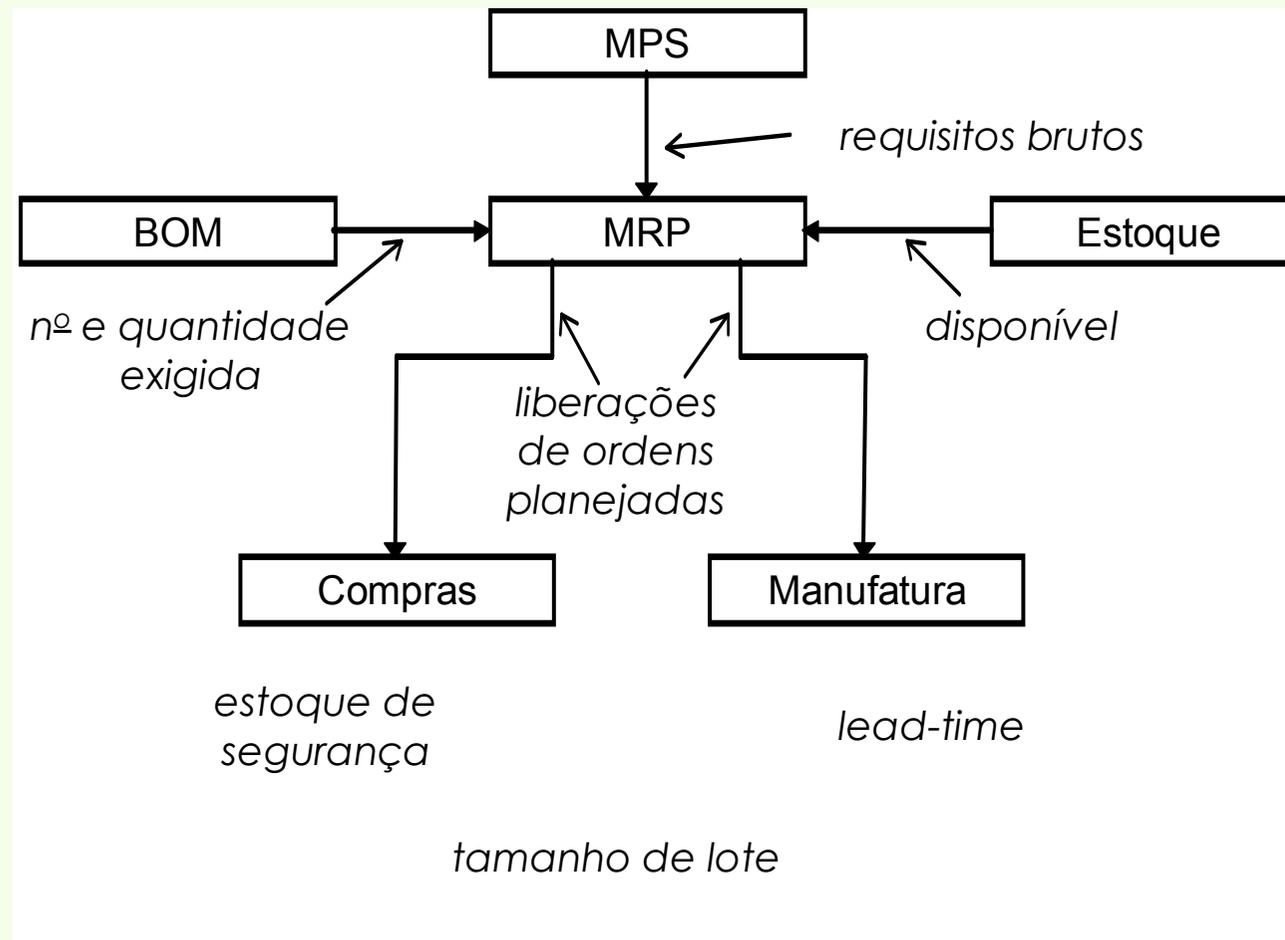


# ***PLANEJAMENTO DE RECURSOS E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO***

# PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)

- Atividades em MRP II incluem:
  - o plano mestre de produção (MPS),
  - o planejamento de requisitos de materiais (MRP),
  - o planejamento de requisitos de capacidade,
  - o planejamento de liberação de ordens,
  - o seqüenciamento de operações.

# PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)



*Um modelo operacional de um MRP II*

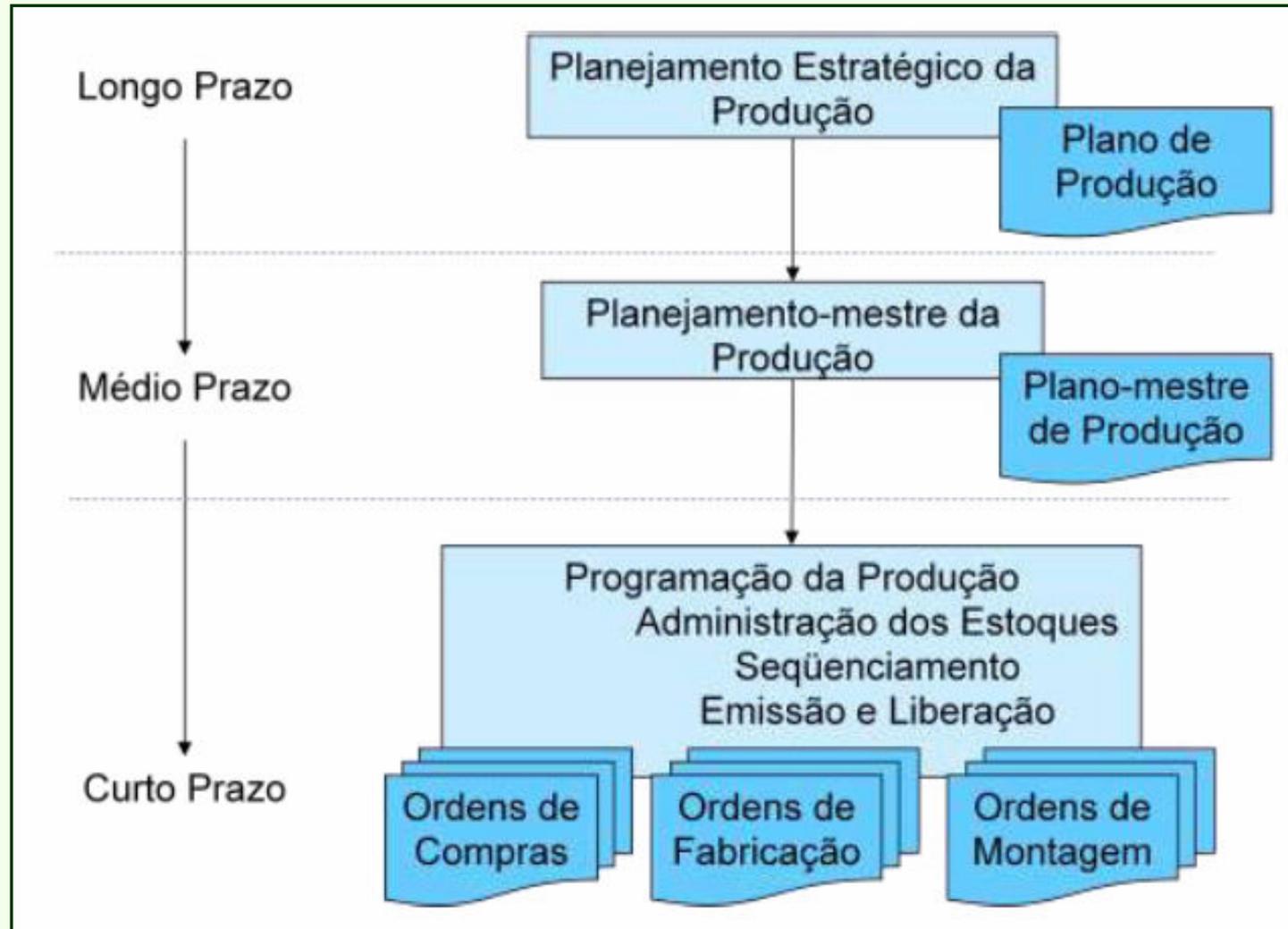
# PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)

- Planejamento de recursos → inicia com um **plano de longo prazo** onde as atividades de produção são projetadas no futuro.
- Planejamento de mercado → fornece informações de pesquisa sobre o **mercado potencial**, a **demanda** do consumidor externo, **demografia**, **recursos**, **processos**, novas **invenções**, **competição**, etc.
- Desses planos de longo prazo → **planos de médio e curto prazos** podem ser obtidos.

# PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)

- Planos de longo prazo → podem ter um horizonte de **5** anos,
- Planos de médio prazo → horizonte de menos de **12** meses,
- Planos de curto prazo → horizonte de **2** semanas a **1** mês.
- Antes dos planos de médio e curto prazos serem ativados → deve haver uma **liberação da ordem** & o **projeto do produto** deve ser conhecido, bem como os seus métodos e seqüências de manufatura.

