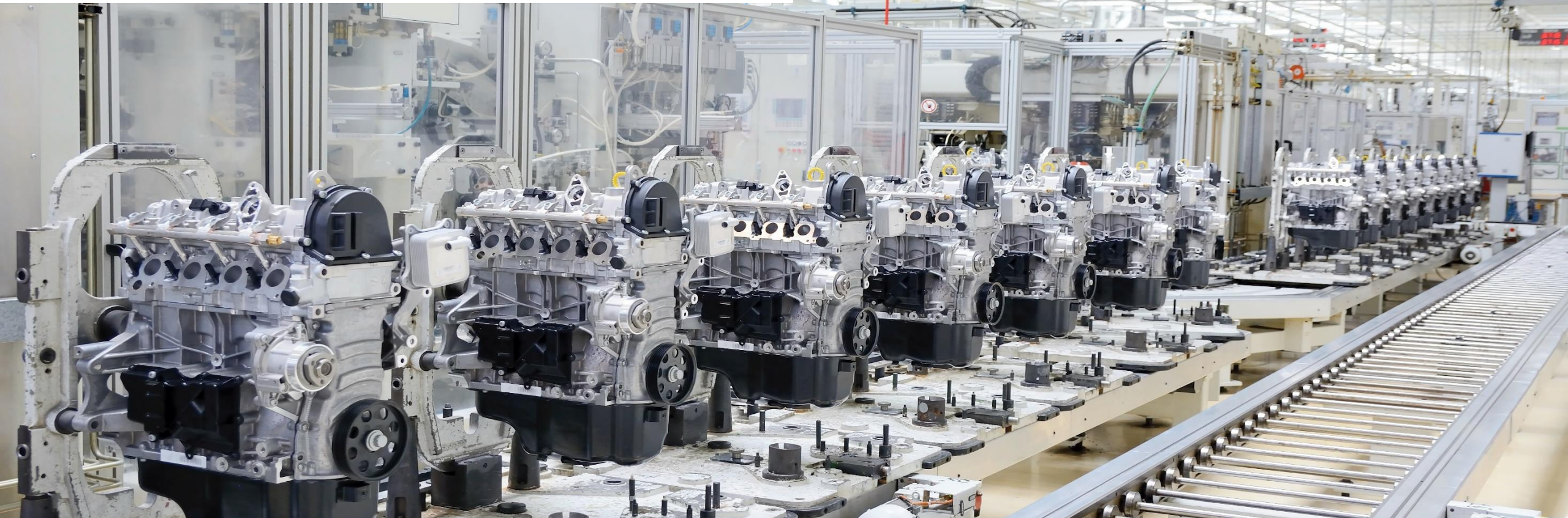


# Planejamento Agregado (Aula 9)



Programação e Controle da Produção

Prof. Daniel de Oliveira Mota  
Dep. Engenharia de Produção

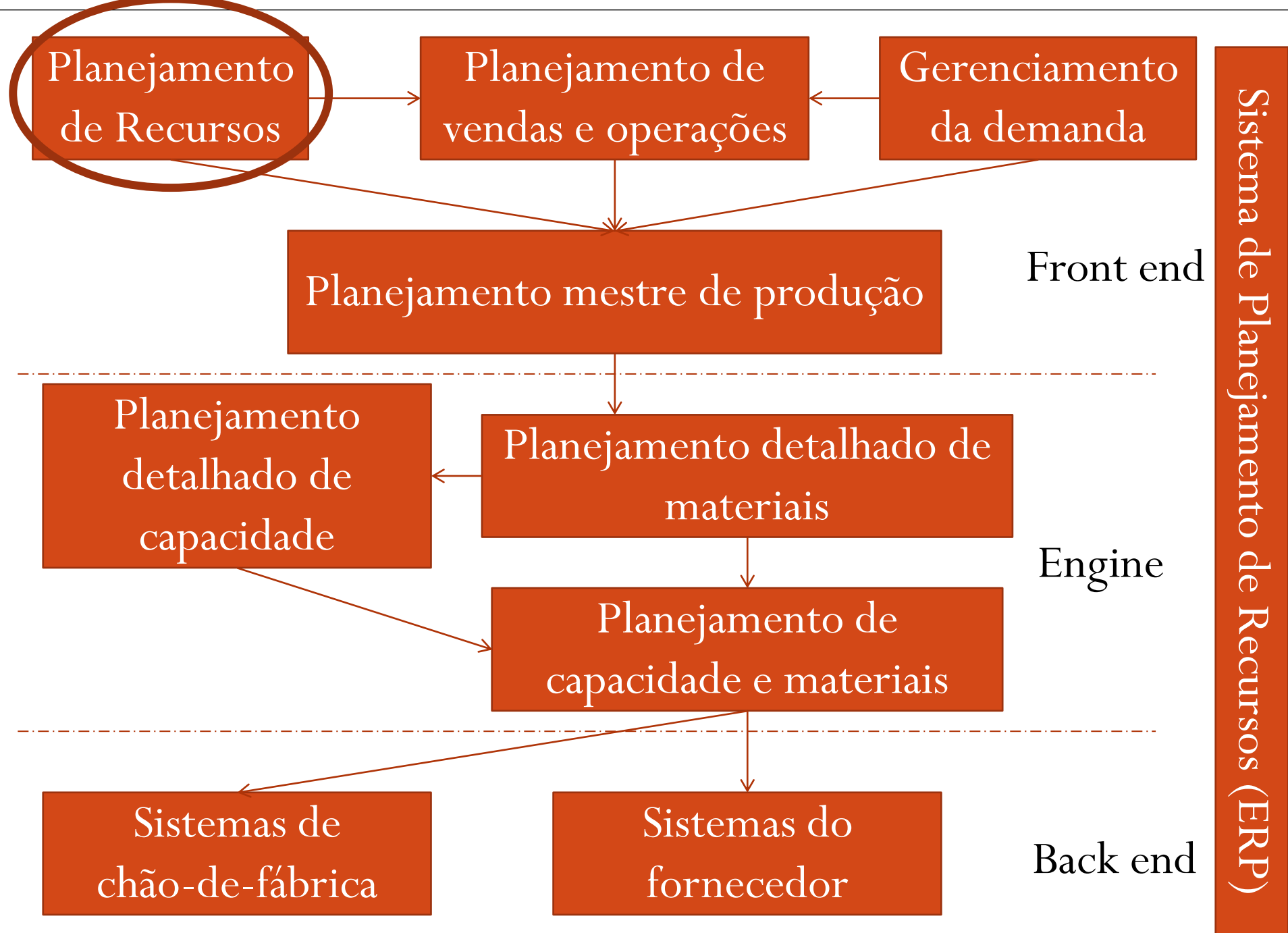


# Agenda

- Planejamento agregado
- Planejamento mestre de produção

# Planejamento Agregado

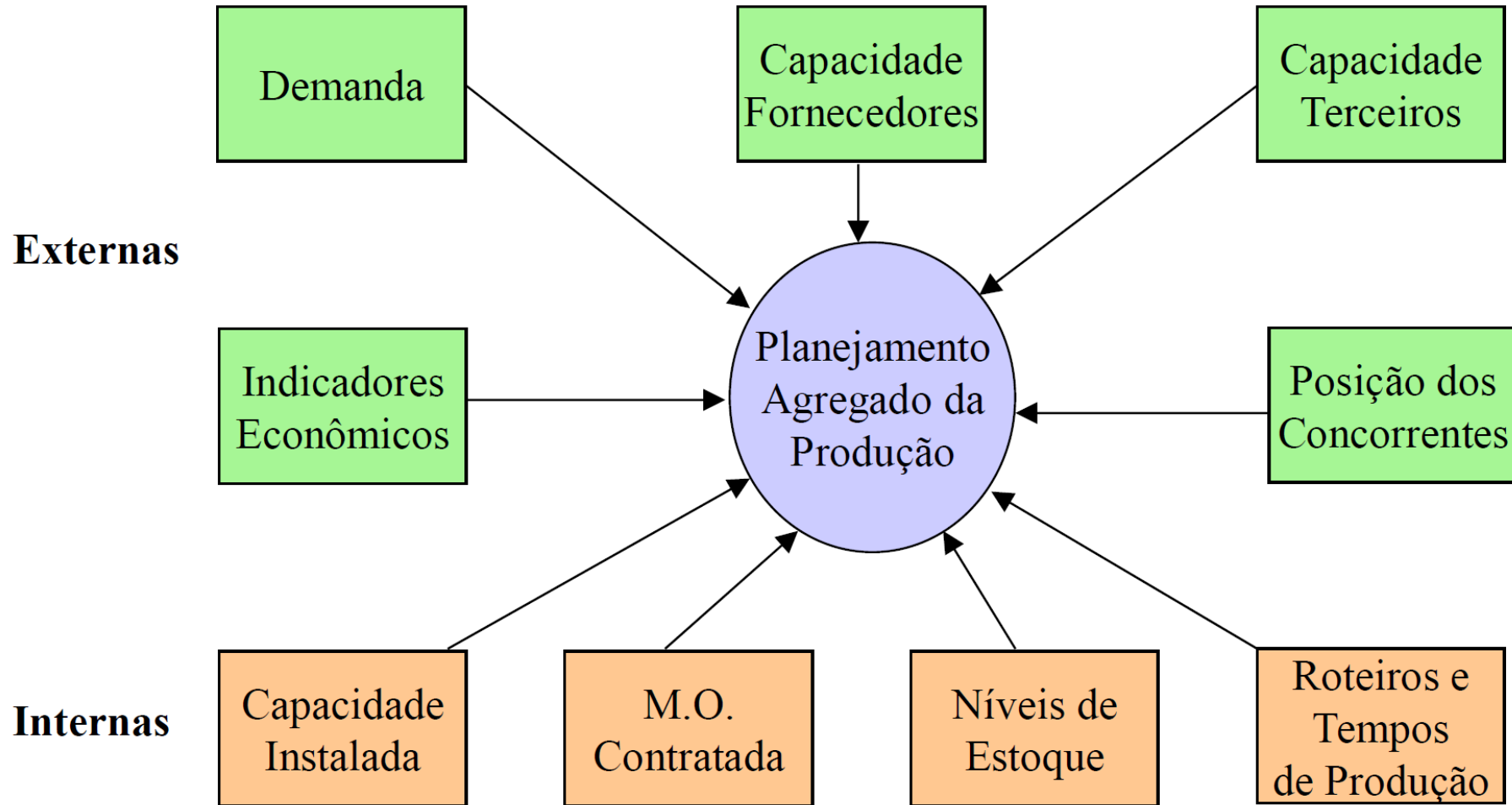
- Planejar significa antecipar decisões futuras para obter um resultado desejado
- Planejamento tático ou intermediário (entre o planejamento estratégico e operacional)
- Cuida dos recursos cuja obtenção no tempo e na quantidade necessitam maior prazo que as compras de rotina (operação) e as de investimentos de longo prazo (estratégico)
- Deve utilizar as capacidades reais dos recursos
- Eficiências de 100% são irreais (a menos de troca de tecnologias)
- Curvas de aprendizado devem ser consideradas, caso não o tenham sido no plano estratégico
