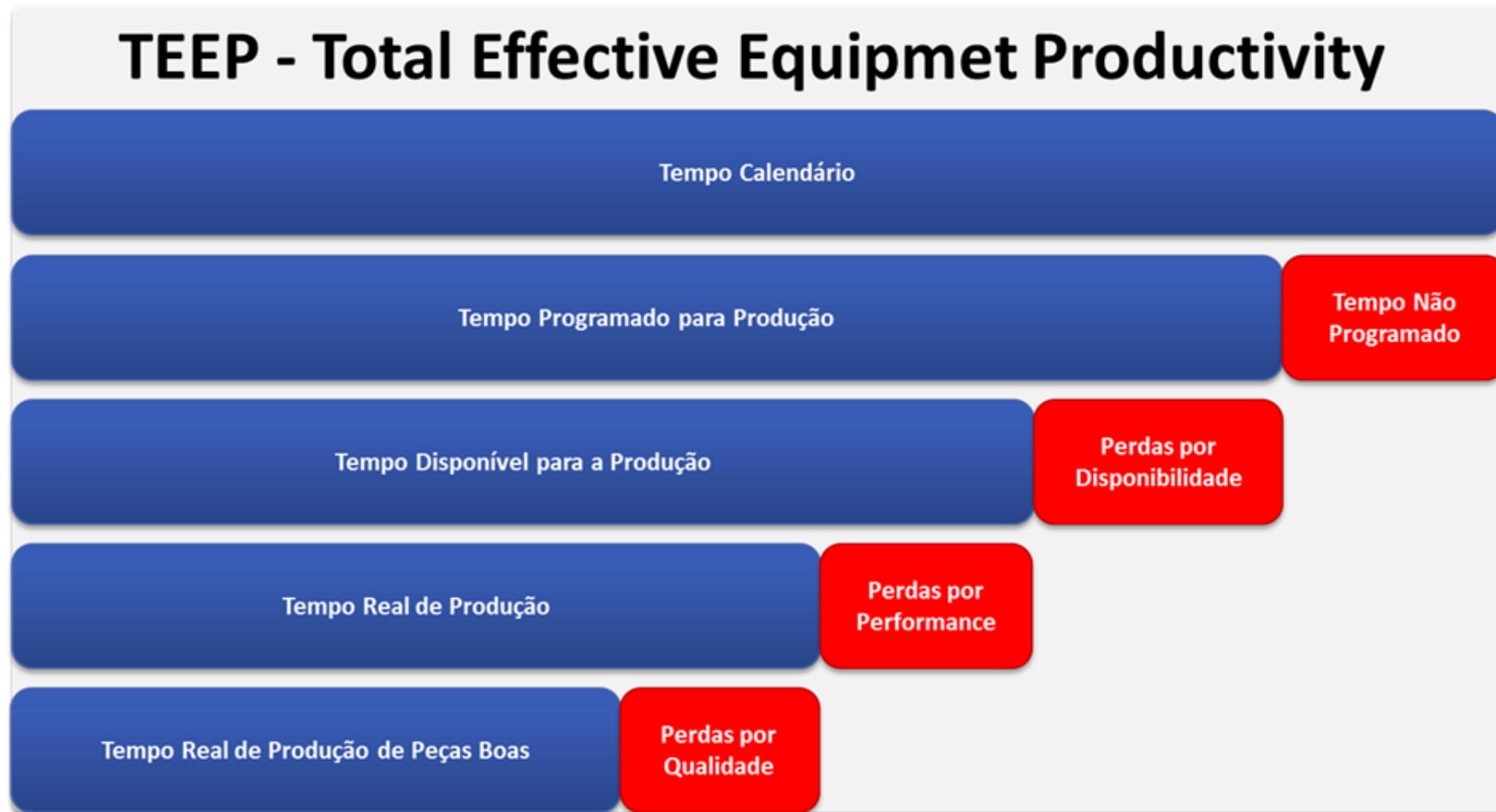
GMAP UNISINOS - Grupo de Pesquisa em Modelage...

<https://youtu.be/qlteBTra1sA?list=PLgXXv1Y63Bs xu5pgNM2C0ZkJaba57gkeo>

# Gestão da Manutenção com o OEE

- O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), também conhecido como IROG (Índice de Rendimento Operacional Global), é um índice que mede a eficiência da operação.
- O índice varia de 0% a 100%.
- Pontos Positivos: Não se restringe à disponibilidade, mas também identifica problemas de *performance* e *qualidade*.

# Tempos do TEEP



# Tempos do OEE

## OEE – Overall Equipment Effectiveness

Tempo Programado para Produção

Tempo Disponível para a Produção

Perdas por  
Disponibilidade

Tempo Real de Produção

Perdas por  
Performance

Tempo Real de Produção de Peças Boas

Perdas por  
Qualidade

# OEE - Calculando

Variável	Significado	Como Calcular	Exemplo
$Q_i$	Número de Peças Boas Produzidas	É a Quantidade de peças boas produzidas de um determinado item i	30 Peças Boas do item A 10 Peças Boas do Item B
$QN_i$	Número de Peças Ruins Produzidas	É o número de peças processadas de um item i não conformes	5 Peças Ruins do Item A
$Tp_i$	Tempo de Ciclo	É o Tempo, em minutos, necessário para produzir uma Peça do item i	Item A – 3 minutos / peça Item B – 10 minutos / peça
$Tp_i * Q_i$	Tempo de Agregação de Valor Ideal. Deve ser calculado para cada lote de Produção (ou seja, para cada linha do diário de bordo).	$Tp_i * Q_i$	Para item A: $30 * 3 = 90$ minutos Para item B: $10 * 10 = 100$ minutos

# OEE - Calculando

Variável	Significado	Como Calcular	Exemplo
$Tp_i * QN_i$	Tempo Teórico Perdido em Peças Ruins (deve ser calculado para cada lote de produção em que houve produção de refugo).	$Tp_i * QN_i$	Para item A: $5 * 3 = 15$ minutos Para item B: $0 * 10 = 0$ minutos
$PP$	Tempo de Parada Programada	Trata-se do tempo, em minutos, de uma parada programada	Parada para limpeza: 15 minutos Parada para reunião diária: 10 minutos
$PN$	Tempo de Parada Não Programada	Trata-se do tempo, em minutos, de uma parada não programada.	20 minutos para setup 24 minutos para manutenção corretiva
$\sum TC$	Tempo Calendário	É o tempo total de disponibilidade diária de produção da máquina. Essa informação deve ser definida diariamente.	480 minutos

# OEE - Calculando

Variável	Significado	Como Calcular	Exemplo
$\sum Tp_i * Q_i$	Soma do Tempo de Agregação de Valor Ideal	É a Soma dos Tempos de Agregação de Valor ideal.	90 minutos de agregação de valor 100 minutos de agregação de valor $90 + 100 = 190$ minutos
$\sum Tp_i * QN_i$	Soma do Tempo Teórico Perdido em Peças Ruins	Soma dos Tempos Teóricos perdidos em Peças Ruins.	$15 + 0 = 15$ minutos
$\sum PP$	Soma do Tempo de Paradas Programadas	Soma dos tempos de parada programada $\sum PP$	$15 + 10 = 25$ minutos
$\sum PN$	Soma do Tempo de Paradas Não Programadas	Soma dos tempos de paradas não programadas $\sum PN$	$20 + 24 = 44$ minutos

# OEE - Calculando

Variável	Significado	Como Calcular	Exemplo
$\mu_1$ (DISPONIBILIDADE)	<p>Índice de Disponibilidade.</p> <p>Representa o percentual de tempo de ativação do recurso, em comparação ao tempo disponível para ele.</p>	<p>Se o Recurso é um gargalo:</p> $\frac{\sum TC - \sum PP - \sum PN}{\sum TC}$ <p>Se o recurso não é um gargalo:</p> $\frac{\sum TC - \sum PP - \sum PN}{\sum TC - \sum PP}$	<p>Se o recurso é gargalo:</p> $\mu_1 = \frac{480 - 25 - 44}{480}$ $\mu_1 = \frac{411}{480} = 85,63\%$ <p>Se o recurso não é gargalo:</p> $\mu_1 = \frac{480 - 25 - 44}{480 - 25}$ $\mu_1 = \frac{411}{480} = 90,33\%$

# OEE - Calculando

Variável	Significado	Como Calcular	Exemplo
$\mu_2$ (PERFORMANCE)	<p>Índice de Performance.</p> <p>Representa o percentual de tempo de ativação do recurso que efetivamente agregou valor à peça, considerando seu tempo de ciclo como parâmetro.</p>	$\frac{\sum Tp_i * Q_i + \sum Tp_i * QN_i}{\sum TC - \sum PP - \sum PN}$	$\mu_2 = \frac{190 + 15}{411}$ $\mu_2 = \frac{205}{411} = 49,88\%$
$\mu_3$ (QUALIDADE)	<p>Índice de Qualidade.</p> <p>Representa o percentual de tempo gasto para produzir peças boas em relação ao tempo de produção total.</p>	$\frac{\sum Tp_i * Q_i}{\sum Tp_i * Q_i + \sum Tp_i * QN_i}$	$\mu_3 = \frac{190}{205} = 92,68\%$

# OEE - Calculando

Variável	Significado	Como Calcular	Exemplo
<b>OEE e TEEP</b>	<p>Overall Equipment Effectiveness.</p> <p>Se o Recurso for um gargalo (demanda &gt; capacidade), utilizar o TEEP. Caso contrário, utilizar o OEE.</p>	<p>TEEP – Usa como Base o Tempo Calendário, sem descontar paradas programadas:</p> $TEEP = \frac{\sum Tp_i * Q_i}{\sum TC}$ <p>OEE – Utiliza como base o Tempo calendário menos as paradas programadas:</p> $OEE = \frac{\sum Tp_i * Q_i}{\sum TC - \sum PP}$ <p>O OEE também é igual a</p> $\mu_1 * \mu_2 * \mu_3$	$TEEP = \frac{190}{480} = 39,58\%$ $OEE = \frac{190}{480 - 25} = 41,76\%$

# “Se é parte do processo, tire do denominador”

- Sintomas comuns:
- Encontra-se um índice de eficiência próximo a 98 %...
- O processo é “quase perfeito”...
- Paradas como **Setup** são consideradas como paradas programadas e são descontadas do denominador de disponibilidade.