# PLANEJAMENTO DE RECURSOS DE MANUFATURA (MRP II)



# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Planej. da produção → fornece uma **estrutura** para resolver **conflitos** devido a **mudanças** no **marketing** do produto e nos **recursos** de produção.
- Suponha que o marketing antevê uma oportunidade de expandir para um **novo mercado** → requisita os recursos de produção para um **novo produto**:
  - plano **específico** de produção → os recursos para um novo produto não podem ser alocados sem reduzir a produção de um outro produto.
- Planej. da produção → obriga que o planejamento de recursos seja consistente com a capacidade de produção necessária para o plano de produção.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Depois de resolver questões de **marketing e finanças** & um **plano de produção de médio prazo** estiver pronto → a missão da manufatura para a empresa estará claramente definida.
- Plano de produção:
  - fornece para o planejamento da manufatura e para o chão de fábrica as **ordens necessárias para satisfazer os objetivos da empresa**.
  - normalmente estabelecido em **reais, dólares**, ou em **unidades agregadas por mês**.
  - corresponde à **produção planejada** estabelecida para a qual todos na empresa são responsáveis.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- P.ex. → a demanda prevista pode exceder as unidades agregadas no plano de produção.
- A gerência pode decidir produzir menos do que a demanda prevista. Razões:
  - desejo de ter menor quantidade e maior qualidade,
  - desejo de investir em equipamentos,
  - desejo de alocar os recursos financeiros em outras áreas.
- Plano de produção → fornece um meio para a tomada de decisões importantes quanto aos objetivos da empresa.

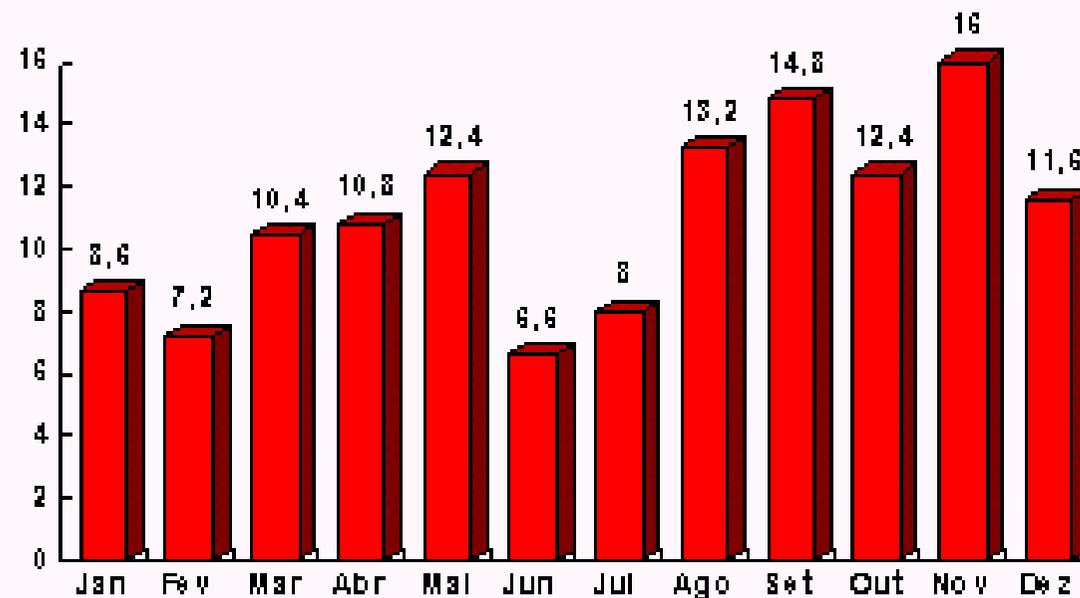
# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- O Processo de Planejamento da Produção

- Planej. da produção → começa com uma boa **previsão** para o ano seguinte que leva em consideração as variáveis de mercado.
- Plano da produção → revisado em intervalos regulares para inclusão de mudanças requisitadas.
  - P.ex. → muitas empresas bem sucedidas freqüentemente revêm o plano de produção **mensalmente** e fazem mudanças **trimestralmente**.
  - **Grade de tempo** → freqüentemente estabelece limites que permitem identificar se mudanças podem ser feitas no ciclo de planejamento.
    - P.ex. → grade de tempo: nenhuma mudança pode ser feita no período atual ou mais próximo & não mais do que 10% de mudanças podem ser feitas no próximo período.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

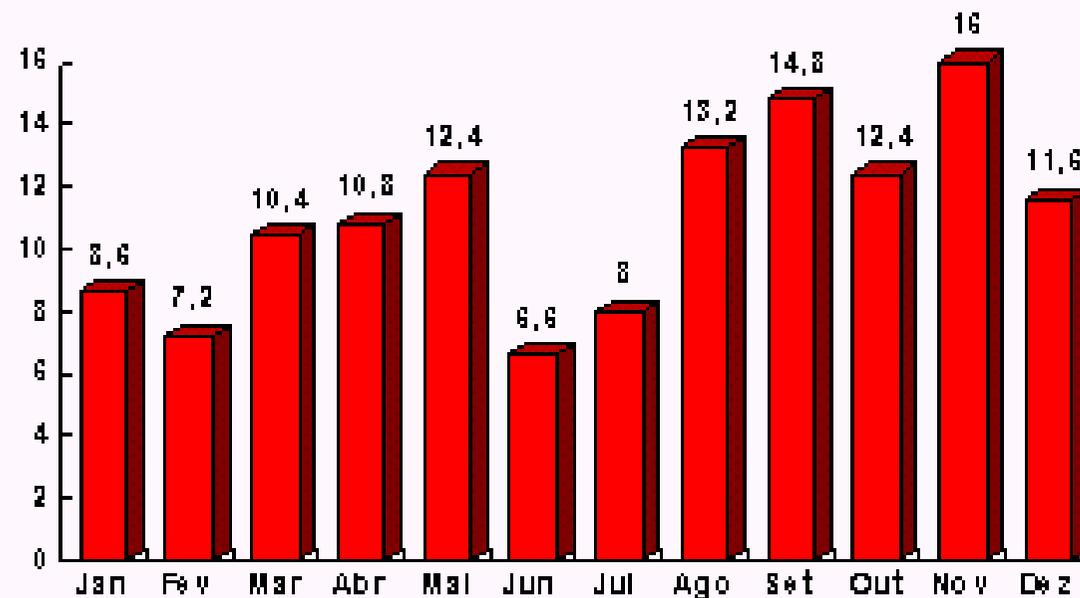
- Planejamento da Produção e Gerenciamento Variável da Manufatura
  - Plano de produção → declara os objetivos da produção para todos os produtos fabricados pela empresa.
    - P.ex. → considere o plano de produção declarado em dólares por mês para uma empresa que chamaremos aqui de XYZ (ver figura)



*Previsões  
de vendas  
mensais  
para a  
empresa  
XYZ  
(milhões de  
dólares)*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Convertendo esta previsão num plano de produção requer uma decisão quanto aos recursos. Fatos:
  - o pico das vendas ocorre em novembro
  - junho é o mês com menores vendas, i.e. \$6,6 milhões
  - 2 picos de vendas ocorrem, na primavera e no outono
  - o total de vendas para o ano é de \$132 milhões



*Previsões  
de vendas  
mensais  
para a  
empresa  
XYZ  
(milhões de  
dólares)*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Objetivo → alocar os **recursos variáveis** para satisfazer este plano de produção.
- Inicialmente → deve-se converter as **vendas em dólares** por período para **horas de mão-de-obra** por período.
- Conversão → usa-se uma **estimativa**, obtida dos registros de contabilidade da empresa, que relaciona o valor em dólares das vendas às horas de mão-de-obra direta.
  - Situação de **produção de baixa tecnologia**, que depende de mão-de-obra manual → p.ex. cada hora de mão-de-obra direta pode corresponder a **\$30 de vendas**.
  - Equipamentos de **alta tecnologia** → pode-se chegar a **\$100 de vendas** resultantes de cada hora de mão-de-obra direta.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

|     | Vendas<br>(milhões de<br>dólares) | Horas de<br>mão-de-obra | Dias trabalhados | Força de trabalho<br>variável | Semana de<br>trabalho variável |
|-----|-----------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| jan | 8,6                               | 86.000                  | 21               | 512                           | 29,72                          |
| fev | 7,2                               | 72.000                  | 20               | 450                           | 26,12                          |
| mar | 10,4                              | 104.000                 | 23               | 565                           | 32,81                          |
| abr | 10,8                              | 108.000                 | 20               | 675                           | 39,19                          |
| mai | 12,4                              | 124.000                 | 22               | 705                           | 40,90                          |
| jun | 6,6                               | 66.000                  | 10               | 825                           | 47,89                          |
| jul | 8,0                               | 80.000                  | 21               | 476                           | 27,64                          |
| ago | 13,2                              | 132.000                 | 22               | 750                           | 43,54                          |
| set | 14,8                              | 148.000                 | 21               | 881                           | 51,14                          |
| out | 12,4                              | 124.000                 | 22               | 705                           | 40,90                          |
| nov | 16,0                              | 160.000                 | 20               | 1000                          | 58,05                          |
| dez | 11,6                              | 116.000                 | 20               | 725                           | 42,09                          |
|     | <u>132</u>                        | <u>1.320.000</u>        | <u>242</u>       | <u>689</u>                    | <u>40,00</u>                   |

*Dados da estratégia de produção “chase” (“acompanhamento”)*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Exemplo → o fator de conversão de \$100 → próxima tabela.
- Coluna “**Vendas**” → resulta diretamente da previsão.
- Coluna “**Horas de mão-de-obra**” → calculada dividindo-se os dólares de venda pela taxa de conversão (i.e.  $\$8.600.000 / 100 = 86.000$  horas de mão-de-obra direta).
- Coluna “**Dias trabalhados**” → número de dias úteis em cada período no mês.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Figura:
  - 160.000 horas de mão-de-obra direta são necessárias em novembro para satisfazer o valor máximo de vendas de \$16 milhões,
  - somente 66.000 horas serão necessárias em junho para satisfazer a demanda do período mais baixo de vendas.
- Grande variação nos requisitos de RH → base para o **planejamento dos recursos variáveis**.
- 3 estratégias de plan. da produção para solucionar essa variação nas horas de mão-de-obra necessárias:
  - “*chase*” (“acompanhamento”),
  - “*level*” (“nivelamento”)
  - **combinada**.