- Mão de obra merece cuidados especiais como recurso, pois é sujeita a mais restrições que os recursos materiais (que, porém, vem aumentando suas restrições devido à consciência ecológica)



# Planejamento Agregado

- Típico do nível tático
- Horizonte mensal ou semanal
- Base para dimensionamento de recursos (Mão de obra, fornecedores, materiais)
- Garantir que recursos básicos para a produção estejam disponíveis, em quantidades adequadas.
- Tratamento através de “Famílias de Produto”

# Planejamento Agregado



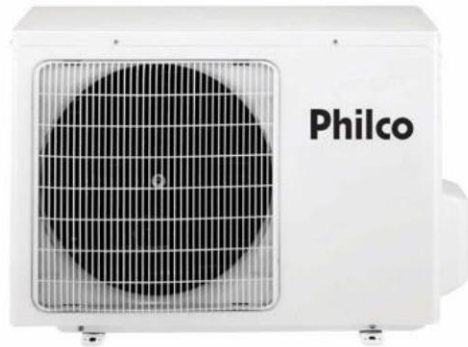
# Planejamento Agregado

- Raciocínio base: “Expressar a demanda de todos os produtos e todos os recursos por uma única medida”
- Medida agregada de capacidade: **Produto Equivalente** ou **Produto Padrão**
- Decisões:
  - O que produzir
  - Quanto produzir
  - Quando produzir
  - Onde produzir



# Planejamento Agregado

- Exemplo:



Horas de máquinas disponíveis



Postos de trabalhos



Custos de horas normais de trabalho



Custo de horas extras



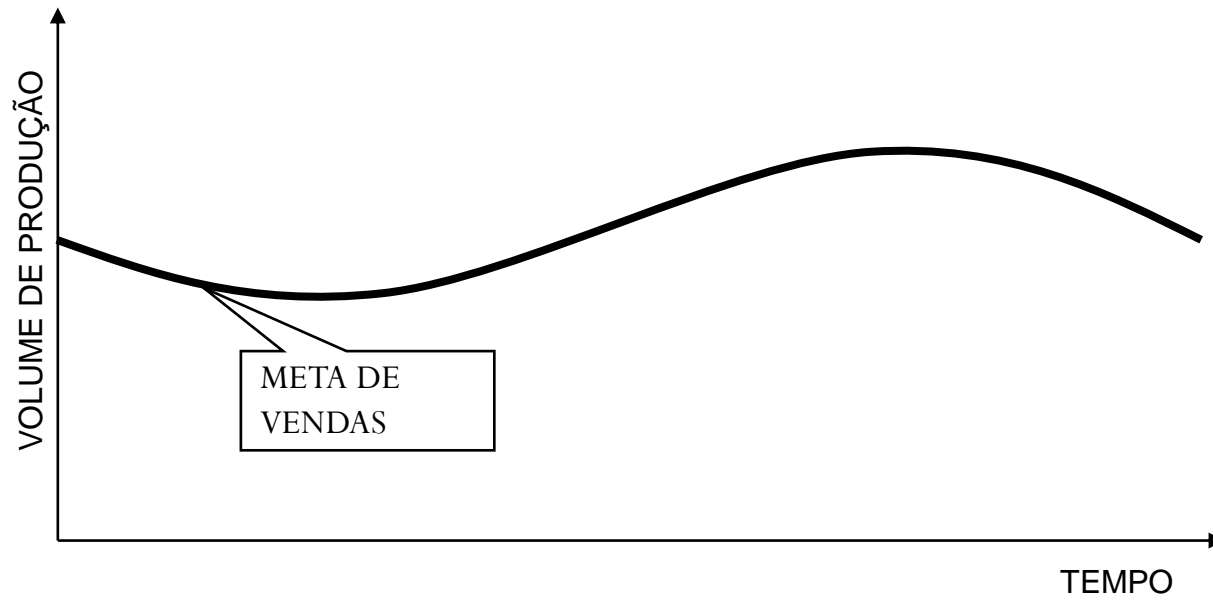
Contratação / Demissão



Outsourcing (Terceirização)