# “Se não é minha responsabilidade, tire do denominador”

- Sintomas comuns:
- Encontra-se um índice de eficiência próximo a 98 %...
- O processo é “quase perfeito”...
- Paradas geradas por agentes externos (falta de luz, atrasos do fornecedor) são retiradas do denominador.

# OEE – Exemplo de Indicadores

## DIÁRIO DE BORDO COM CAMPOS CALCULADOS [DIARIODEBORDO]

PLANILHA DE INPUT DE DADOS DA OPERAÇÃO PARA CALCULO DO OEE													
Dados Obrigatórios		Dados para Paradas			Dados para Produção			Recurso	Prensa 02				
Data	Turno	Hora Inicial	Hora Final	Motivo da Parada	Item	Nº Peças Boas (Qi)	Nº Peças Ruins (QNi)	Observação	Tempo de Ciclo (Tpi)	Prog?	Tpi*Qi	Tpi*QNi	Tempo Parada (TPA)
23/02/2015	1	07:30	08:15	ST					0	N	-	-	45
23/02/2015	1				ABC	200	13		1	-	200	13	-
24/02/2015	1	07:30	07:48	FOP					0	N	-	-	18
24/02/2015	1	07:48	08:20	ST					0	N	-	-	32
24/02/2015	1				XYZ	123	10		2,5	-	307,5	25	-
24/02/2015	1	16:00	17:00	ST					0	N	-	-	60
25/02/2015	1				ABC	323	40		1	-	323	40	-
26/02/2015	1				ABC	320	50		1	-	320	50	-
27/02/2015	1	08:00	09:00	ST					0	N	-	-	60
27/02/2015	1	09:00	09:15	SEV					0	S	-	-	15
27/02/2015	1				ABC	340	24		1	-	340	24	-

# OEE – Exemplo de Indicadores

PLANILHA DE CÁLCULO DIÁRIO DO OEE

PLANILHA DE CÁLCULO DIÁRIO DO OEE												
Operação / Recurso:			PR-02 - PRENSA 02				Dia Inicial		22/02/2015	Recurso Gargalo?		NÃO
Data	Semana	Mês	Dia da Semana	Tempo Calend. (TC)	$\Sigma PP$ (Paradas Prog.)	$\Sigma PN$ (Paradas N Prog)	$\Sigma TQN$	$\Sigma Tpi^*Qi$	$\mu g$	$\mu 1(DISP)$	$\mu 2(PERF)$	$\mu 3(QUAL)$
22/02/2015	9	Fev/2015	Domingo		0	0	0	0				
23/02/2015	9	Fev/2015	Segunda-Feira	480	0	45	13	200	41,67%	90,63%	48,97%	93,90%
24/02/2015	9	Fev/2015	Terça-Feira	480	0	110	25	307,5	64,06%	77,08%	89,86%	92,48%
25/02/2015	9	Fev/2015	Quarta-Feira	480	0	0	40	323	67,29%	100,00%	75,63%	88,98%
26/02/2015	9	Fev/2015	Quinta-Feira	480	0	0	50	320	66,67%	100,00%	77,08%	86,49%
27/02/2015	9	Fev/2015	Sexta-Feira	480	15	60	24	340	73,12%	87,10%	89,88%	93,41%

PLANILHA DE CÁLCULO MENSAL DO OEE

PLANILHA DE CÁLCULO MENSAL DO OEE												
Operação / Recurso:			PR-02 - PRENSA 02				Dia Inicial		01/02/2015	Recurso Gargalo?		NÃO
Data Inicial	Data Final	Mês	Tempo Calend. (TC)	$\Sigma Tpi^*Qi$	$\Sigma TQN$	$\Sigma PP$ (Paradas Prog.)	$\Sigma PN$ (Paradas N Prog)	$\mu g$	$\mu 1(DISP)$	$\mu 2(PERF)$	$\mu 3(QUAL)$	
01/02/2015	28/02/2015	Fev	2400	1490,5	152	15	215	62,49%	90,99%	75,69%	90,75%	

# OEE – Exemplo de Indicadores

PLANILHA DE CÁLCULO DIÁRIO DO OEE

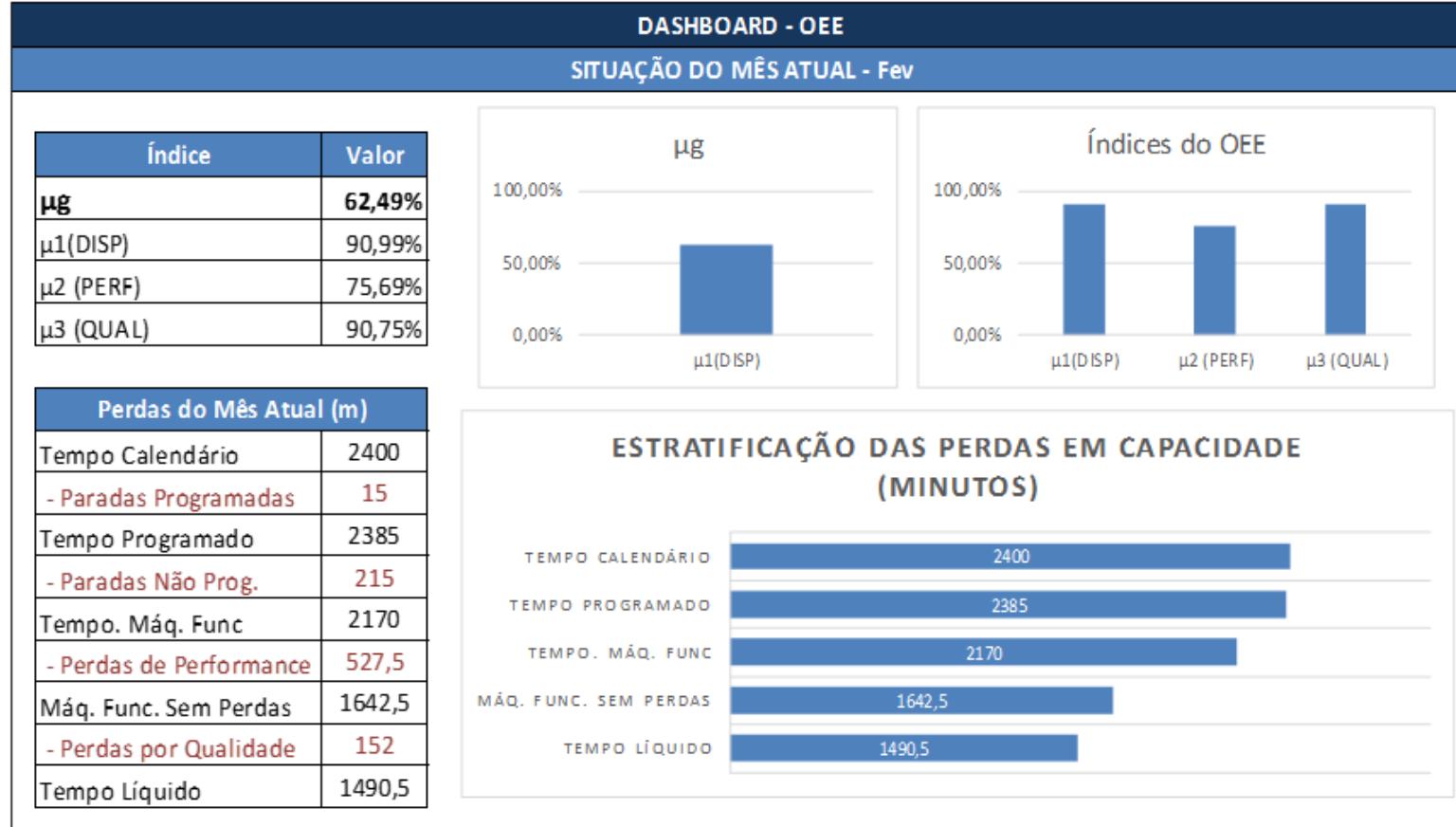
Operação / Recurso:			PR-02 - PRENSA 02				Dia Inicial		22/02/2015	Recurso Gargalo?	NÃO	
Data	Semana	Mês	Dia da Semana	Tempo Calend. (TC)	$\Sigma PP$ (Paradas Prog.)	$\Sigma PN$ (Paradas N Prog)	$\Sigma TQN$	$\Sigma Tpi * Qi$	$\mu g$	$\mu 1(DISP)$	$\mu 2 (PERF)$	$\mu 3 (QUAL)$
22/02/2015	9	Fev/2015	Domingo		0	0	0	0				
23/02/2015	9	Fev/2015	Segunda-Feira	480	0	45	13	200	41,67%	90,63%	48,97%	93,90%
24/02/2015	9	Fev/2015	Terça-Feira	480	0	110	25	307,5	64,06%	77,08%	89,86%	92,48%
25/02/2015	9	Fev/2015	Quarta-Feira	480	0	0	40	323	67,29%	100,00%	75,63%	88,98%
26/02/2015	9	Fev/2015	Quinta-Feira	480	0	0	50	320	66,67%	100,00%	77,08%	86,49%
27/02/2015	9	Fev/2015	Sexta-Feira	480	15	60	24	340	73,12%	87,10%	89,88%	93,41%