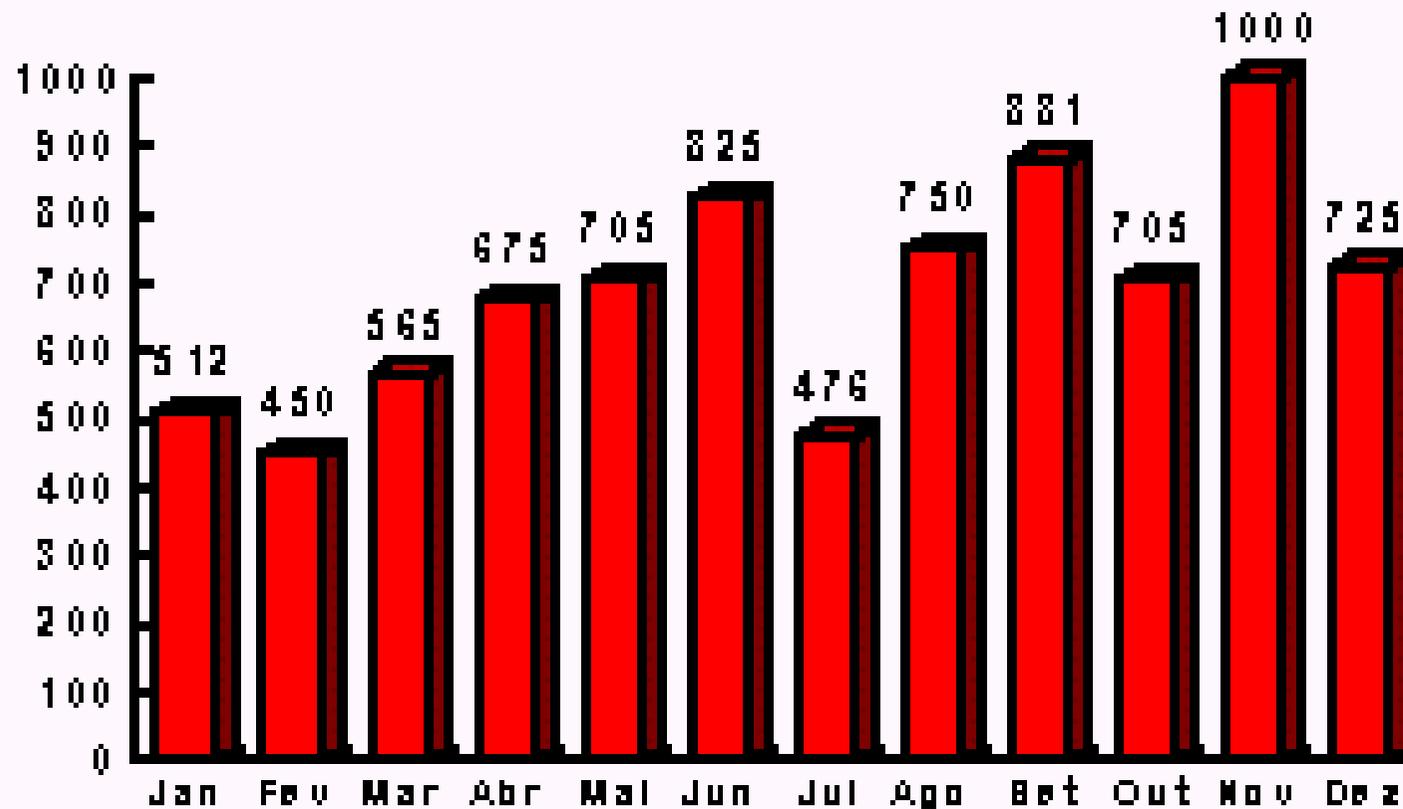
# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Estratégia de Produção “Chase”  
(“Acompanhamento”)
  - produção em cada período = produção planejada para aquele período.
  - nível de estoque do produto no começo de cada período = 0, pois toda a produção planejada para aquele período seria produzida durante o período.
  - nº de empregados ou as horas trabalhadas por semana por cada empregado deve mudar para satisfazer a produção planejada para o período.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Próxima figura → gráfico de **emprego mensal**.
- “**Força de trabalho variável**” (figura anterior) → nº de empregados em tempo integral necessários a cada mês para satisfazer exatamente a produção planejada.
- Nº de empregados ?
  - Total de horas trabalhadas por cada empregado no período (21 dias trabalhados vezes 8 horas/dia = 168 horas por período por empregado).
  - Divide-se o total de horas de mão-de-obra para o período (86.000) pelas horas dos empregados (168) por período (86.000 horas de mão-de-obra dividido por 168 horas por empregado = 512 empregados).

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO



*Número mensal de empregados em tempo integral na estratégia "chase"*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Análise → a quantidade de empregados varia de **450** em fevereiro até **1.000** em novembro → uma mudança nessa magnitude no nº de empregados em tempo integral ao longo de 12 meses seria **difícil de suportar** → indústrias que podem usar esse tipo de estratégia com sucesso normalmente requerem somente uma **pequena habilidade da mão-de-obra**.
- Outra abordagem dentro da estratégia “chase” → manter nº de empregados constante & alterar as horas trabalhadas por semana (ver coluna “**Semana de trabalho variável**” na figura anterior).
  - Nº médio de empregados necessários para uma produção anual (689) → indicada na parte inferior desta coluna.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Manter força de trabalho = **689** & alterar as horas trabalhadas por semana para satisfazer exatamente a produção planejada.
  - Carga semanal de trabalho varia de **26,12** em fevereiro até **58,05** em novembro.
- Horas necessárias por semana de trabalho?
  - Horas por mês por empregado (86.000 horas de m.d.o./mês dividido por 689 empregados = 124,8 horas de m.d.o./empregados/mês).
  - Divide-se o valor acima pelos dias úteis no mês → horas trabalhadas/dia/empregado ( $124,8 / 21 = 5,94$  horas trabalhadas/dia/empregado).
  - Multiplica-se as horas diárias pelos 5 dias → total de horas semanais para cada empregado = 29,72 horas em janeiro.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- **Estratégia de Produção “Level” (“Nivelamento”)**
  - Requer que a produção em cada período seja igual à produção média mensal calculada a partir dos valores totais da produção para o ano.
  - Força de trabalho e horas de trabalho semanal são **constantes**, e a **produção é aproximadamente a mesma** a cada mês.
  - Em alguns meses → produtos produzidos não são vendidos & **estoque** de peças ↑ para cobrir os meses em que a demanda de mercado é maior do que a produção.
    - Ver próxima figura (colunas “**Produção mensal**” e “**Balanço de estoque**”):
      - força de trabalho = 689 empregados,
      - semana de trabalho = 40 horas.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