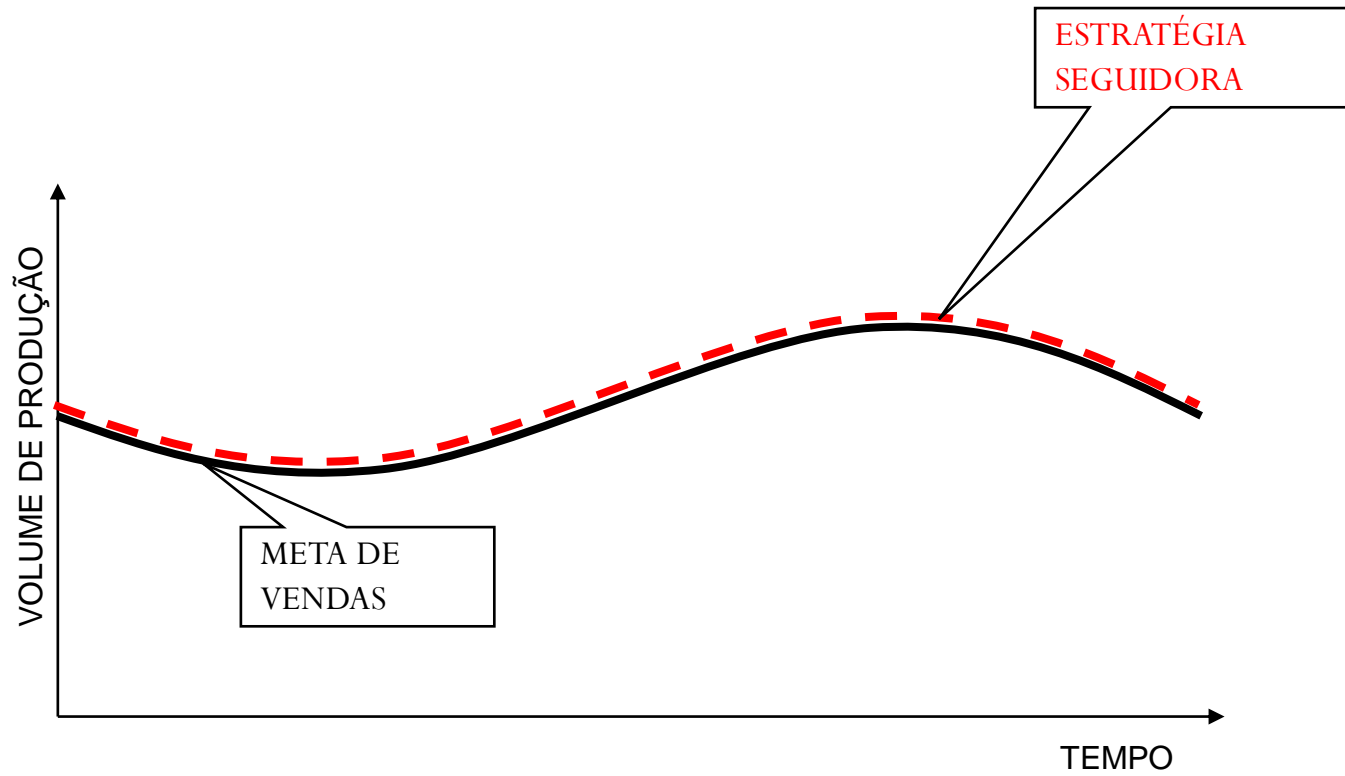
# PLANEJAMENTO AGREGADO

## ESTRATÉGIAS BÁSICAS



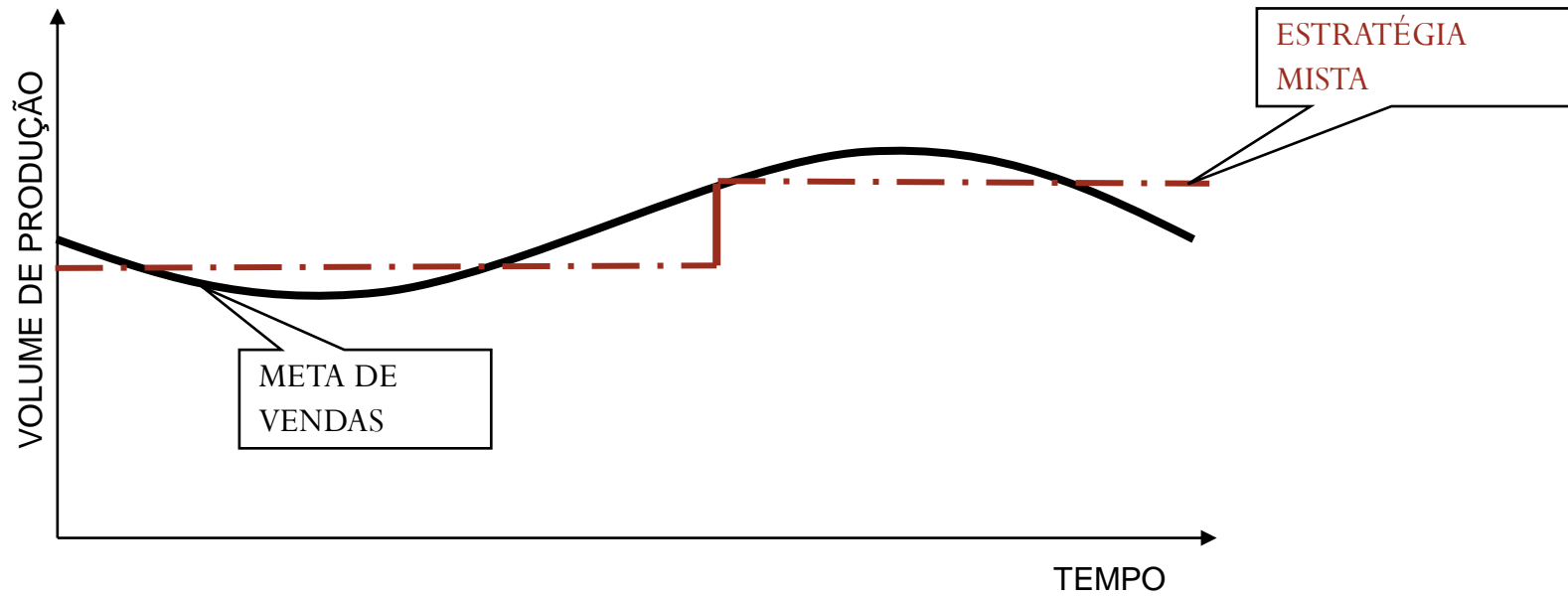
# PLANEJAMENTO AGREGADO

## ESTRATÉGIAS BÁSICAS



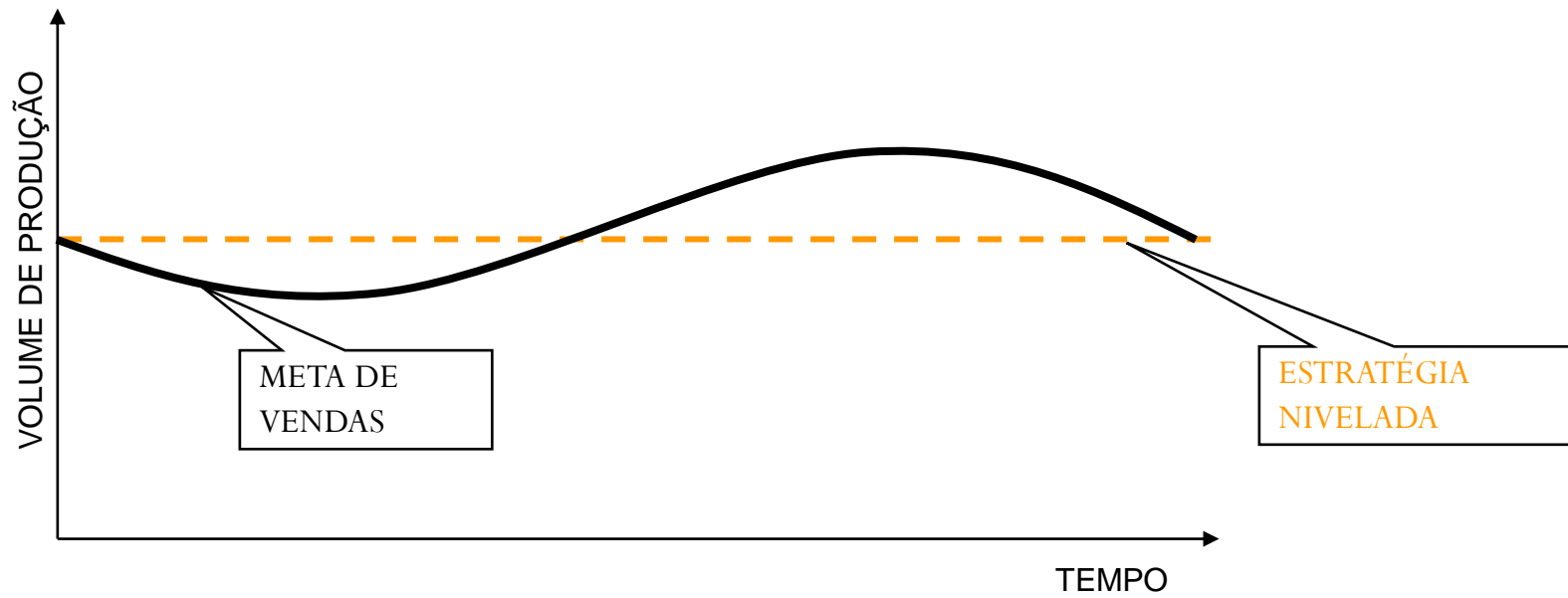
# PLANEJAMENTO AGREGADO

## ESTRATÉGIAS BÁSICAS



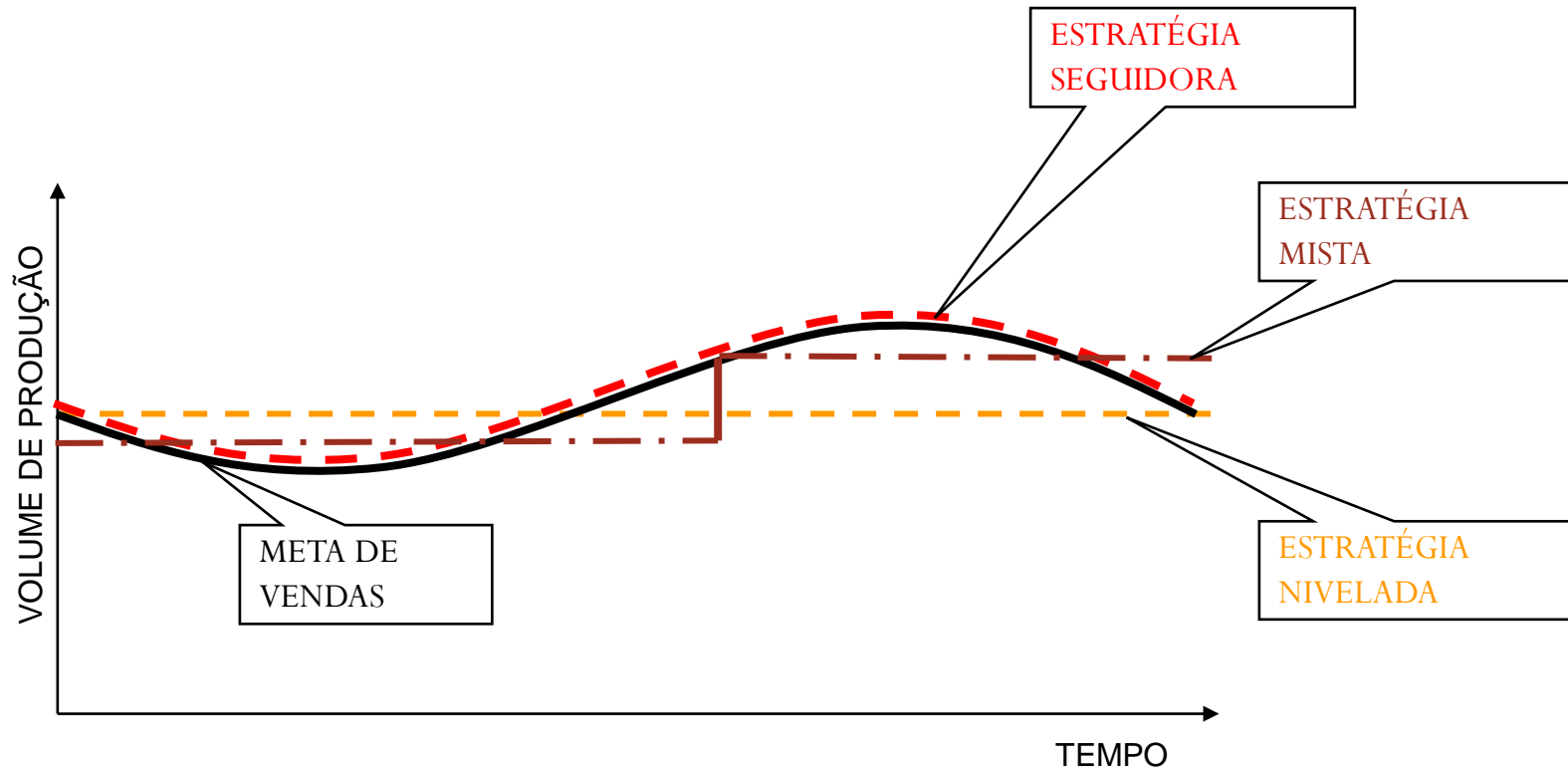
# PLANEJAMENTO AGREGADO

## ESTRATÉGIAS BÁSICAS



# PLANEJAMENTO AGREGADO

## ESTRATÉGIAS BÁSICAS



## PLANEJAMENTO AGREGADO

### ◆ Produção Nivelada

- Estratégia “Level”
- Produzir à taxa constante, absorvendo variações da demanda com estoques

### ◆ Produção Casada

- Estratégia “Chase”
- Contratação temporária para absorver pico de demanda

### ◆ Estoque de Capacidade

- Dimensionar capacidade de produção pela demanda máxima

### ◆ Horas-Extras e Folga

- Aumento e Redução da Jornada de Trabalho

### ◆ Paradas Programadas

- Férias coletiva e Manutenção dos períodos de baixa demanda

### ◆ Subcontratação

- Empresas contratadas para absorver parte da produção

### ◆ Negociar Prazos

- Postergar atendimento da demanda

# PLANEJAMENTO AGREGADO

## OBJETIVOS

- MAXIMIZAR LUCRO
- MINIMIZAR CUSTOS
- OUTROS, GERALMENTE SECUNDÁRIOS
  - MAXIMIZAR ATENDIMENTO A CLIENTE
  - MINIMIZAR ESTOQUES
  - MELHORIA DE IMAGEM
  - RESPONSABILIDADE SOCIAL