PLANILHA DE CÁLCULO MENSAL DO OEE

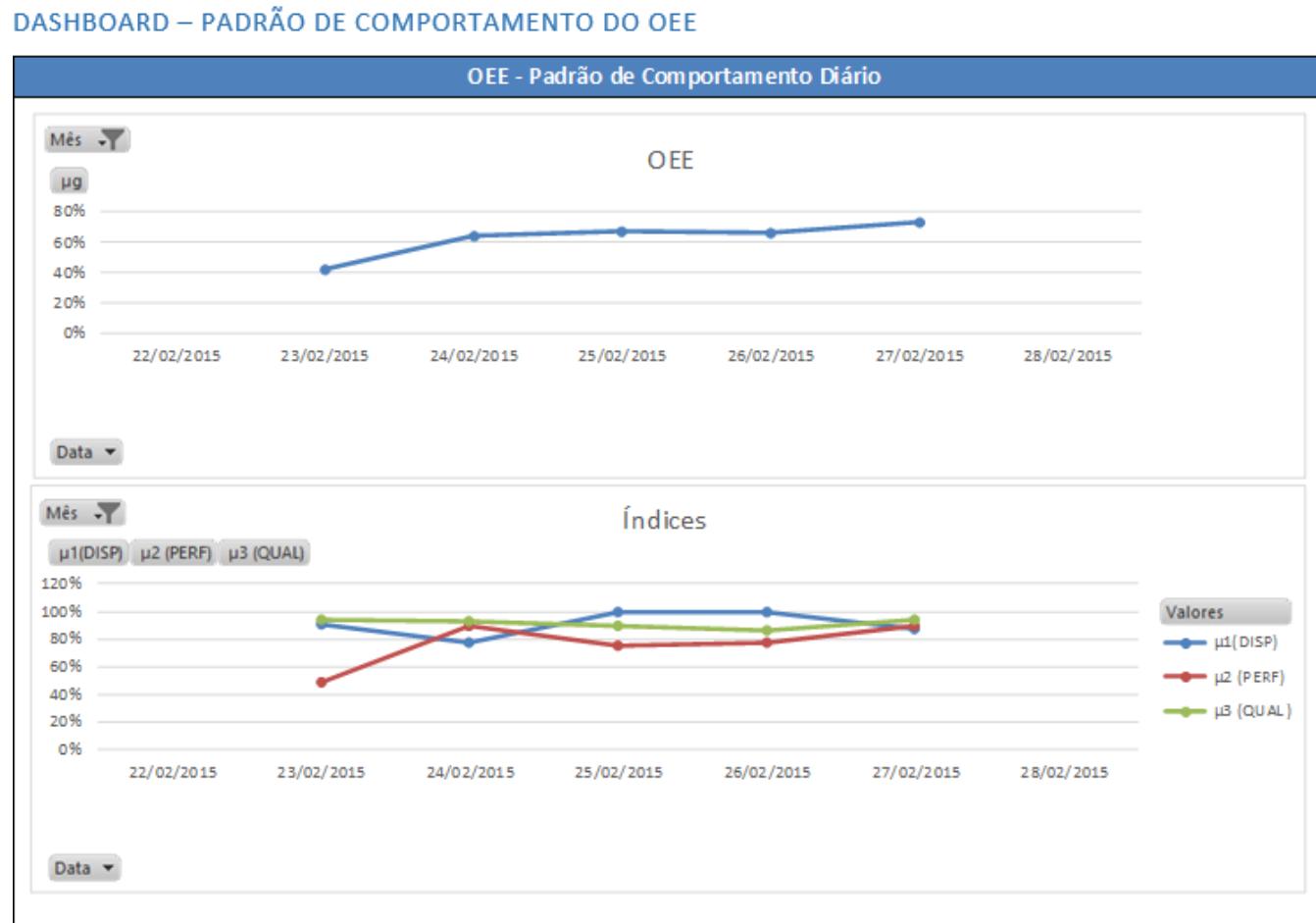
PLANILHA DE CÁLCULO MENSAL DO OEE												
Operação / Recurso:			PR-02 - PRENSA 02				Dia Inicial		01/02/2015		Recurso Gargalo?	NÃO
Data Inicial	Data Final	Mês	Tempo Calend. (TC)	$\Sigma Tpi * Qi$	$\Sigma TQN$	$\Sigma PP$ (Paradas Prog.)	$\Sigma PN$ (Paradas N Prog)	$\mu g$	$\mu 1(DISP)$	$\mu 2 (PERF)$	$\mu 3 (QUAL)$	
01/02/2015	28/02/2015	Fev	2400	1490,5	152	15	215	62,49%	90,99%	75,69%	90,75%	

# OEE – Exemplo de Indicadores

DASHBOARD DE ANÁLISE DO OEE [DASHBOARD]

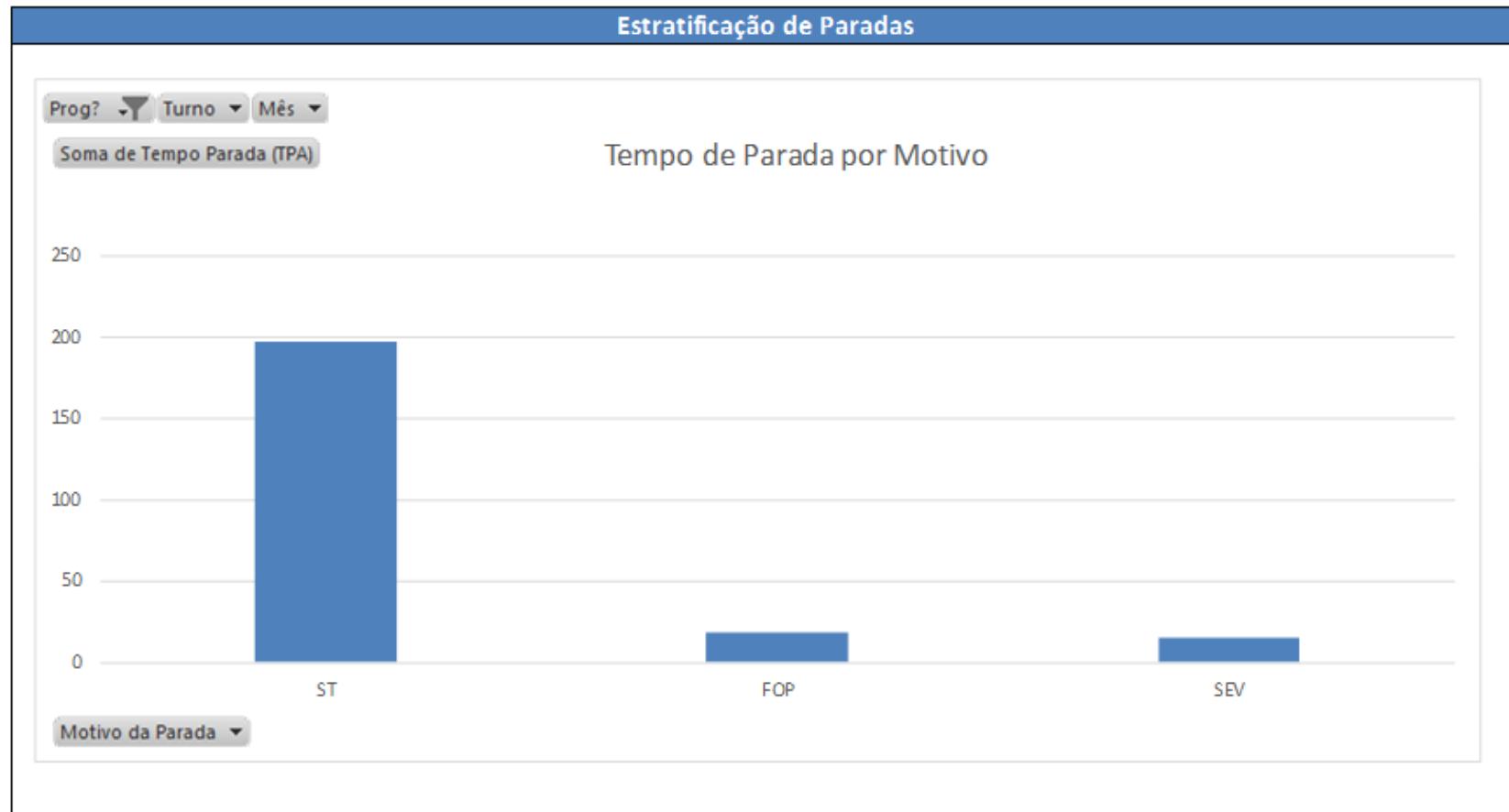


# OEE – Exemplo de Indicadores



# OEE – Exemplo de Indicadores

## DASHBOARD – ESTRATIFICAÇÃO DE PARADAS



# O que é Manutenção:

- “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.” (ABNT NBR 5462, 1994)

# Defeito

- Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.
  - Os requisitos podem, ou não, ser expressos na forma de uma especificação.
  - Um defeito pode, ou não, afetar a capacidade de um item em desempenhar uma função requerida.

(ABNT NBR 5462, 1994)

# Pane

- Estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos.

(ABNT NBR 5462, 1994)

# Falha

- Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.
  - Depois da falha, o item tem uma pane.
  - A “falha” é um evento; diferente de “pane” que é um estado.