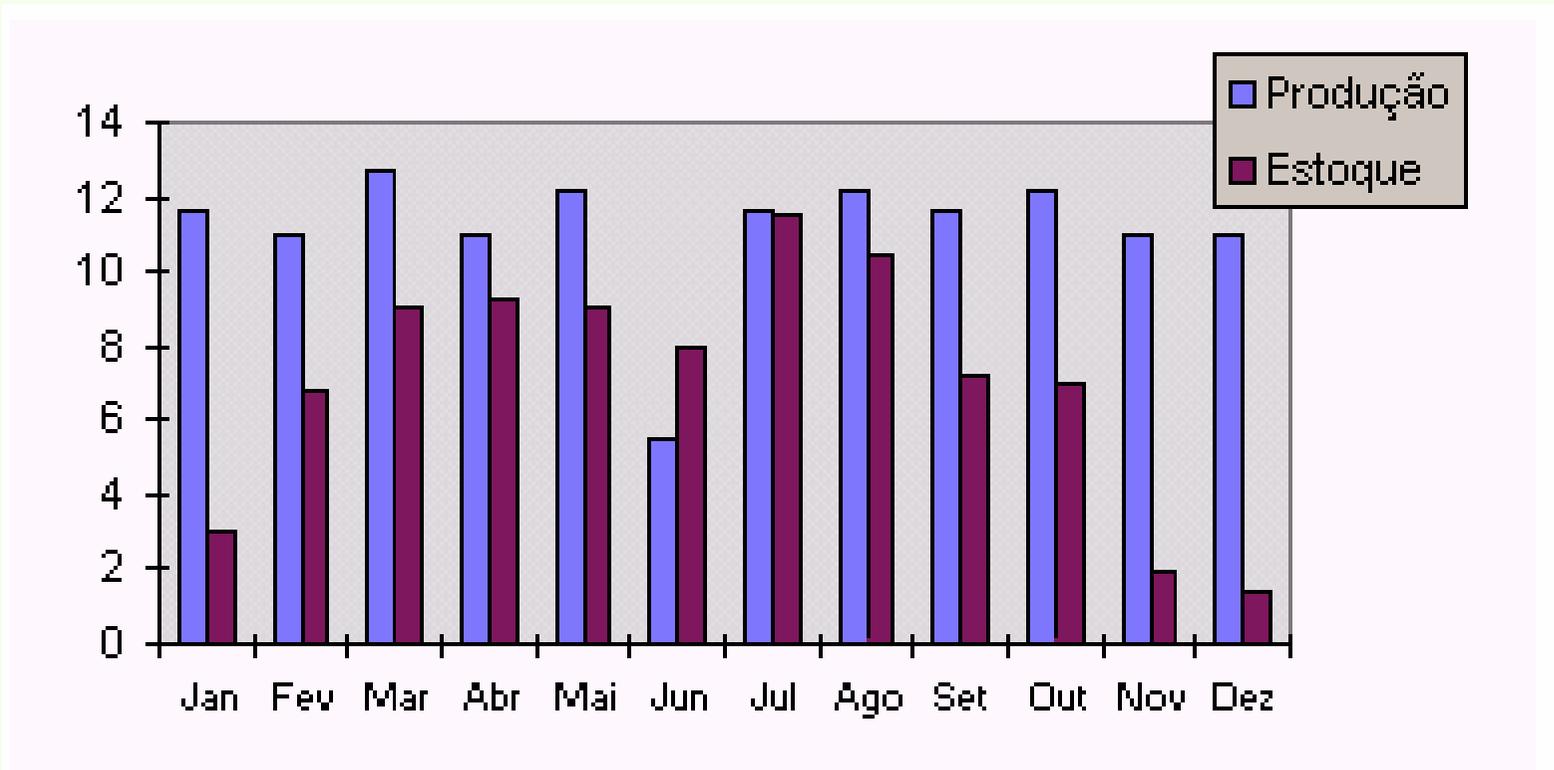
|     | Vendas<br>(milhões de<br>dólares) | Horas de<br>mão-de-obra | Dias<br>trabalhados | Força de<br>trabalho<br>nivelada | Produção<br>mensal<br>(milhões de<br>dólares) | Balanco de<br>estoque<br>(milhões de<br>dólares) |
|-----|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------|---|--|
| jan | 8,6                               | 86.000                  | 21                  | 689                              | 11,58   | 2,98   |
| fev | 7,2                               | 72.000                  | 20                  | 689                              | 11,02   | 6,80   |
| mar | 10,4                              | 104.000                 | 23                  | 689                              | 12,68   | 9,08   |
| abr | 10,8                              | 108.000                 | 20                  | 689                              | 11,02   | 9,30   |
| mai | 12,4                              | 124.000                 | 22                  | 689                              | 12,13   | 9,03   |
| jun | 6,6                               | 66.000                  | 10                  | 689                              | 5,51  | 7,94   |
| jul | 8,0                               | 80.000                  | 21                  | 689                              | 11,58   | 11,52  |
| ago | 13,2                              | 132.000                 | 22                  | 689                              | 12,13   | 10,44  |
| set | 14,8                              | 148.000                 | 21                  | 689                              | 11,58   | 7,22   |
| out | 12,4                              | 124.000                 | 22                  | 689                              | 12,13   | 6,95   |
| nov | 16,0                              | 160.000                 | 20                  | 689                              | 11,02   | 1,97   |
| dez | 11,6                              | 116.000                 | 20                  | 689                              | 11,02   | 1,40   |
|     | <u>132</u>                        | <u>1.320.000</u>        | <u>242</u>          | <u>689</u>                       | <u>11,12</u>                                  | <u>7,05</u>                                      |

*Estratégia de produção “level”*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Produção mensal ?
  - Multiplica-se o número de empregados (689) por 8 horas por dia por dias trabalhados (21) pelo fator de conversão dólar-vendas (\$100) por hora trabalhada.
  - Balanço de estoque (em dólares) → diferença entre os dólares de vendas e os dólares de produção.
  - Estratégia “level” é ilustrada graficamente na próxima figura.
  - Produção não é nivelada exatamente porque o nº de dias trabalhados por mês varia um pouco de mês para mês.
  - Balanço de estoque → aumentou inicialmente, atingiu um máximo em julho, em preparação para a alta demanda no outono.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO



*Gráfico resultante da implementação da estratégia “level”*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Vantagem da estratégia “*chase*” ?
  - Não há estoque;
- Desvantagem da estratégia “*chase*” ?
  - Há uma variação da força de trabalho, que representa um alto custo na contratação e demissão de empregados.
  - Semana variável → custo de turnos extras e da implementação de semanas mais curtas.
- Vantagem da estratégia “*level*” ?
  - Força de trabalho e a semana → constantes
- Desvantagem da estratégia “*level*” ?
  - Custo de estoque.
- Conseqüência → muitas empresas usam uma **combinação das duas estratégias**

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- **Estratégia de Produção Combinada**
  - Usa as melhores qualidades das estratégias “*chase*” e “*level*”.

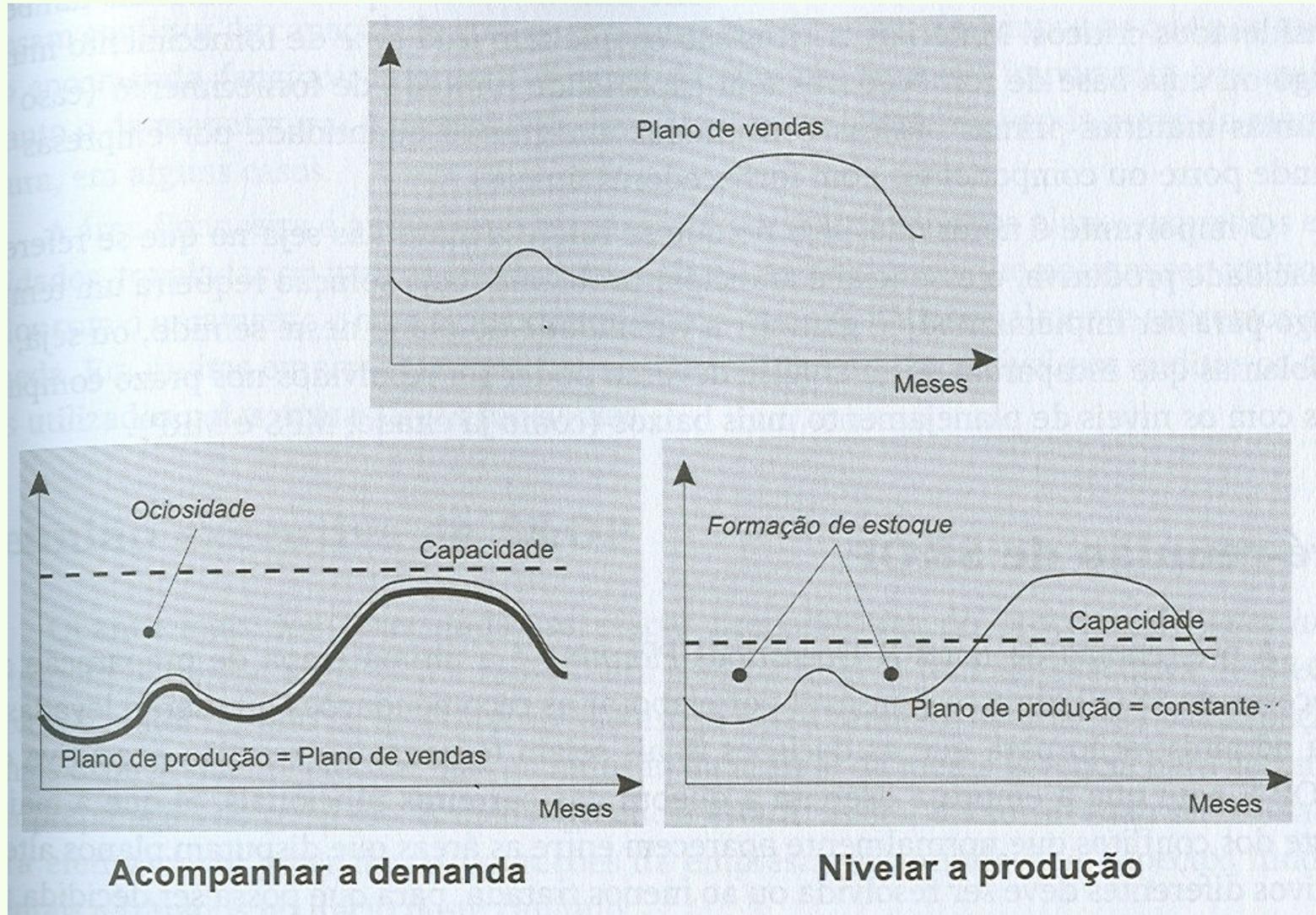
|     | Vendas<br>(milhões de<br>dólares) | Dias trabalhados | Força de<br>trabalho<br>nivelada | Produção mensal<br>(milhões de<br>dólares) | Balanco de estoque<br>(milhões de<br>dólares) |
|-----|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|--|---|
| jan | 8,6                               | 21               | 610                              | 10,25                                      | 1,65  |
| fev | 7,2                               | 20               | 610                              | 9,76                                       | 4,21  |
| mar | 10,4                              | 23               | 610                              | 11,22                                      | 5,03  |
| abr | 10,8                              | 20               | 610                              | 9,76                                       | 3,99  |
| mai | 12,4                              | 22               | 610                              | 10,74                                      | 2,33  |
| jun | 6,6                               | 10               | 610                              | 4,88                                       | 0,61  |
| jul | 8,0                               | 21               | 610                              | 10,25                                      | 2,86  |
| ago | 13,2                              | 22               | 809                              | 14,24                                      | 3,89  |
| set | 14,8                              | 21               | 809                              | 13,59                                      | 2,69  |
| out | 12,4                              | 22               | 809                              | 14,24                                      | 4,52  |
| nov | 16,0                              | 20               | 809                              | 12,94                                      | 1,47  |
| dez | 11,6                              | 20               | 809                              | 12,94                                      | 2,81  |
|     | <u>132</u>                        | <u>242</u>       | <u>689</u>                       | <u>11,23</u>                               | <u>3,00</u>                                   |

*Estratégia de produção combinada*

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

- Força de trabalho → mantida nivelada em **610** empregados para os primeiros **7** meses, e então aumenta para **809** empregados para os últimos **5** meses.
- Semana constante de **40** horas para todos os períodos.
- Estoque médio → reduzido de **\$6,31** milhões para **\$3** milhões.
- Recursos economizados com o estoque → devem ser superiores aos custos de mudanças na força de trabalho **2** vezes no ano.

# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO



# PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

**EXERCÍCIO:** Preencha a tabela abaixo, que corresponde ao planejamento da produção de uma certa indústria metal-mecânica. Assumir que cada hora de mão-de-obra direta corresponde a **\$110,00** de vendas.

|                                   |  | <i>Períodos</i> |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------|--|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                   |  | <i>1</i>        | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> |
| <i>Vendas (\$ 10<sup>6</sup>)</i> |  | 3,4             | 3,0      | 4,1      | 4,7      | 5,2      | 3,9      |
| <i>Dias Trabalhados</i>           |  | 10              | 20       | 23       | 20       | 22       | 21       |
| <i>LEVEL<br/>(NIVELAMENTO)</i>    | <i>Mão-de-obra nivelada</i>                  |                 |          |          |          |          |          |
|                                   | <i>Produção mensal (\$ 10<sup>6</sup>)</i>   |                 |          |          |          |          |          |
|                                   | <i>Estoque acumulado (\$ 10<sup>6</sup>)</i> |                 |          |          |          |          |          |
| <i>CHASE<br/>(ACOMPANHAMENTO)</i> | <i>Mão-de-obra variável</i>                  |                 |          |          |          |          |          |
|                                   | <i>Semana variável de trabalho</i>           |                 |          |          |          |          |          |

- Haverá problemas de suprimento da demanda no período? Caso tais problemas ocorram, faça seus cálculos de maneira a evitar tal ocorrência.

- Assumir que cada semana corresponde a 5 dias, e cada dia corresponde a 8 horas.

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- **Plano Mestre de Produção (MPS)** → produzido considerando-se as encomendas do cliente & a previsão baseada na pesquisa de mercado ou histórico do desempenho do produto no mercado.
- MPS → lista de produtos finais a serem fabricados, as quantidades encomendadas e as datas de entrega.
  - Contém uma matriz que lista o número de produtos a serem completados numa dada escala de tempo (ver próxima figura).
  - Normalmente é utilizado como entrada para o MRP I.

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

|                          | <i>Nº do período</i> |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                          | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <i>Previsão</i>          |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Disponível depois</i> |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>MPS</i>               |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Disponível antes</i>  |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

*Um plano mestre de produção*

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- MRP II → começa com a concepção do MPS.
  - Horizonte para o agendamento aqui → normalmente 1 ou vários anos → usado para tomar decisões de **capacidade para a planta, novos processos de manufatura, equipamentos e mão-de-obra.**

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Método normalmente usado para representar dados de **MPS** → registro de períodos

|                          | <i>Nº do período</i> |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                          | 1                    | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| <i>Previsão</i>          | 5                    | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 20 | 20 | 20 | 20 |
| <i>Disponível depois</i> | 26                   | 32 | 38 | 44 | 50 | 56 | 47 | 38 | 29 | 20 |
| <i>MPS</i>               | 11                   | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| <i>Disponível antes</i>  | 20                   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

*Um registro de períodos num MPS*

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Registro → usado para mostrar a relação entre a **taxa de saída**, **previsão de vendas**, e o **balanço de estoque esperado**.
  - Nº de períodos → função da empresa específica & do produto.
  - Previsão → nº de **itens-fim** que a gerência antevê que será vendida naquele período.
    - Dependendo da estratégia de produção, as unidades mostradas na linha de previsão serão:
      - números do produto (no caso de produção para estoque), ou
      - informações do BOM (no caso de produção por encomenda).

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Linha “**Disponível depois**” → balanço de estoque no fim do período ou o nº de unidades disponíveis para venda no próximo período.
- Linha “**MPS**” → nº de unidades agendadas para a produção durante o período e disponível para satisfazer a previsão para o período.
- Linha “**Disponível antes**” → nº de unidades presentes no estoque no início do primeiro período.

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Agendador MPS → começa com o registro que possui valores na linha de “previsão” e “disponível antes”.
- Dependendo da política da empresa e recursos disponíveis, decide-se aplicar uma das 3 estratégias descritas anteriormente → registro da figura anterior → estratégia “level”.

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Nº de unidades de MPS por período ?
  - Soma-se a previsão para **10** períodos (**110** unidades),
  - Divide-se pelo número de períodos, chegando-se à taxa de produção no período (**11**).
  - O estoque aumenta nos primeiros 6 períodos para cobrir a maior taxa de vendas nos últimos 4 períodos.
  - Com os valores na linha MPS inseridos no registro → o agendador calcula a linha disponível começando no período 1.
  - O valor disponível no fim do período 1 = balanço + unidades produzidas no período 1 - vendas previstas para o período (**20 + 11 - 5 = 26**).
  - Processo repete-se para o período 2, exceto que o valor disponível no período 1 torna-se o valor disponível para o período 2 (**26 + 11 - 5 = 32**).

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- Produção em lotes ?
  - Hipótese → no registro de MPS mostrado na figura anterior → tamanho de lote econômico para o produto = **11** unidades.
  - Se tamanho de lote para a fabricação econômica do produto for diferente? → isto deve-se refletir no registro de MPS.
    - Assumir tamanho de lote = 30 unidades (estratégia “level”) → ilustrado na figura abaixo.

|                          | <i>Nº do período</i> |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|                          | <i>1</i>             | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> |
| <i>Previsão</i>          | 5                    | 5        | 5        | 5        | 5        | 5        | 20       | 20       | 20       | 20        |
| <i>Disponível depois</i> | 45                   | 40       | 35       | 60       | 55       | 50       | 60       | 40       | 20       | 0         |
| <i>MPS</i>               | 30                   |          |          | 30       |          |          | 30       |          |          |           |
| <i>Disponível antes</i>  | 20                   |          |          |          |          |          |          |          |          |           |

*Um registro de períodos num MPS com tamanhos de lote*

# PLANO MESTRE DE PRODUÇÃO

- MPS → produção de **30** unidades nos períodos **1, 4 e 7**.
- Tamanhos de lote  $\uparrow \Rightarrow$  Níveis de estoque  $\uparrow$
- Não há estoque de segurança  $\Rightarrow$  estoque **0** para o período **11**
- Se nenhum tamanho de lote for necessário  $\Rightarrow$  sistema de produção produz lote a lote, ou apenas o que for necessário
  - entretanto, devido ao **tempo de setup e outras operações** que adicionam custo à manufatura do produto  $\Rightarrow$  muitas operações de manufatura estabelecem um **tamanho de lote mínimo** para a produção.