## RESTRICÇÕES

- CONTINUIDADE DO FLUXO NOS ESTOQUES
- CONTINUIDADE DO FLUXO DE MÃO DE OBRA
- DECISÕES E POLÍTICAS DEFINIDAS NO PLANO

## ESTRATÉGICO

## CUSTOS

- CUSTO DAS HORAS NORMAIS DE TRABALHO
- CUSTO DAS HORAS EXTRAS
- CUSTO DE CONTRATAÇÃO
- CUSTO DE DEMISSÃO CUSTO DE MÃO DE OBRA TERCEIRIZADA
- CUSTO DE MANUTENÇÃO DOS ESTOQUES
  - CUSTO DE FALTA



# Questões práticas

- ◆ Restrições da legislação trabalhista
- ◆ Política de recursos humanos das empresas
- ◆ Dificuldade de previsão de demanda
- ◆ Levantamento de dados (custos, tempos etc)
- ◆ Grande quantidade de variáveis e alternativas de decisão
- ◆ Desenvolvimento de modelos em planilhas
  
- ◆ Referências:
  - Winston & Albright (2011) Practical Management Science
  - Ragsdale (2010) Spreadsheet Modeling & Decision Analysis

## PLANEJAMENTO AGREGADO

- $t$  = índice de períodos de tempos, onde  $t = [1, 2, \dots, T]$
- $d_t$  = demanda no período  $t$
- $c_t$  = capacidade no período  $t$  na mesma unidade de  $d_t$
- $r$  = lucro unitário dos produtos vendidos
- $h$  = custo de armazenagem para cada período
- $X_t$  = quantidade produzida durante o período  $t$
- $S_t$  = quantidade vendida durante o período  $t$
- $I_t$  = estoque final do período  $t$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