(ABNT NBR 5462, 1994)

# **DISPONIBILIDADE, CONFIABILIDADE E MANTENABILIDADE**

# Disponibilidade

- Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantinabilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

(ABNT NBR 5462, 1994)

# O que é Disponibilidade?

Disponibilidade =

Melhoria da  
Confiabilidade

Redução das  
Necessidades de  
Manutenção

Investigação do  
Equipamento

Melhoria da  
Mantenabilidade

Realização Eficiente do  
Trabalho de  
Manutenção

Investigação do Trabalho  
e Equipamento

E

# Disponibilidade, Confiabilidade e Mantenabilidade

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- Onde:
  - $A_i$ = Disponibilidade “Inerente” (NASA 2008, p. 14-4)
  - $MTBF$ = Tempo Médio entre Falhas;
  - $MTTR$  = Tempo Médio de Reparo;

(NASA 2008, p. 14-4)

# Confiabilidade

- Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

(ABNT NBR 5462, 1994)

# MTBF = Indicador de Confiabilidade Tempo Médio entre Falhas

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{n \text{ Falhas}}$$

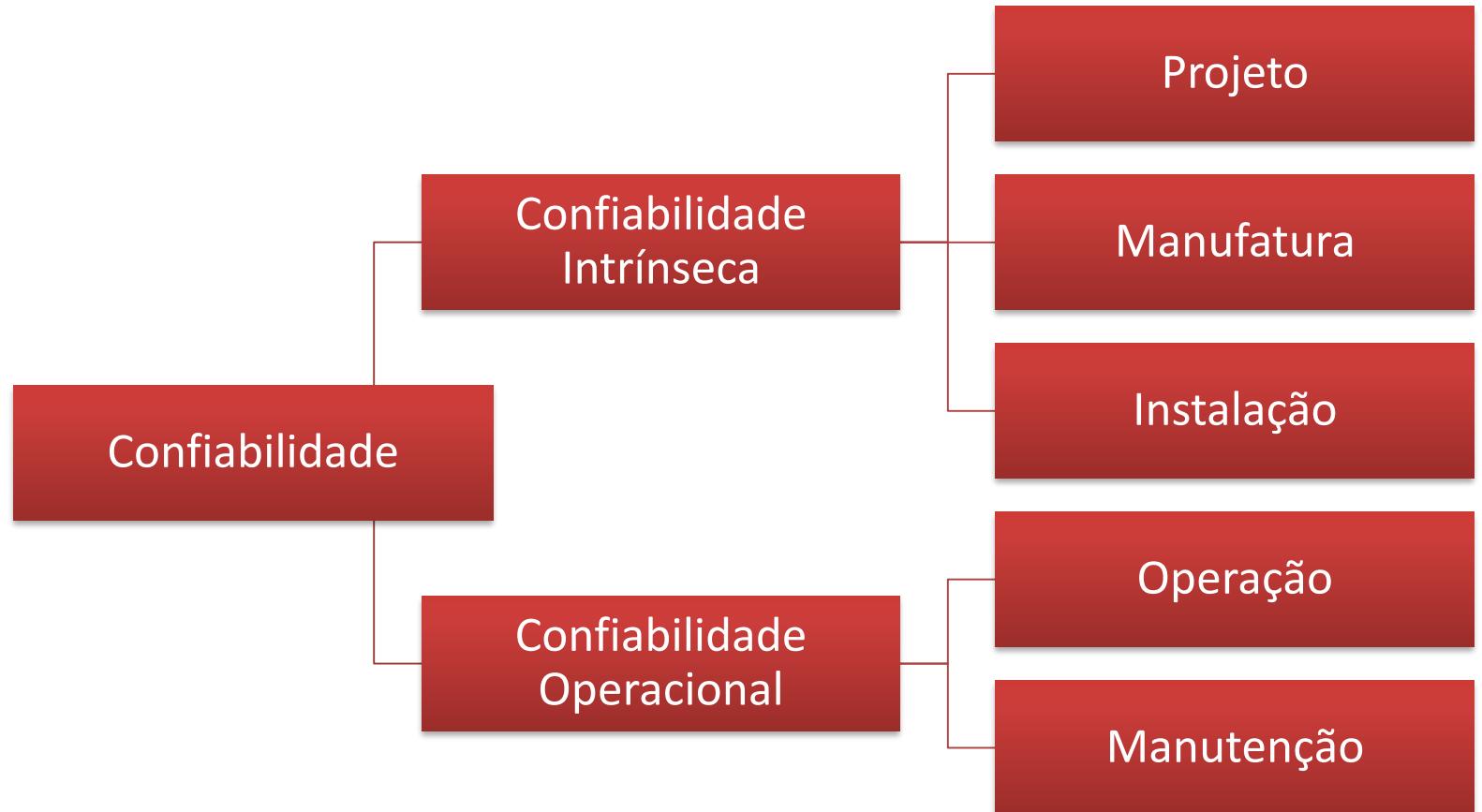
- Onde:
- TBF: Tempo Entre Falhas (Time Between Failures)
  - \* Para componentes Reparáveis (ex. Motor).

# MTTF = Indicador de Confiabilidade Tempo Médio até a Falha

$$MTTF = \frac{\sum TTF}{n \text{ Falhas}}$$

- Onde:
- TTF: Tempo até a Falha (Time to Failure)
- \* Para componentes Não-Reparáveis (ex. Lâmpada).

# O que Reduz a Confiabilidade dos Equipamentos?



(NAKAJIMA, 1989)

# Mantenabilidade

- Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

(ABNT NBR 5462, 1994)

# MTTR – Indicador de Mantenabilidade

## Tempo Médio para Reparo

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n \text{ Falhas}}$$

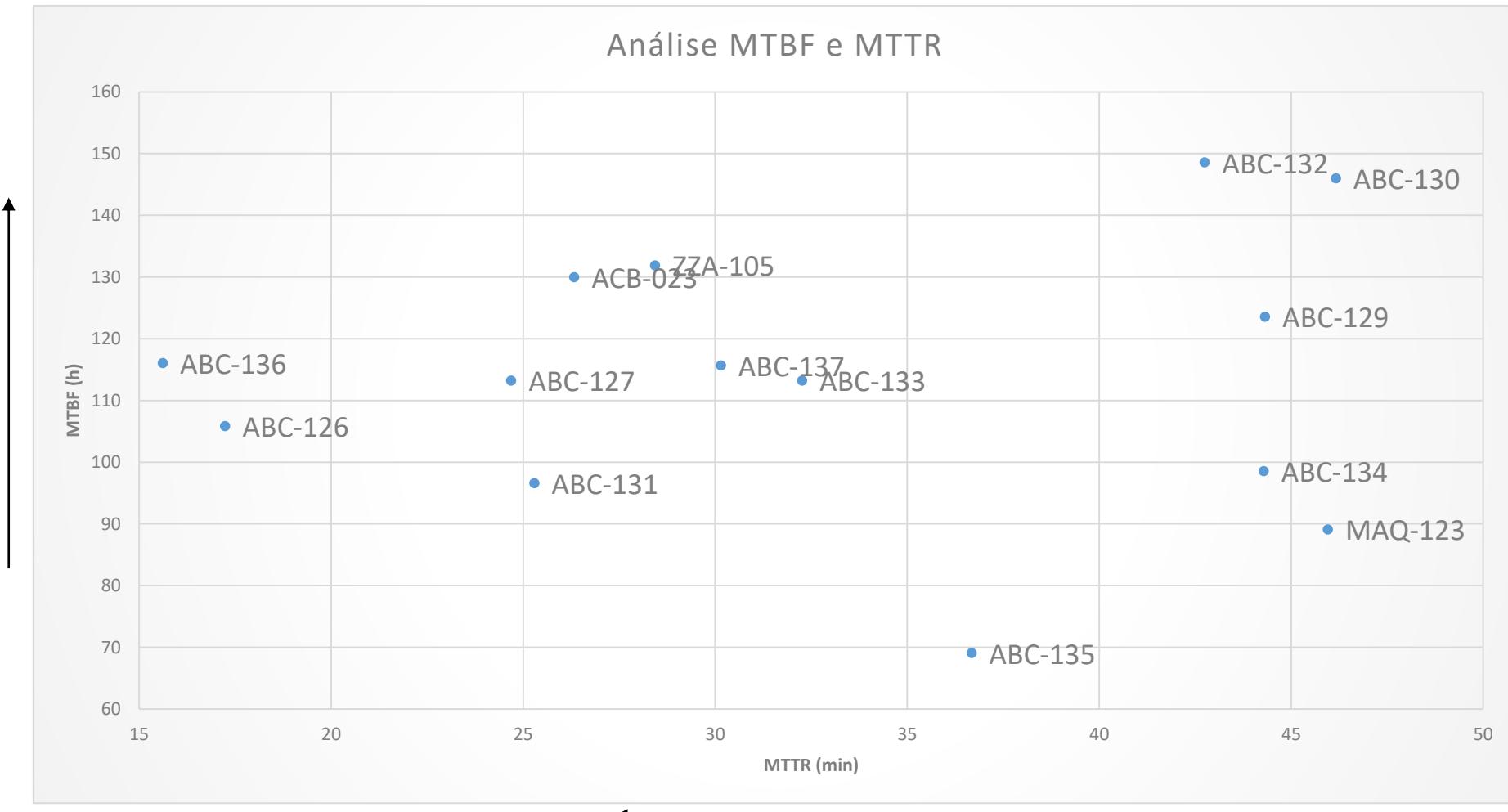
- Onde:
- TTR: Tempo para Reparo (Time to Repair)

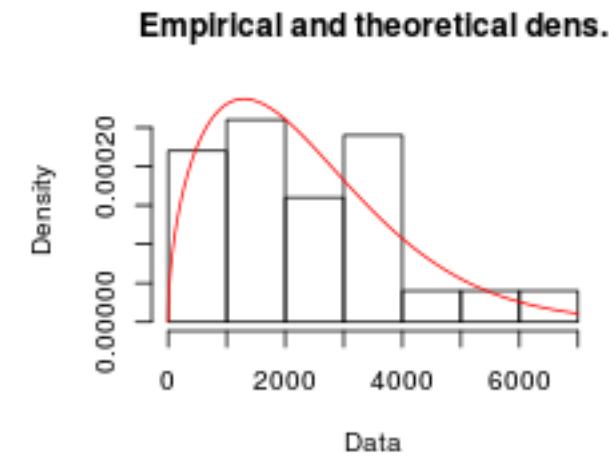
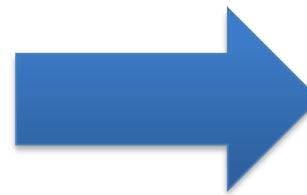
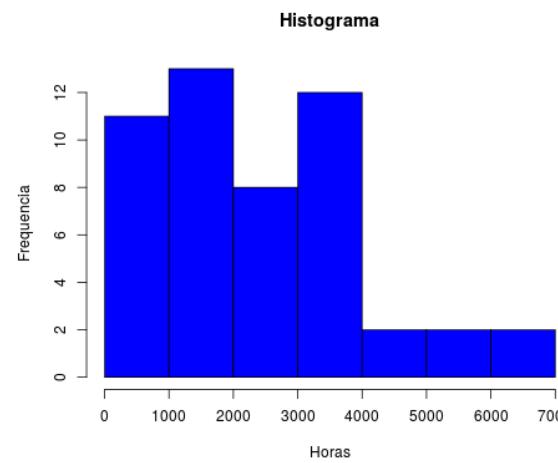
# Matriz de Mantenabilidade e Confiabilidade



(NASA 2008, p. 14-7)

# Matriz de Mantenabilidade e Confiabilidade





# INTRODUÇÃO À CONFIABILIDADE QUANTITATIVA

# Introdução à Confiabilidade Quantitativa

- Questões que ajuda a responder:
  - Como saber quais componentes são mais confiáveis?
  - Qual deve ser a periodicidade da manutenção preventiva?
  - O quanto confiável é um sistema após “x” horas de operação?
  - Como o Equipamento se posiciona na curva da Banheira?
  - Vale a pena realizar preventiva, considerando os custos da manutenção corretiva?