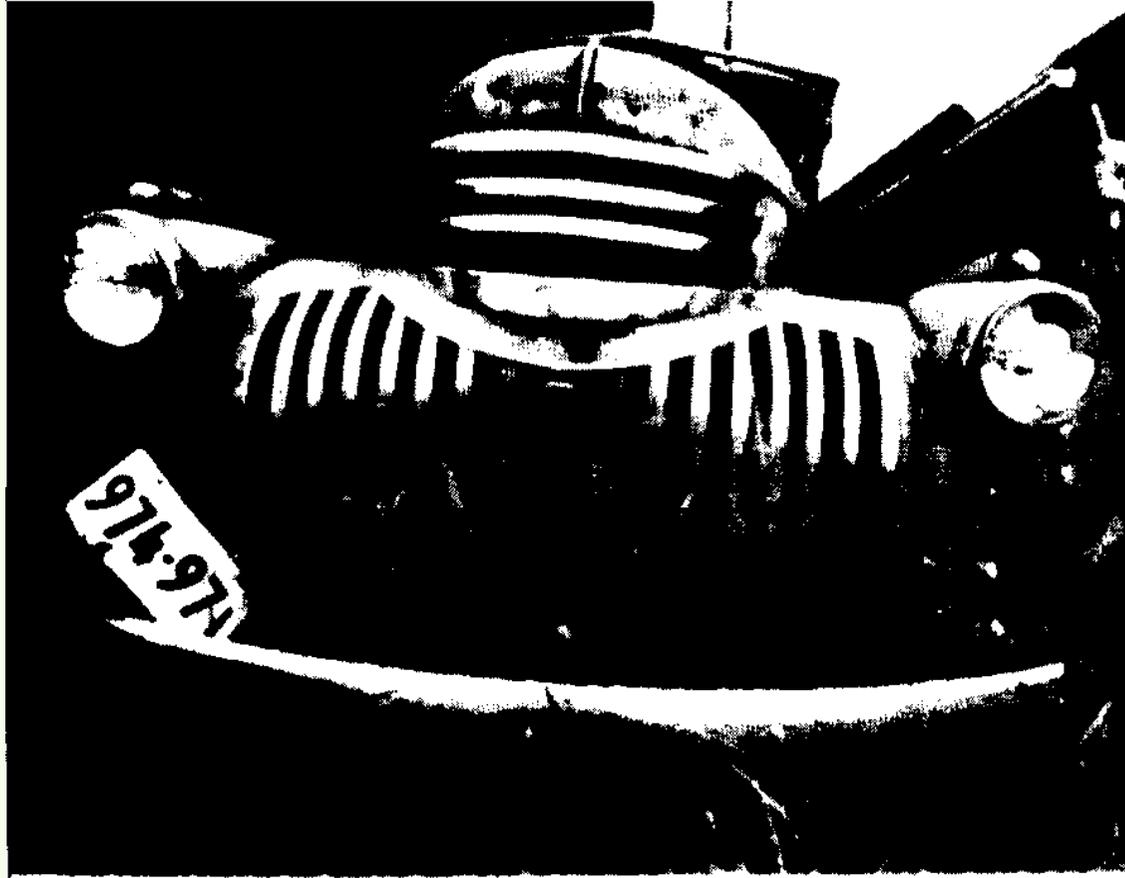
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- **Estoque é muito caro**  $\Rightarrow$  ele amarra recursos financeiros que poderiam ser usados por outras áreas da manufatura  $\Rightarrow$  em **estruturas de manufatura modernas**, uma tentativa é feita para trabalhar sem estoque ou para reduzi-lo ao mínimo.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)



# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

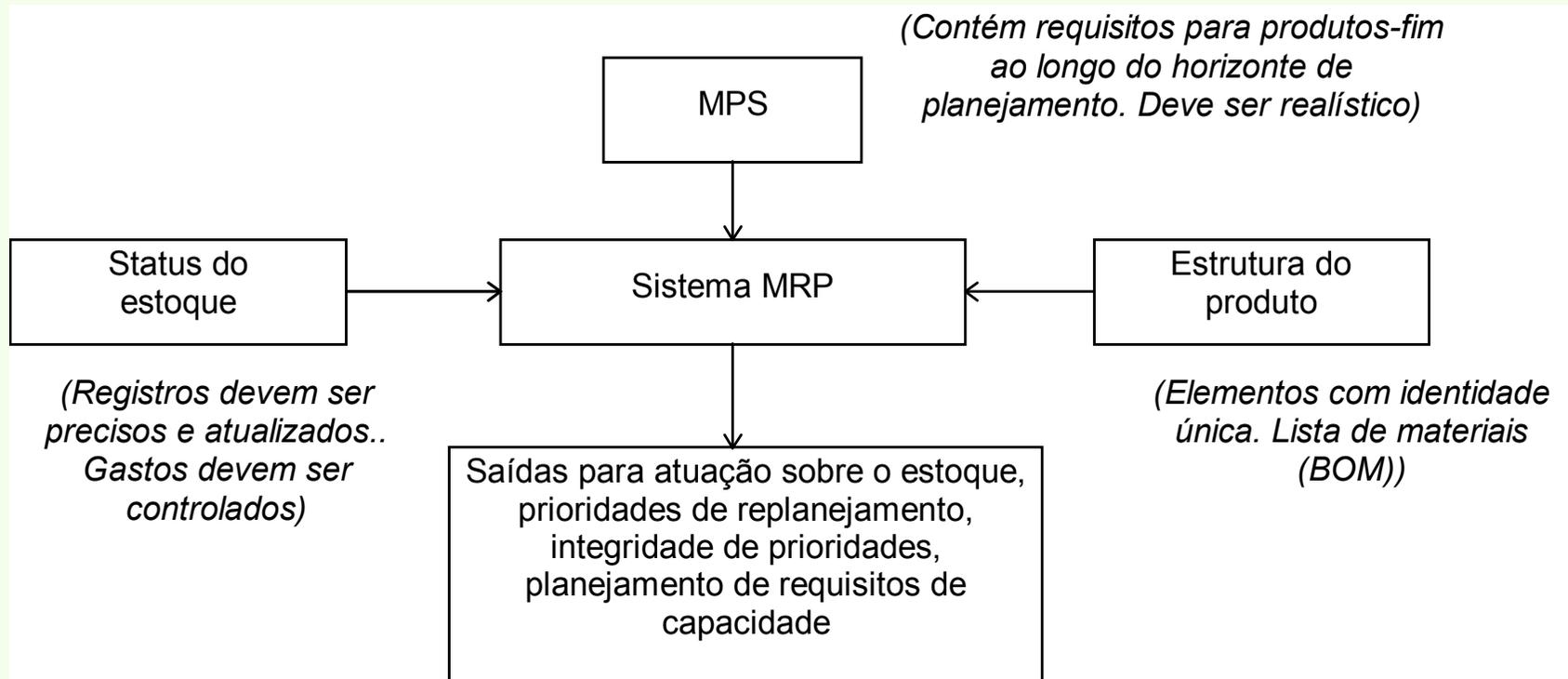


Estoque:  
Quanto mais tempo ele permanece,  
mais difícil fica para retirá-lo

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Entretanto  $\Rightarrow$  freqüentemente o fornecedor é exigido a estocar e usar as peças quando há a necessidade.
- Na maioria das funções da manufatura, necessita-se algum estoque ou estoque de segurança.
- O MRP I é um tipo de sistema de gerenciamento de estoque (ver próxima figura).

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)



*Relação do sistema MRP com outros sistemas de planejamento*

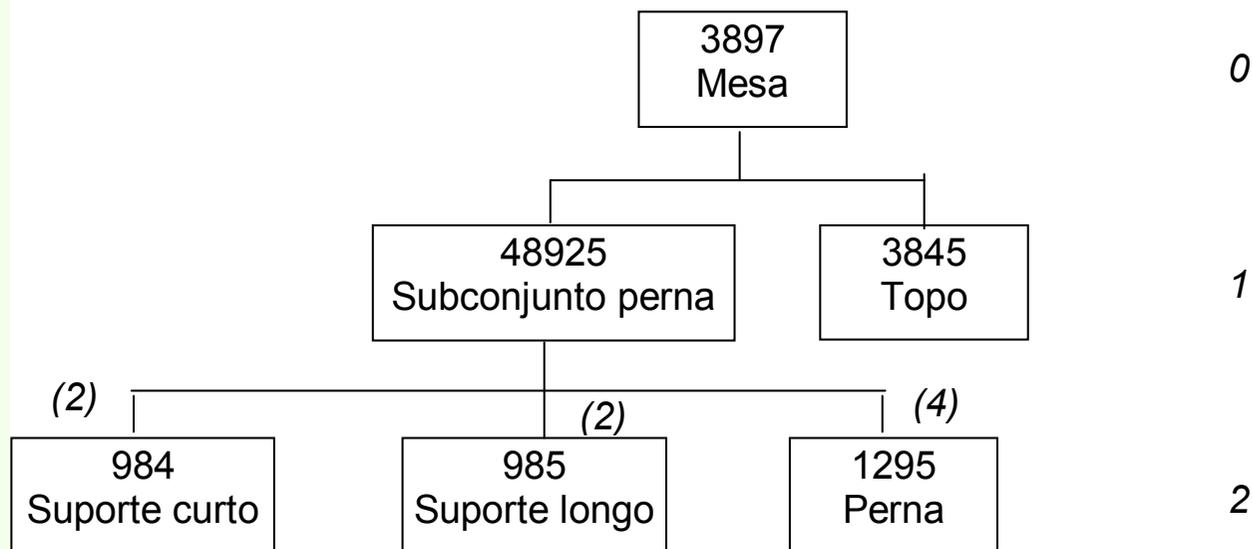
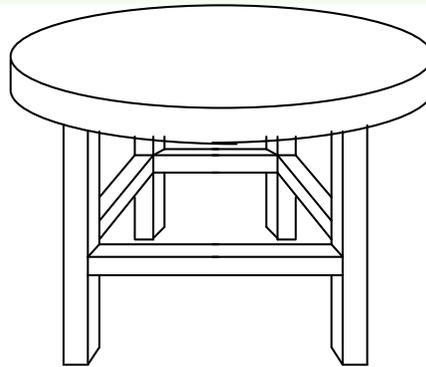
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- 2 entradas tradicionais fornecem informações críticas para um sistema MRP efetivo:
  - BOM;
  - estoque atual.
- Os dados destas 2 fontes devem ser **sincronizados e precisos** para um sistema formal de MRP funcionar.
- Atualizações do sistema de controle de estoque (manufatura ou compras) devem ser contínuas.
  - P.ex. em algumas operações de manufatura, peças de **fornecedores** chegam diariamente  $\Rightarrow$  controle de estoque é atualizado quando as peças chegam, visando fornecer informações sincronizadas para os planejadores.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Maioria das instalações de MRP exige-se:
  - precisão do BOM de pelo menos **95%**,
  - precisão de localização e contagem de peças acima de **98%**.
- BOM  $\Rightarrow$  fornece para o MRP o nº da peça & a quantidade de todas as peças necessárias para construir e montar o produto.
- Sistemas de **controle de estoque**  $\Rightarrow$  fornecem para o MRP o balanço de **peças disponíveis** e dos **materiais** listados no BOM.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)