## Modelagem utilizando Multi-periodo

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T rS_t - hI_t$$

$$S_t \leq d_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$X_t \leq c_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$I_t = I_{t-1} + X_t - S_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$X_t, S_t, I_t \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T$$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

- $i$  = índice de produtos,  $i = [1, 2, \dots, m]$  onde  $m$  representa o total de produtos
- $j$  = índice de estações de trabalhos,  $j = [1, 2, \dots, n]$ , onde  $n$  representa o número total de estações
- $t$  = índice de períodos de tempos, onde  $t = [1, 2, \dots, T]$
- $d_{it}$  = demanda máxima do produto  $i$  no período  $t$
- $d'_{it}$  = demanda mínima possível do produto  $i$  no período  $t$  (contrato)
- $a_{ij}$  = tempo exigido em uma estação  $j$  para produzir uma unidade de  $i$
- $c_{jt}$  = capacidade da estação  $j$  no período  $t$  usadas pelo tempo  $a_{ij}$
- $r_i$  = lucro unitário do produto  $i$  vendido
- $h_i$  = custo de armazenagem do produto  $i$  para cada período  $t$
- $X_{it}$  = quantidade produzida do produto  $i$  durante o período  $t$
- $S_{it}$  = quantidade vendida do produto  $i$  durante o período  $t$
- $I_{it}$  = estoque final do produto  $i$  no período  $t$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

## Modelagem utilizando Multi-período

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m r_i S_{it} - h_i I_{it}$$

$$d'_{it} \leq S_{it} \leq d_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} X_{it} \leq c_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - S_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{it}, S_{it}, I_{it} \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

## Modelagem utilizando Multi-período e Multi-produto

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m r_i S_{it} - h_i I_{it}$$

$$d'_{it} \leq S_{it} \leq d_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} X_{it} \leq c_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - S_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{it}, S_{it}, I_{it} \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m b_{ij} X_{it} \leq k_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

$b_{ij}$  = unidades do recurso  $j$  necessárias para cada unidade de  $i$   
 $k_{jt}$  = número de unidades do recurso  $j$  disponíveis em  $t$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

Modelagem utilizando Multi-período e Multi-produto (capacitada)

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m r_i S_{it} - h_i I_{it}$$

$$d'_{it} \leq S_{it} \leq d_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} X_{it} \leq q c_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad q = \text{fração da capacidade máxima (utilização)}$$

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - S_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{it}, S_{it}, I_{it} \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m b_{ij} X_{it} \leq k_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

Modelagem utilizando Multi-período e Multi-produto (capacitada) com backlog

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m r_i S_{it} - h_i I_{it}^+ - \pi_i I_{it}^-$$

$I_{it}^+$  = total estocado

$I_{it}^-$  = total pendente

$\pi_i$  = penalidade por atraso

$$d'_{it} \leq S_{it} \leq d_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} X_{it} \leq qc_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - S_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$I_{it} = I_{it}^+ - I_{it}^- \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{it}, S_{it}, I_{it}^+, I_{it}^- \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m b_{ij} X_{it} \leq k_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$



# PLANEJAMENTO AGREGADO

Modelagem utilizando Multi-período e Multi-produto (capacitada) com hora extra

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m r_i S_{it} - h_i I_{it}^+ - \pi_i I_{it}^- - \sum_{j=1}^n l'_j O_{jt}$$

$l'_j$  = custo de 1 hora extra na estação  $j$   
 $O_{jt}$  = Número de horas extras na estação  $j$  no período  $t$

$$d'_{it} \leq S_{it} \leq d_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} X_{it} \leq qc_{jt} + O_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - S_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$I_{it} = I_{it}^+ - I_{it}^- \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m b_{ij} X_{it} \leq k_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{it}, S_{it}, I_{it}^+, I_{it}^- \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

Modelagem utilizando Multi-período e Multi-produto (com rendimento de qualidade)

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m r_i S_{it} - h_i I_{it}$$

$$d'_{it} \leq S_{it} \leq d_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{a_{ij} X_{it}}{y_{ij}} \leq c_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad y_{ij} = \text{rendimento acumulado da estação } j \text{ para produto } i$$

$$I_{it} = I_{it-1} + X_{it} - S_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_{it}, S_{it}, I_{it} \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } i = 1, 2, \dots, m$$

# PLANEJAMENTO AGREGADO

- $j$  = índice de estações de trabalhos,  $j=[1,2,\dots,n]$ , onde  $n$  representa o número total de estações
- $t$  = índice de períodos de tempos, onde  $t=[1,2,\dots,T]$
- $d_t$  = demanda máxima do no período  $t$
- $d'_t$  = demanda mínima possível no período  $t$  (contrato)
- $a_j$  = tempo exigido em uma estação  $j$  para produzir uma unidade
- $b$  = número de horas que um trabalhador precisa para produzir uma unidade
- $c_{jt}$  = capacidade da estação  $j$  no período  $t$
- $r$  = lucro unitário
- $h$  = custo de armazenagem para cada período  $t$
- $l$  = custo do tempo regular em \$ de uma hora por trabalhador
- $l'$  = custo das horas extras em \$ de uma hora por trabalhador
- $e$  = custo de aumentar a força de trabalho em horas por trabalhador por período
- $e'$  = custo de diminuir a força de trabalho em horas por trabalhador por período

## PLANEJAMENTO AGREGADO

- $X_t$  = quantidade produzida durante o período t
- $S_t$  = quantidade vendida durante o período t
- $I_t$  = estoque final do período t
- $W_t$  = força de trabalho no período t em horas por trabalhador de tempo regular (partindo de  $W_0$ )
- $H_t$  = aumentos (admissões) na força de trabalho do período t-1 até t em horas por trabalhador
- $F_t$  = reduções (demissões) da força de trabalho do período t-1 até t em horas por trabalhador
- $O_t$  = número de horas extras no período t

# PLANEJAMENTO AGREGADO

Modelagem utilizando Multi-período (com alteração de mão de obra)

$$\text{minimizar } \sum_{t=1}^T \{rS_t - hI_t - lW_t - l'O_t - eH_t - e'F_t\}$$

$$d'_t \leq S_t \leq d_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$a_j X_t \leq c_{jt} \quad t = 1, 2, \dots, T \text{ e } j = 1, 2, \dots, n$$