# Procedimento Geral

- Coletar dados de Tempo entre Falhas (ou tempo até a falha);
- Ajustar os dados à uma distribuição estatística para inferência;
- Realizar inferências (Ex.: Qual será a confiabilidade após 1000 horas de operação).

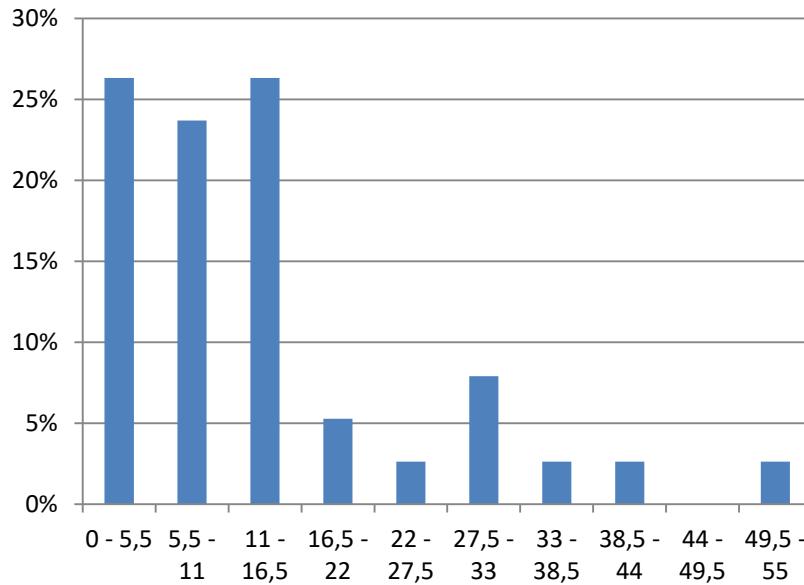
# Analizando Dados de Falha (Ainda sem distribuições)

TTFS
0,2
0,4
0,7
1,6
2,3
2,6
3
3,2
3,7
5
7,1
7,4
8,2
8,2
8,4
9,2
...

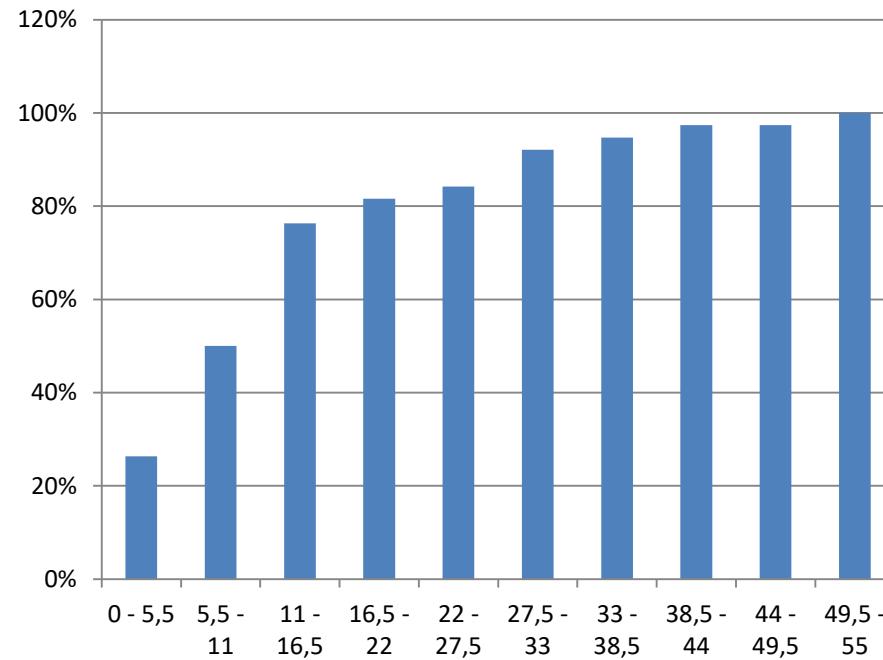
Tempo	Quant. Fal.	Distribuição de Falhas $f(t)$	Quant. Acum. Falhas $R(t)$	Distribuição Acumulada de Falhas $F(t)$	Confiabilidade $R(t) = 1 - F(t)$
0 - 5,5	10	26%	10	26%	74%
5,5 - 11	9	24%	19	50%	50%
11 - 16,5	10	26%	29	76%	24%
16,5 - 22	2	5%	31	82%	18%
22 - 27,5	1	3%	32	84%	16%
27,5 - 33	3	8%	35	92%	8%
33 - 38,5	1	3%	36	95%	5%
38,5 - 44	1	3%	37	97%	3%
44 - 49,5	0	0%	37	97%	3%
49,5 - 55	1	3%	38	100%	0%

# Analizando Dados de Falha (Ainda sem distribuições)

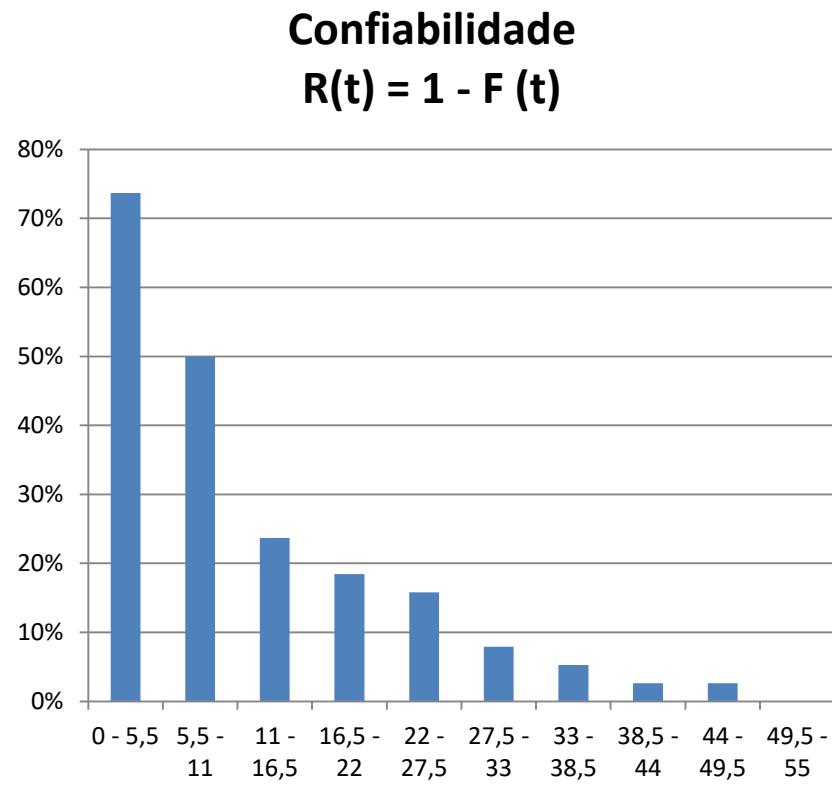
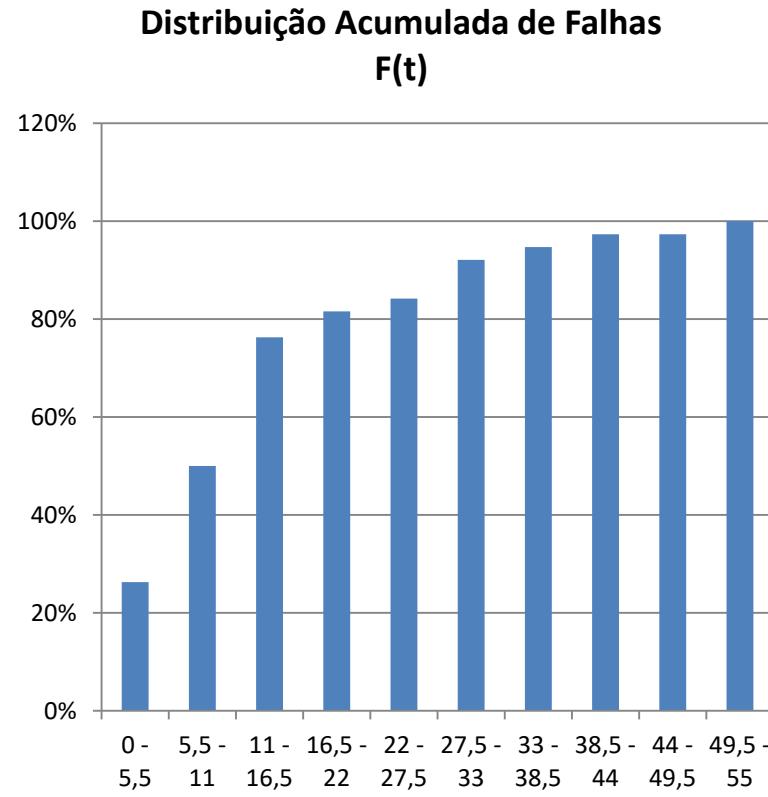
Distribuição de Falhas  
 $f(t)$