*Um exemplo de lista de materiais (BOM)*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Saída de um MRP (**liberações de ordens planejadas**) ⇒ direcionadas para **compras** ou para a **manufatura interna**, baseado em estudos sobre **comprar ou fazer**.
- Cálculos de MRP que geram as ordens planejadas são afetadas por outras 3 variáveis:
  - estoque de segurança,
  - tamanho de lote,
  - “lead time” (= tempo de atravessamento).
- Registro de MRP ⇒ usado para registrar manualmente os dados associados aos cálculos do MRP (ver próxima figura)

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

| N <sup>o</sup> da peça            | Número do Período |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-----------------------------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                   | 1                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Requisitos brutos                 |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Recebimentos agendados            |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Disponível antes                  |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Recebimentos de ordens planejadas |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Liberações de ordens planejadas:  |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Lead time =                       |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Tamanho de lote =                 |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Estoque de segurança =            |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

*Um registro de MRP*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

- Registro do MRP na figura abaixo ⇒ ilustra os valores presentes no registro antes dos cálculos.

| N <sup>o</sup> da peça   | Número do Período |   |   |    |    |   |    |    |   |    |
|--|-------------------|---|---|----|----|---|----|----|---|----|
|  | 1                 | 2 | 3 | 4  | 5  | 6 | 7  | 8  | 9 | 10 |
| Requisitos brutos  | 16                |   | 8 | 15 | 21 |   | 12 | 15 |   | 28 |
| Recebimentos agendados   | 15                |   |   |    |    |   |    |    |   |    |
| Disponível antes   | 4                 |   |   |    |    |   |    |    |   |    |
| Recebimentos de ordens planejadas  |                   |   |   |    |    |   |    |    |   |    |
| Liberações de ordens planejadas:<br>Lead time = 1<br>Tamanho de lote = 5<br>Estoque de segurança = 0 |                   |   |   |    |    |   |    |    |   |    |

*Registro básico de MRP com valores iniciais*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- **Cálculos de MRP**

- ***Requisitos Brutos*** (16 unidades)  $\Rightarrow$  podem advir tanto do próximo nível mais elevado do diagrama da estrutura do produto ou do MPS.
- ***Recebimentos Agendados*** (3 vezes o tamanho de lote de 5, i.e. 15 unidades)  $\Rightarrow$  são liberações de ordens planejadas que tornaram-se ordens firmadas quando estas foram liberadas para a manufatura ou para o fornecedor no último período do registro anterior.
- ***Estoque Disponível para o início do primeiro período*** (4 unidades mostradas na caixa)  $\Rightarrow$  determinado a partir do registro do MRP referente ao último período; é freqüentemente verificado por uma contagem do estoque de peças.
- ***Lead Time, Tamanho de Lote e o Estoque de Segurança***  $\Rightarrow$  estabelecidos pelos departamentos de compras e manufatura.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

- Cálculos do registro  $\Rightarrow$  iniciam com o primeiro período e prosseguem até o último.
- Cálculos determinam o balanço projetado disponível e a necessidade de uma liberação de ordem planejada.
  - Se o balanço de estoque projetado for **positivo** e acima do nível de estoque de segurança, nenhuma ação é necessária para aquele período.
  - Entretanto, se o balanço for **negativo** ou menor do que o estoque de segurança exigido  $\Rightarrow$  uma liberação de ordem é necessária e deve ser incluída nos cálculos do balanço de estoque.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

*Cálculos no Período 1:*

*Estoque inicial + recebimentos agendados - requisitos brutos = balanço projetado disponível*

$$4 + 15 - 16 = 3 \text{ unidades}$$

- O balanço projetado disponível de 3 unidades estaria disponível no início do segundo período.

*Cálculos no Período 2:*

*Estoque inicial + recebimentos agendados - requisitos brutos = balanço projetado disponível*

*(ou recebimentos de ordens planejadas)*

$$3 + 0 - 0 = 3 \text{ unidades}$$

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

- Cálculos de MRP

- Estoque inicial para o período 2 = estoque final para o período 1.
- Período 2  $\Rightarrow$  poderia ter ou um recebimento agendado ou um recebimento de ordem planejada, dependendo das necessidades da produção e do lead time.
- Nessa situação não houve necessidade de nenhum dos dois.
- As equações para todos os períodos subseqüentes serão as mesmas que a equação do período 2.

*Cálculos no Período 3:  $3 + 5 - 8 = 0$  unidades*

*Cálculos no Período 4:  $0 + 15 - 15 = 0$  unidades*

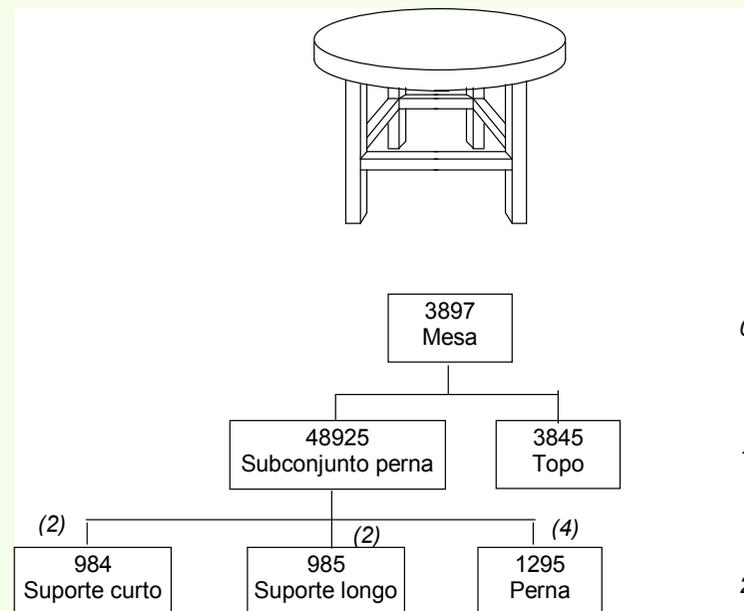
*Cálculos no Período 5:  $0 + 25 - 21 = 4$  unidades*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

| Nº da peça   | Número do Período |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|-------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 1                 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| Requisitos brutos  | 16                |   | 8  | 15 | 21 |    | 12 | 15 |    | 28 |
| Recebimentos agendados   | 15                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Disponível antes   | 4                 | 3 | 3  | 0  | 0  | 4  | 4  | 2  | 2  | 4  |
| Recebimentos de ordens planejadas  |                   |   | 5  | 15 | 25 |    | 10 | 15 |    | 30 |
| Liberações de ordens planejadas:<br>Lead time = 1<br>Tamanho de lote = 5<br>Estoque de segurança = 0 |                   | 5 | 15 | 25 |    | 10 | 15 |    | 30 |    |

*Registro de MRP completado*

|  | Número do Período |    |    |      |    |     |       |    |    |    |
|--|-------------------|----|----|------|----|-----|-------|----|----|----|
| <i>Produto 48925 (subconjunto Perna)</i> | 1                 | 2  | 3  | 4    | 5  | 6   | 7     | 8  | 9  | 10 |
| Previsão                                 | 10                | 10 | 10 | 20   | 10 | 10  | 20    | 20 | 20 | 20 |
| Disponível depois                        | 25                | 15 | 5  | 30   | 20 | 10  | 65    | 45 | 25 | 5  |
| MPS                                      | (30)              |    |    | (45) |    |     | (75)  |    |    |    |
| Disponível antes                         | 5                 |    |    |      |    |     |       |    |    |    |
|  |                   | 2x |    |      | 2x |     |       | 2x |    |    |
| <i>Peça nº 948 (suporte curto)</i>       | 1                 | 2  | 3  | 4    | 5  | 6   | 7     | 8  | 9  | 10 |
| Requisitos brutos                        | (60)              |    |    | (90) |    |     | (150) |    |    |    |
| Recebimentos agendados                   | 40                |    |    |      |    |     |       |    |    |    |
| Disponível antes                         | 23                | 3  | 3  | 3    | 3  | 3   | 3     | 3  | 3  | 3  |
| Recebimentos de ordens planejadas        |                   |    |    | 90   |    |     | 150   |    |    |    |
| Liberações de ordens planejadas:         |                   | 90 |    |      |    | 150 |       |    |    |    |
| Lead time = 2                            |                   |    |    |      |    |     |       |    |    |    |
| Tamanho de lote = 5                      |                   |    |    |      |    |     |       |    |    |    |
| Estoque de segurança = 0                 |                   |    |    |      |    |     |       |    |    |    |