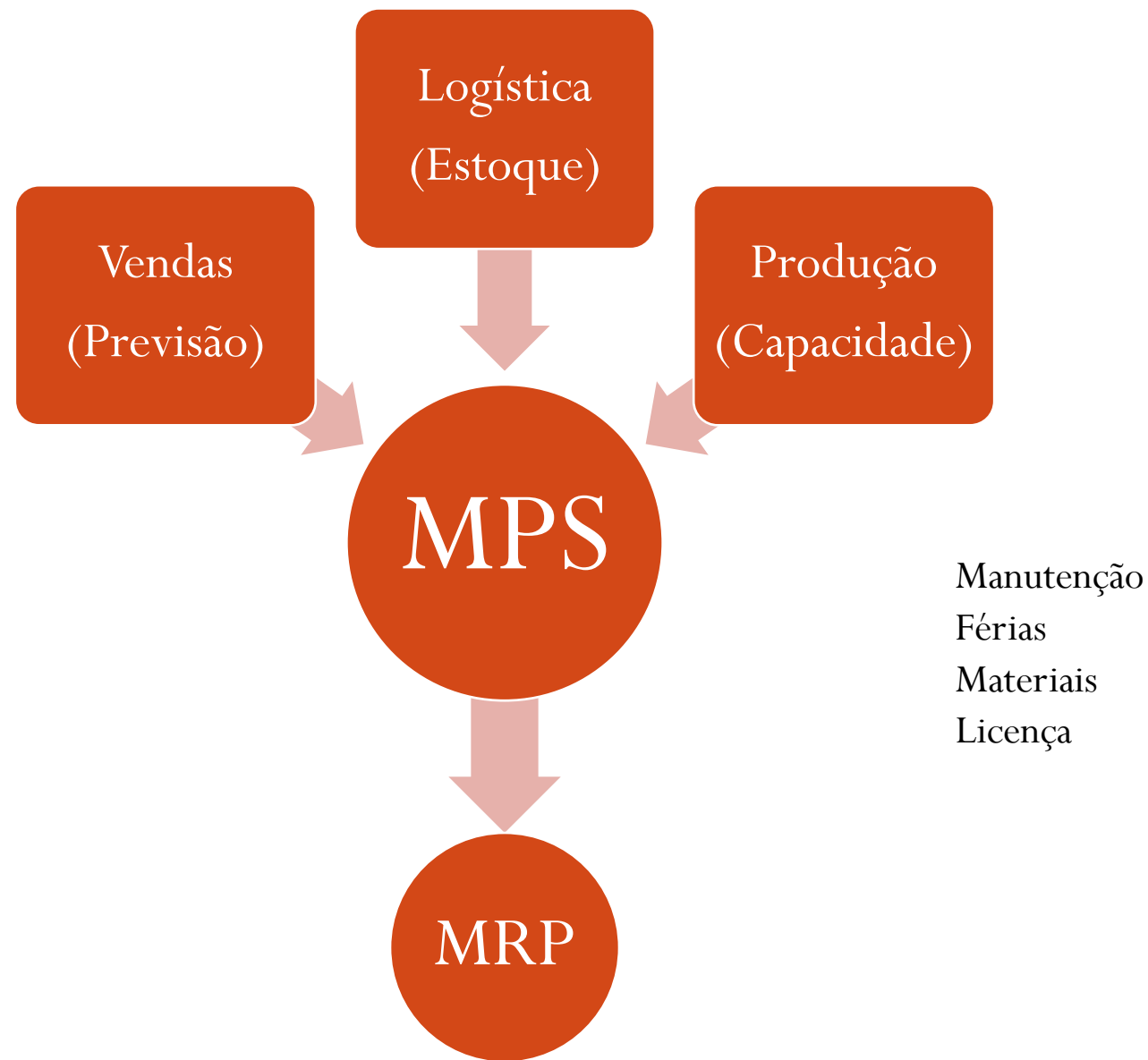
$$I_t = I_{t-1} + X_t - S_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$W_t = W_{t-1} + H_t - F_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

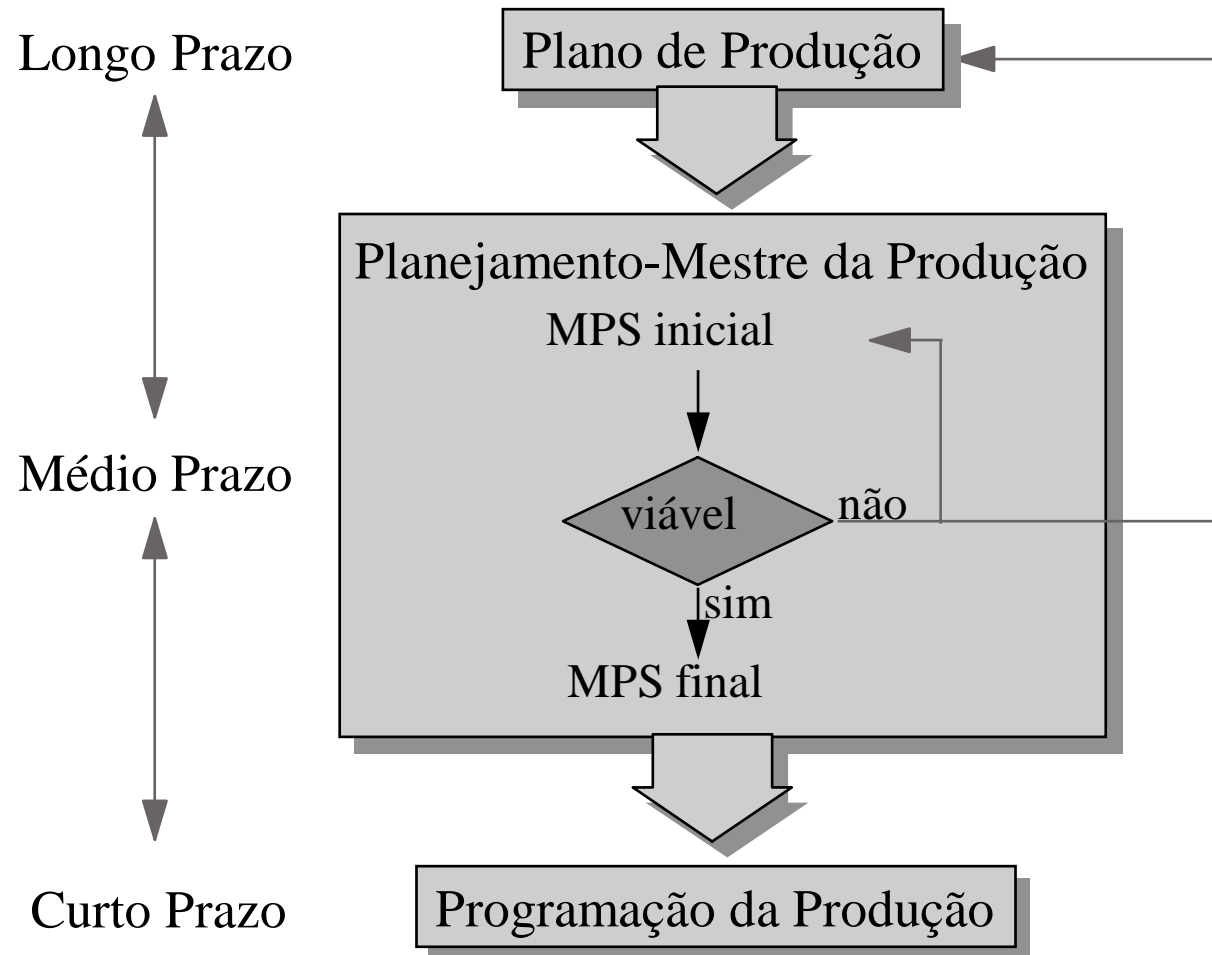
$$bX_t \leq W_t + O_t \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$X_t, S_t, I_t, O_t, W_t, H_t, F_t \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T$$