Distribuição Acumulada de Falhas  
 $F(t)$

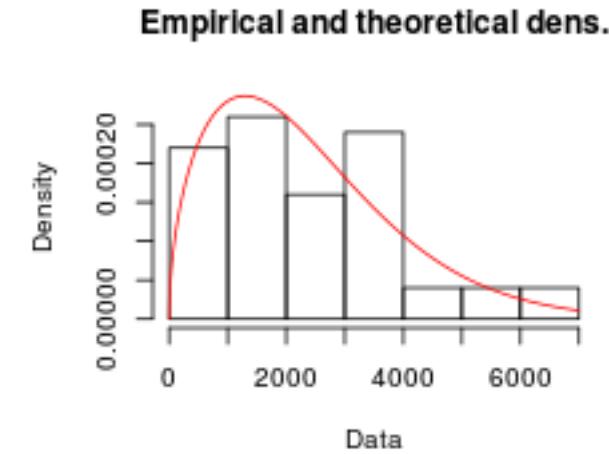
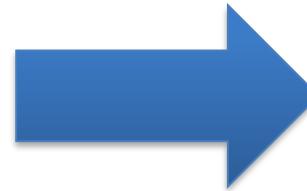
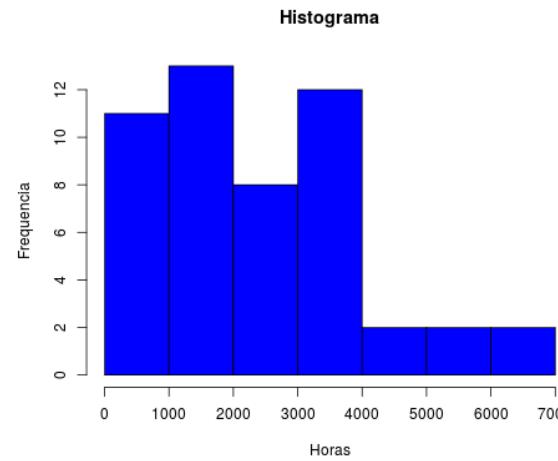


# Analizando Dados de Falha (Ainda sem distribuições)



# Ajustando dados à uma Distribuição

- Distribuições de Probabilidade estatísticas podem ser usadas para “ajustar” uma função aos nossos dados. (Com frequência, usamos a dist. Weibull) :



# Sobre a Distribuição Weibull

- Criada por W. Weibull, quando estudava tempos de falha devido à fadiga de metais;
- Útil para manutenção pois tem capacidade de modelar diferentes tipos de comportamento de falha.

**f(t) - Densidade**

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha^\beta} t^{\beta-1} \exp\left[-\frac{t^\beta}{\alpha}\right]$$

Uma vez que temos uma distribuição estatística, podemos realizar inferências

- Ex: Qual é a confiabilidade estimada de um equipamento após “x” tempo de operação?

Para este tempo...

64

A confiabilidade do equipamento sera de

99.6486

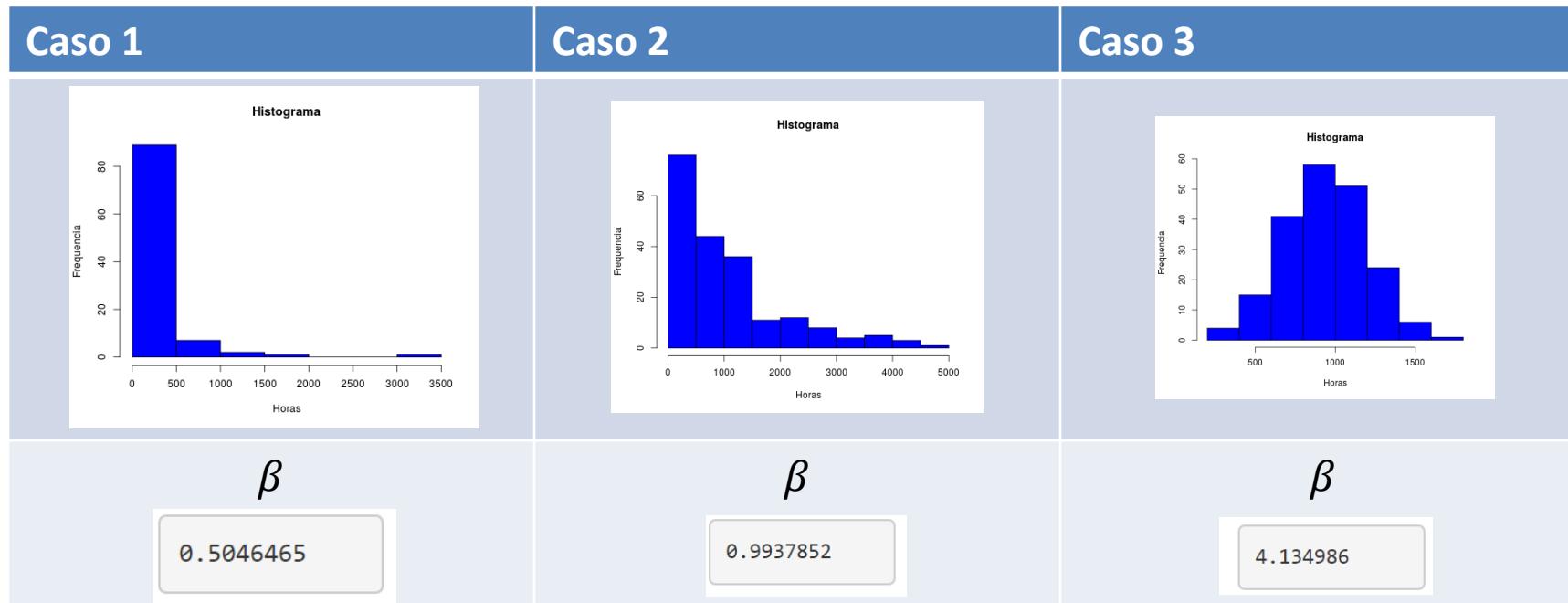
# Distribuição Weibull

## Interpretação do Beta ( $\beta$ )

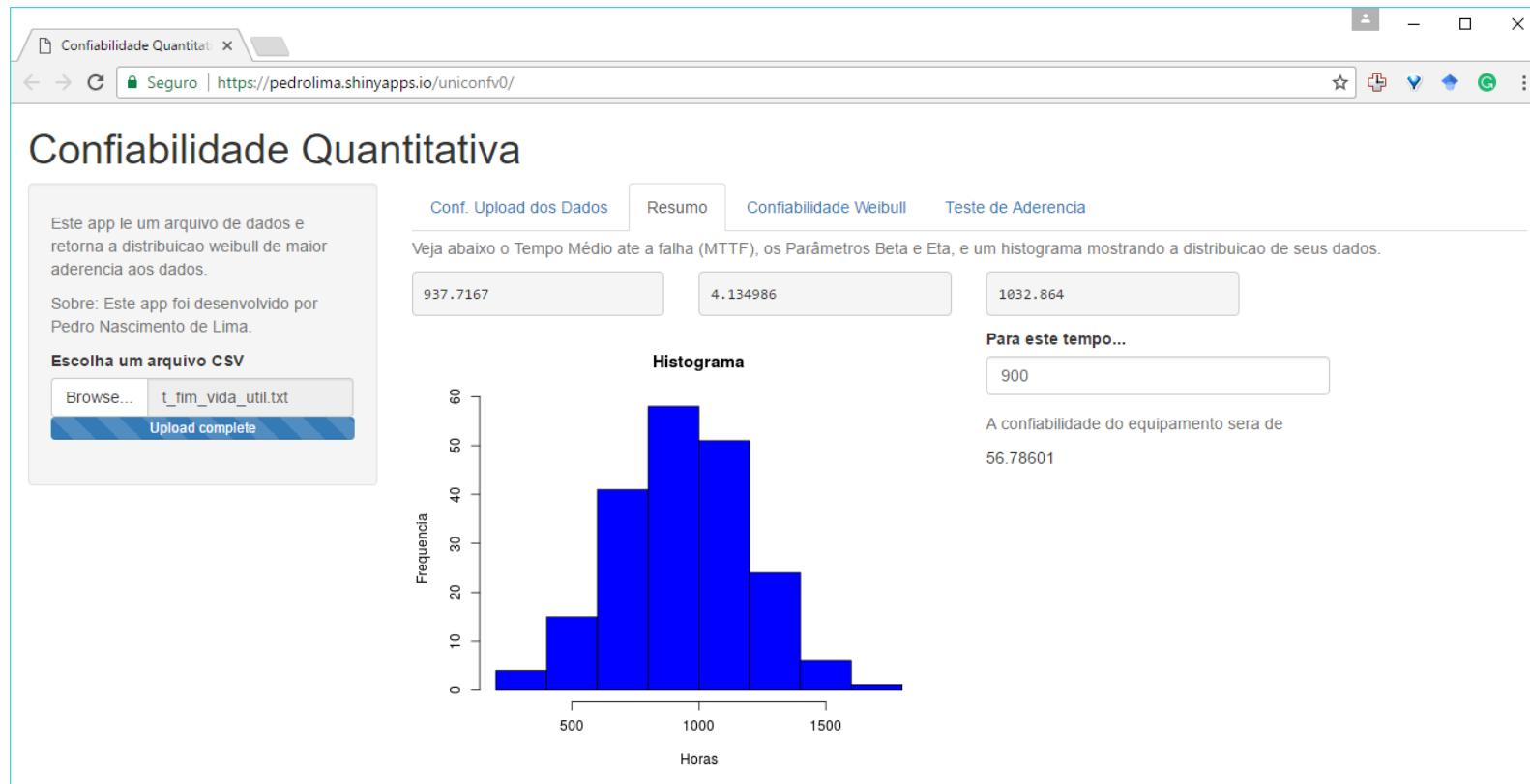
- $\beta < 1$  = A Taxa de Falha diminui com o tempo (mortalidade infantil);
- $\beta \sim 1$  = A Taxa de Falha é aproximadamente constante (trocas periódicas fazem pouco sentido, ou as falhas são provocadas por causas aleatórias);
- $\beta > 1$  = A taxa de Falha aumenta com o tempo (causas provavelmente serão fenômenos físico-químicos relacionados a desgaste);

# Interpretação dos Resultados

- Em que Caso a Preventiva DEVE ser escolhida?
- Em que Caso a Preventiva NÃO deve ser escolhida?

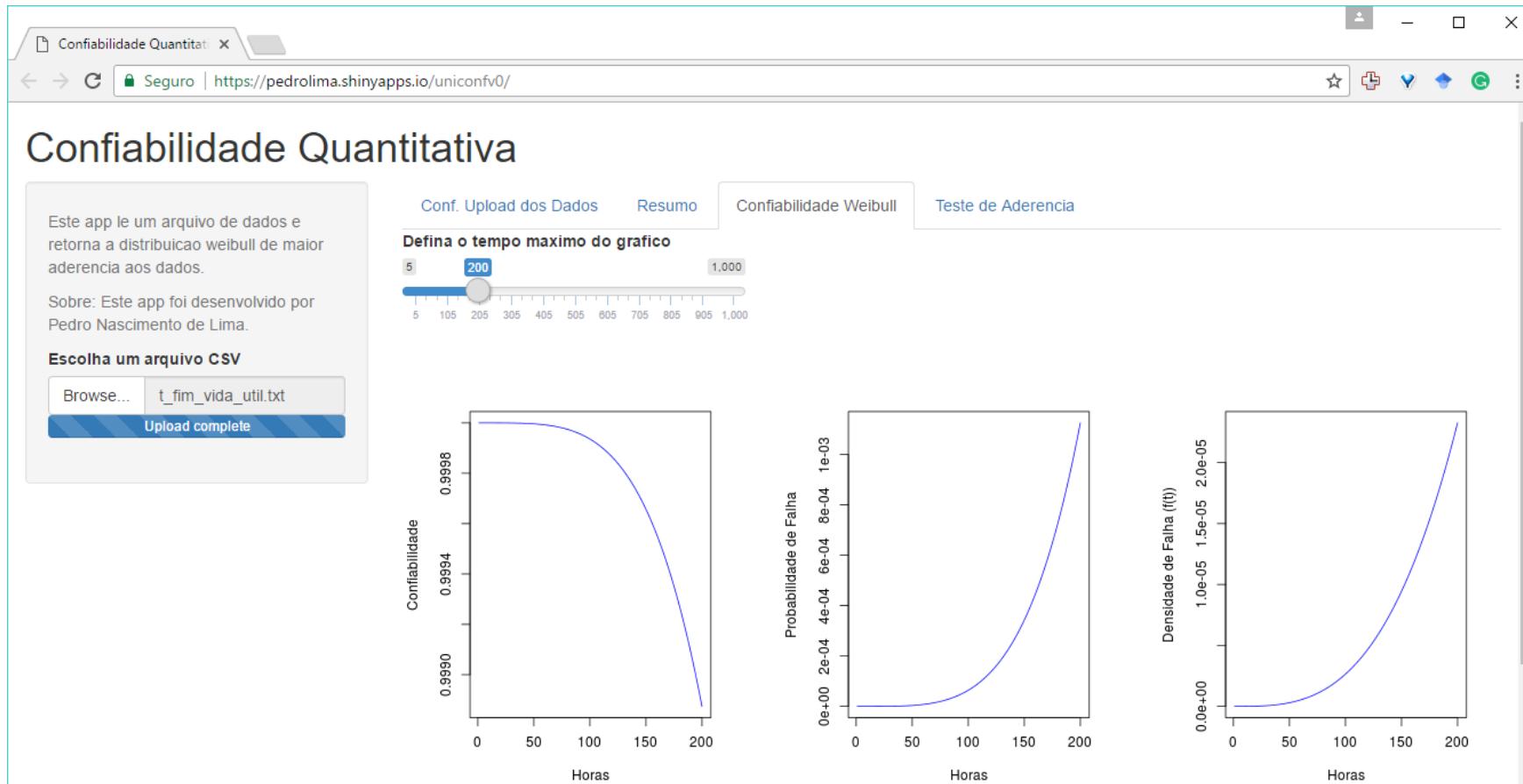


# Confiabilidade Quantitativa - Software



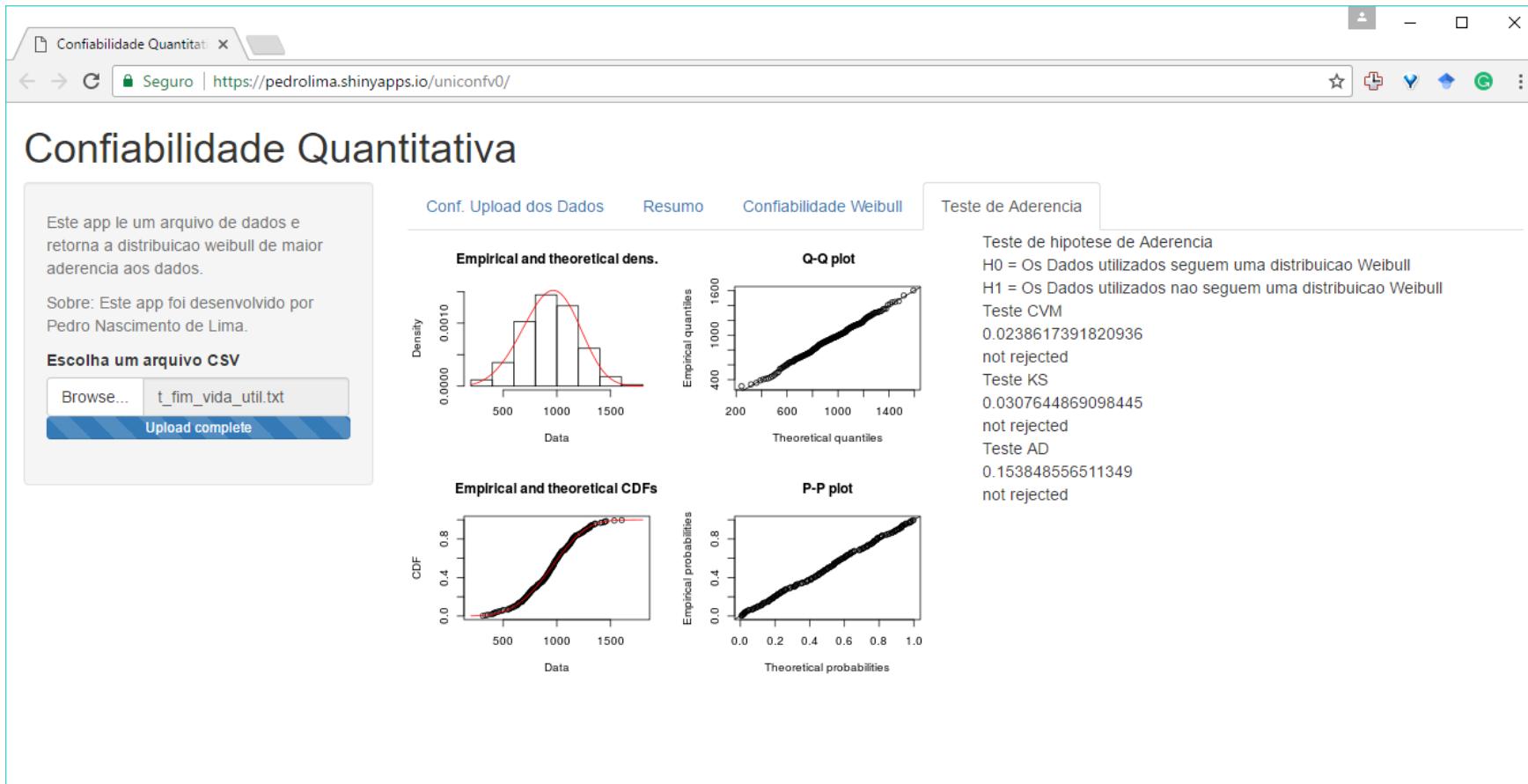
<https://pedrolima.shinyapps.io/uniconfv0/>

# Confiabilidade Quantitativa - Software



<https://pedrolima.shinyapps.io/uniconfv0/>

# Confiabilidade Quantitativa - Software



<https://pedrolima.shinyapps.io/uniconfv0/>

# Confiabilidade Quantitativa - Síntese

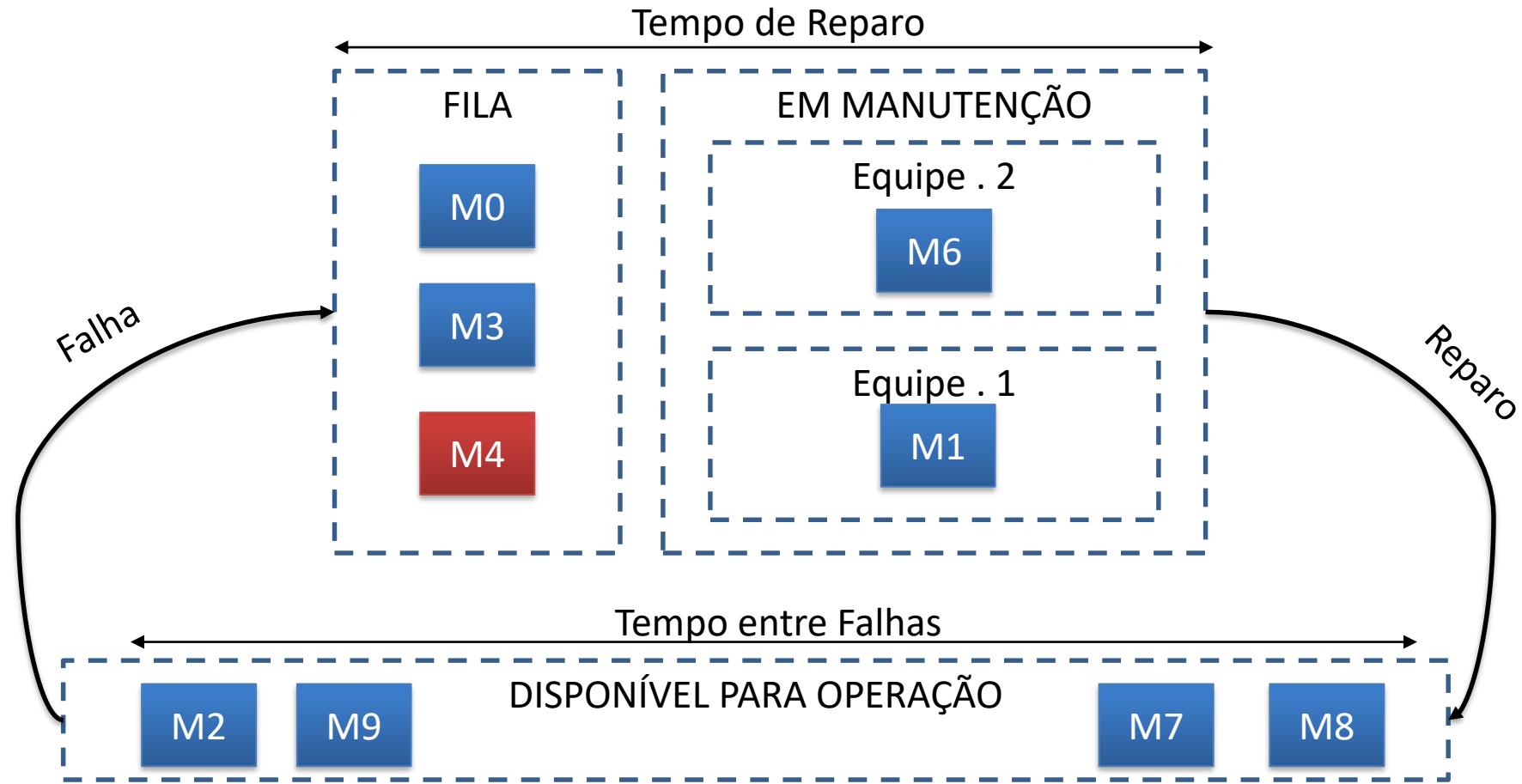
- Suporta a decisão sobre a estratégia de manutenção;
- Pode ser usada para comparar a confiabilidade de componentes de diferentes fabricantes (ex.: que pneu sobrevive mais?);
- Pode ser usada para definir o “intervalo ótimo” de manutenção;
- Também é usada por fabricantes para definição de garantias.