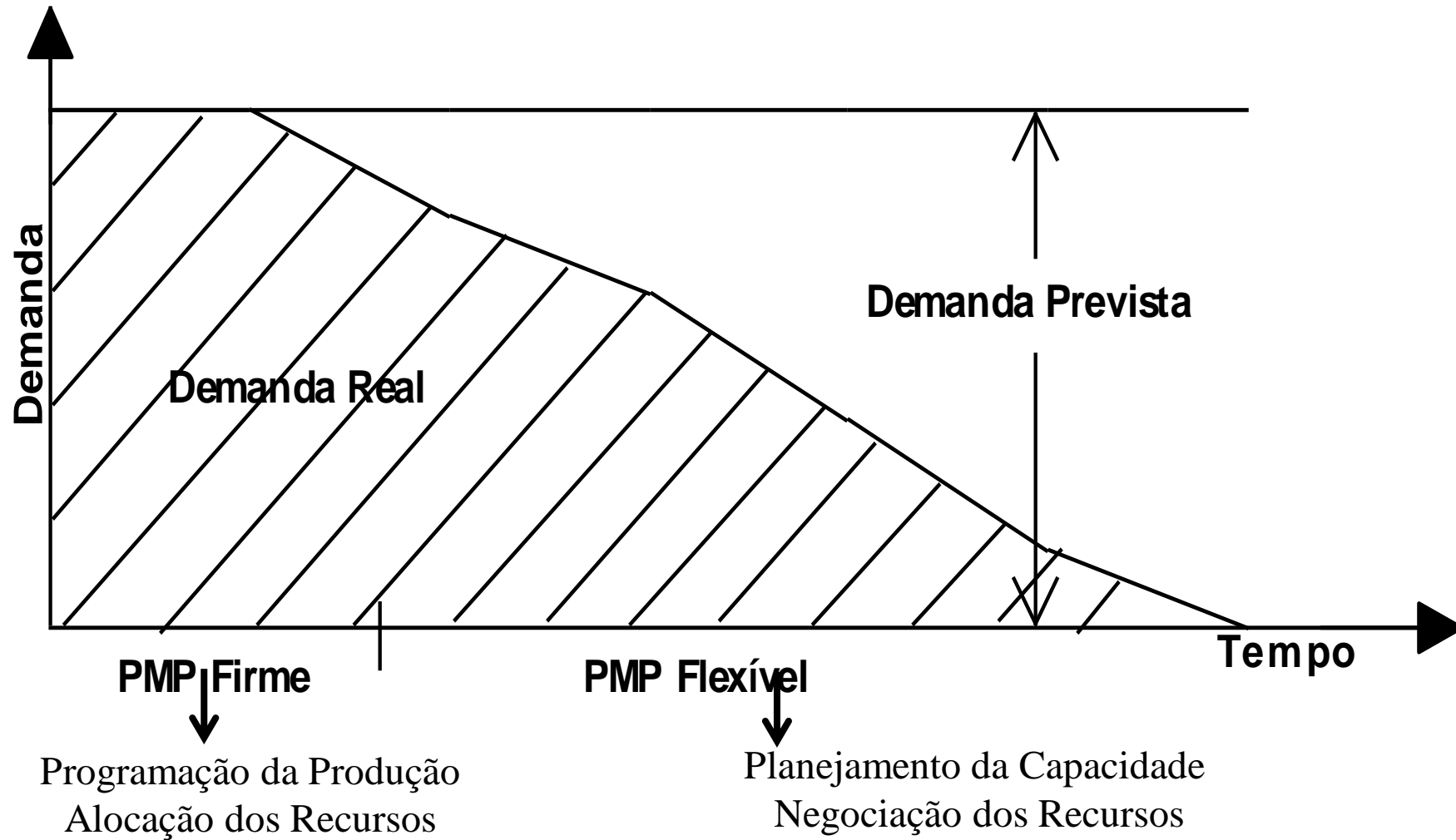
# Planejamento-Mestre da Produção (MPS)



# Planejamento-Mestre da Produção (MPS)



# O tempo no MPS





# Planejamento-Mestre da Produção (MPS)

- O MPS diferencia-se do plano de produção sob dois aspectos: o nível de agregação dos produtos e a unidade de tempo analisada.
  - Onde o plano de produção estratégico tratava de famílias de produtos, o MPS, já voltado para a operacionalização da produção, tratará de produtos individuais.
  - Da mesma forma, onde o plano de produção empregava meses, trimestres e anos, o MPS empregará uma unidade de planejamento mais curta, normalmente semanas, ou no máximo meses para produtos com ciclos produtivos longos.
  - Na elaboração do MPS estão envolvidas todas as áreas que têm um contato mais direto com a manufatura.