# GESTÃO DA MANUTENÇÃO CORRETIVA

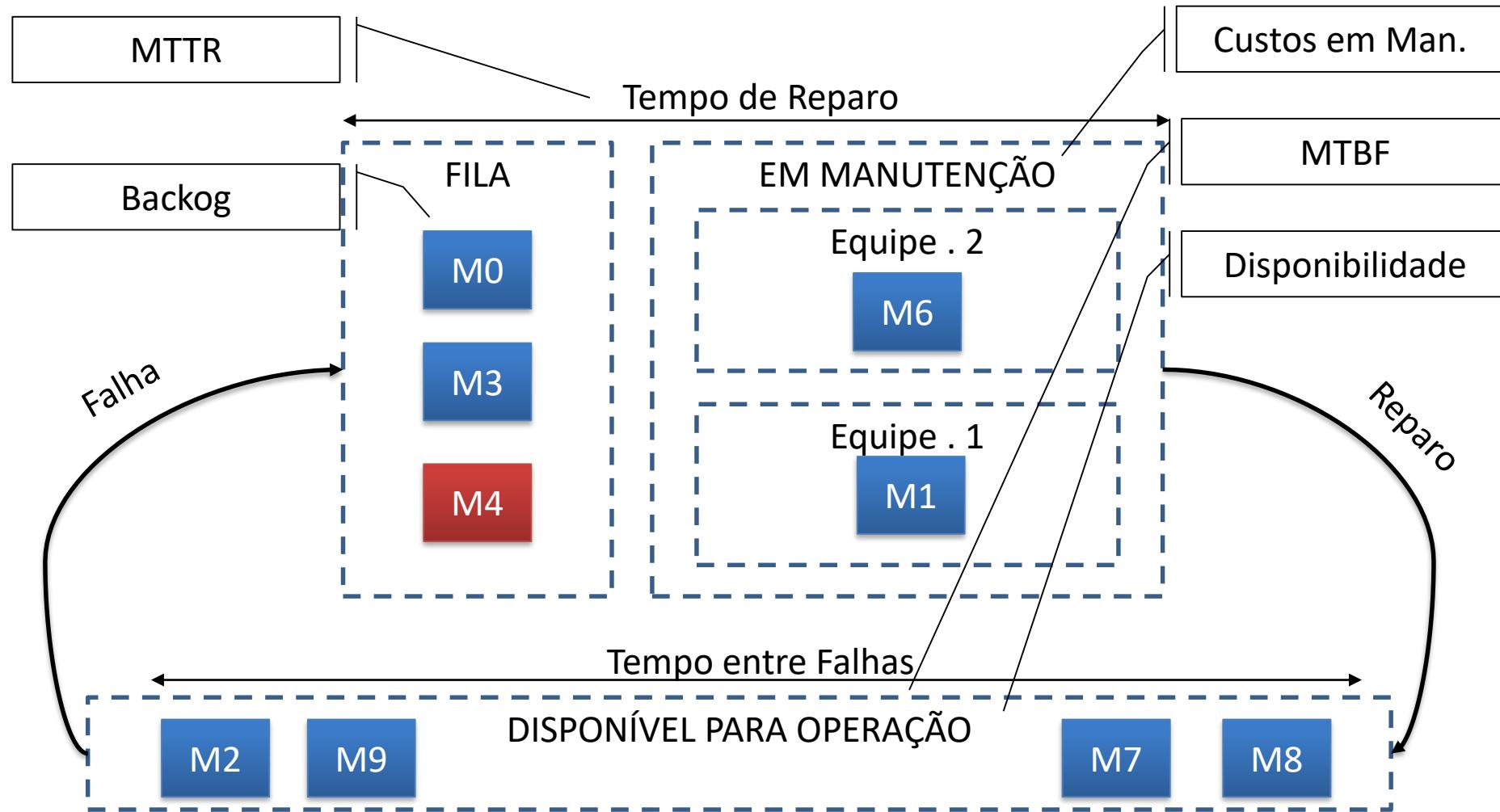
# Manutenção Corretiva / Reativa

- Realizada após a falha do equipamento;
- Pode ser emergencial, ou programada.
- Escolhida quando os custos de troca antecipada são proibitivos, ou consequências são irrelevantes;
- Atividades Necessárias:
  - Processo para Diagnóstico e Tratamento;

# Pensando a partir da Teoria de Filas



# Pensando a partir da Teoria de Filas



# Priorização de Manutenção Corretiva

Priority		Application
Number	Description	
1	Emergency	Safety; mission impact.
2	Urgent	Continuous operation of facility at risk.
3	Priority	Mission support/project deadlines.
4	Routine	Accomplish on “first come, first served” basis.
5	Discretionary	Desirable, but not essential.
6	Deferred	Needed but unable to accomplish until more resources available.

(NASA, 2008, p. 5-2)

# Pensando a partir da Teoria de Filas

- De que variáveis depende a performance deste sistema?
  1. Taxa de Falha;
  2. Número de Ativos;
  3. Tempo de Reparo;
  4. Número de Servidores (equipe);
  5. Disponibilidade dos Servidores;
  6. Regras de Priorização.

# Variáveis para a Gestão da Manutenção

Variável	Medidas para o Gerenciamento
Taxa de Falha (Confiabilidade)	Manutenção Preventiva Engenharia de Manutenção
Tempo de Reparo (Mantenabilidade)	Gerenciamento de Sobressalentes Diagnóstico de Falhas
Número de Ativos	Dimensionamento da Manutenção
Número de Servidores (mantenedores)	Dimensionamento da Manutenção
Disponibilidade dos Servidores	Dimensionamento da Manutenção
Regras de Priorização	Definição das Regras de Priorização de acordo com a necessidade do sistema produtivo.
Disponibilidade	Resultado Final (Ação conjunta nas cinco variáveis acima).

# GESTÃO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA

# Manutenção Preventiva

- Inspeções, Ajustes, limpeza, lubrificação, substituição, calibração, agendados **periodicamente**;
- Intervalos podem ser por tempo, horas de operação, ciclos, etc.;
- É realizada independentemente da condição do equipamento;
- Pressupõe que o reparo “restaura” a condição do equipamento.

# Manutenção Preventiva

- Inspeções, Ajustes, limpeza, lubrificação, substituição, calibração, agendados **periodicamente**;
- Intervalos podem ser por tempo, horas de operação, ciclos, etc.;
- É realizada independentemente da condição do equipamento;
- Pressupõe que o reparo “restaura” a condição do equipamento.

# Plano de Manutenção Anual

- Identifique os itens a serem tratados, e priorize os itens para a manutenção preventiva;
- Defina o intervalo de manutenção (uso do MTBF como referência);
- Estime as necessidades de material, recursos e mão-de-obra;
- Se necessário, realize um “nivelamento” do plano de manutenção (para evitar picos de atividades).
- Restrições: Cronograma de Produção, mão-de-obra especializada exigida, orçamento da manutenção.

# Manutenção “Oportunista”

- Nem todas as atividades periódicas precisam ser realizadas obrigatoriamente no mesmo cronograma;
- Atividades de Manutenção podem ser separadas para otimizar o tempo de parada por manutenção preventiva.

# Manutenção “Oportunista”

Tipo de Atividade	O que pode ser feito
Atividades que exigem o equipamento parado, e que precisam de <b>muito tempo para realização</b> .	Atividade deve ser realizada de acordo com um cronograma de manutenção preventiva, fora do período de paralização.
Atividades que exigem o equipamento parado, e precisam de <b>pouco tempo para a realização</b> .	Atividade Candidata para “Manutenção Oportunista”.
Atividades de manutenção que podem ser realizadas com o equipamento em funcionamento.	Manutenção pode ser realizada durante o intervalo de produção.

Takahashi e Osada (1993)

# Programação da Manutenção e Programação da Produção

	Calendário da Produção	Calendário da Manutenção
Equipamento em Operação		Manutenção Operacional (Reparos e Inspeções)
	Antes de preparações diárias, após o dia de trabalho.	Manutenção Diária
	Almoços e Troca de Turnos	Manutenção oportunista com cronograma escalonado
Equipamento Parado	Fins de Semana, feriados	Manutenção durante feriados
	Avarias Abruptas	Manutenção “oportunista”
	Preparações e outras Paralisações	
	Paralizações Planejadas	Manutenção Planejada

Takahashi e Osada (1993, p.171)