*Interface entre registro de MRP e MPS para peças da mesa ilustrada anteriormente*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

|                                   | Número do Período |    |    |      |    |    |      |    |    |    |
|-----------------------------------|-------------------|----|----|------|----|----|------|----|----|----|
|                                   | 1                 | 2  | 3  | 4    | 5  | 6  | 7    | 8  | 9  | 10 |
| Previsão                          | 10                | 10 | 10 | 20   | 10 | 10 | 20   | 20 | 20 | 20 |
| Disponível depois                 | 25                | 15 | 5  | 30   | 20 | 10 | 65   | 45 | 25 | 5  |
| MPS                               | (30)              |    |    | (45) |    |    | (75) |    |    |    |
| Disponível antes                  | 5                 |    |    |      |    |    |      |    |    |    |
|                                   |                   |    | 1x |      |    | 1x |      |    | 1x |    |
| <i>Peça no 3887 (mesa)</i>        | 1                 | 2  | 3  | 4    | 5  | 6  | 7    | 8  | 9  | 10 |
| Requisitos brutos                 | (30)              |    |    | (45) |    |    | (75) |    |    |    |
| Recebimentos agendados            | 40                |    |    |      |    |    |      |    |    |    |
| Disponível antes                  | 5                 | 15 | 15 | 15   | 10 | 10 | 10   | 15 | 15 | 15 |
| Recebimentos de ordens planejadas |                   |    |    | 40   |    |    | 80   |    |    |    |
| Liberações de ordens planejadas:  |                   | 40 |    |      |    | 80 |      |    |    |    |
| Lead time = 3                     |                   |    |    |      |    |    |      |    |    |    |
| Tamanho de lote = 20              |                   |    |    |      |    |    |      |    |    |    |
| Estoque de segurança = 0          |                   |    |    |      |    |    |      |    |    |    |

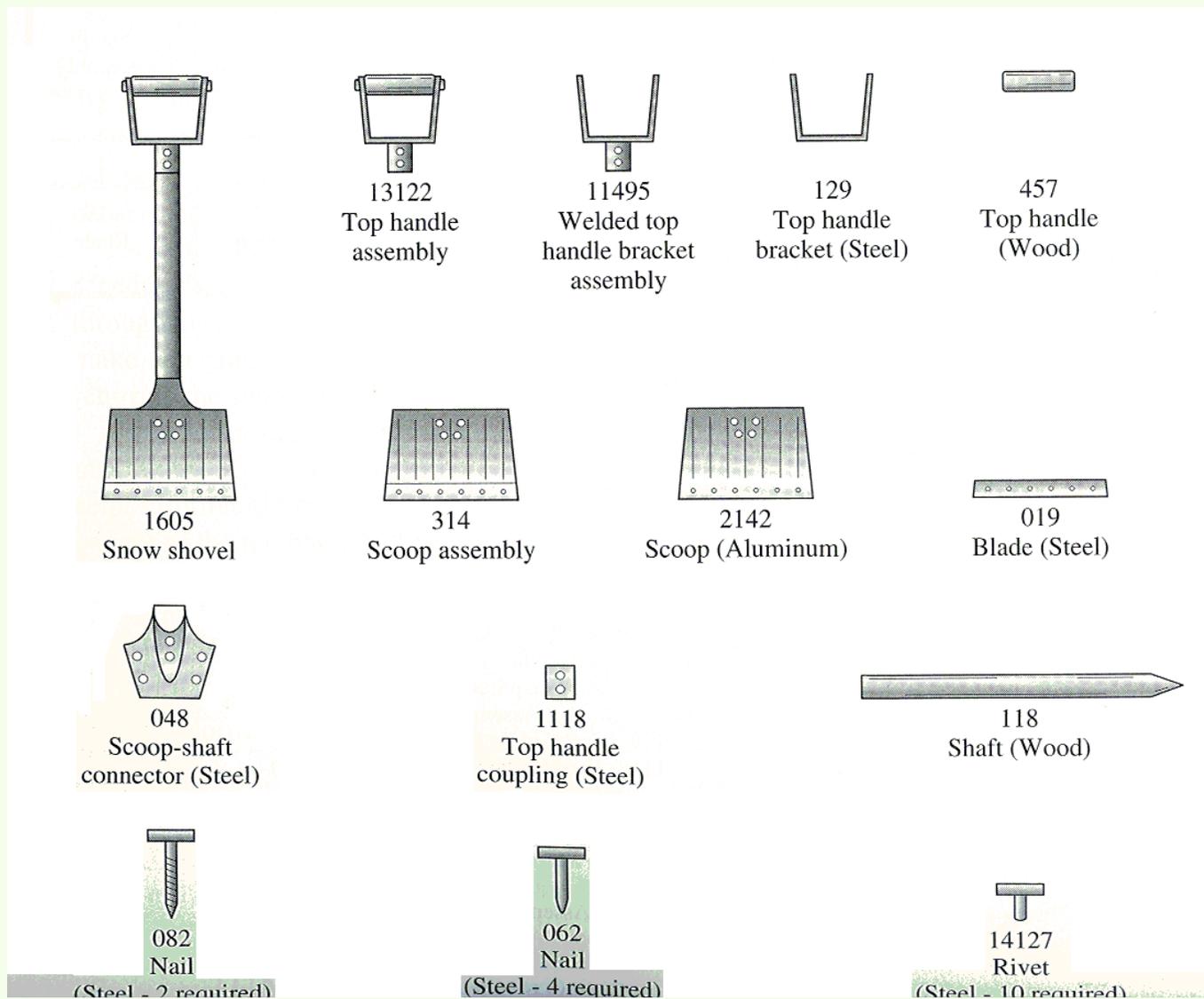
*Interface entre registro de MRP e MPS para peças da mesa ilustrada anteriormente*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE MATERIAIS (MRP I)

**EXERCÍCIO:** Preencha a tabela abaixo, referente ao MRP para uma determinada peça

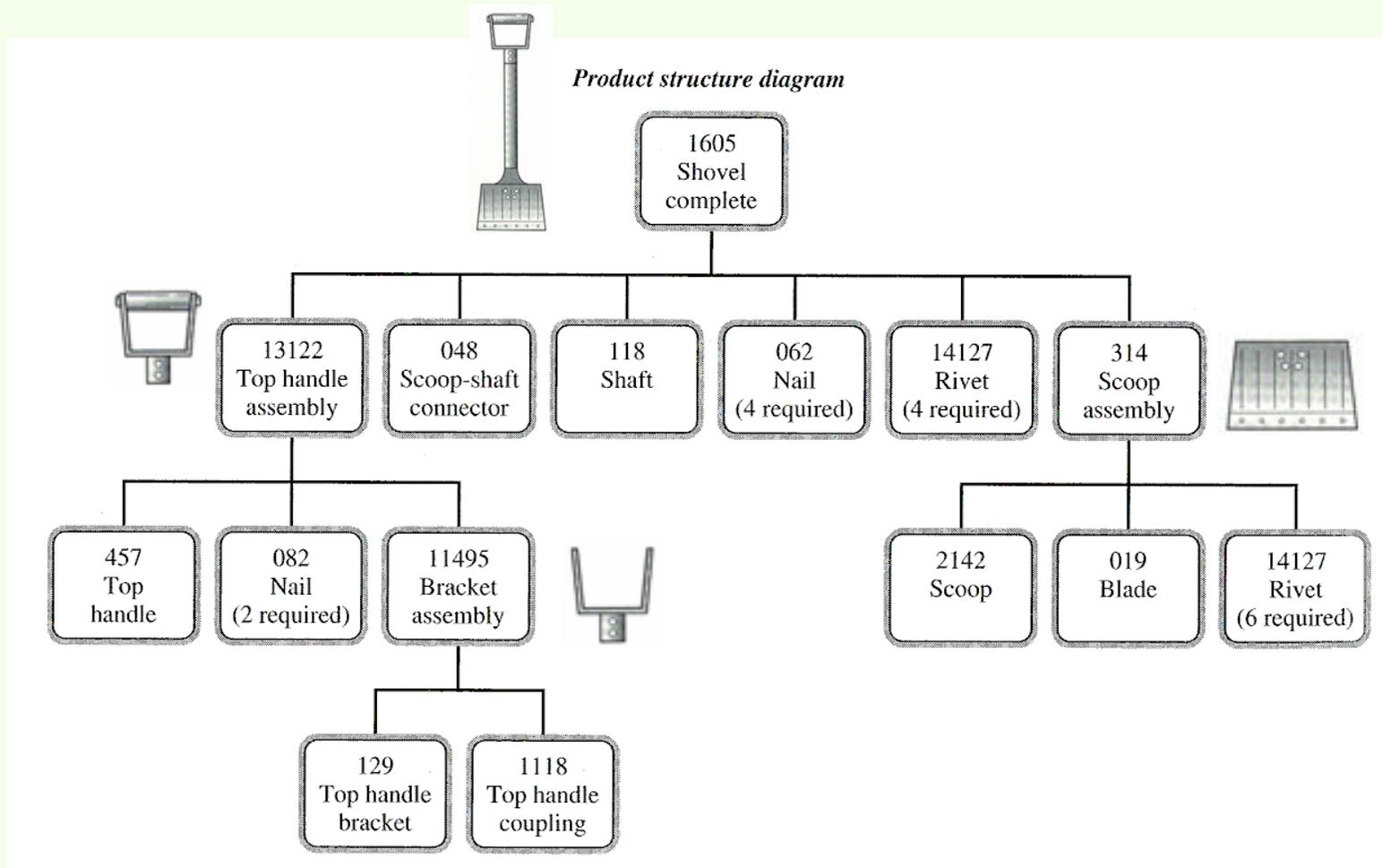
| <i>Período</i>   |    | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i> | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> |
|--|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Requisitos brutos</i>   |    | 28       | 19       | 23       | 20       | 22       | 17       | 15       | 11       | 31       | 21        | 38        | 26        |
| <i>Recebimentos agendados</i>  |    | 20       |          | 20       |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <i>Disponível antes</i>  | 22 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <i>Recebimento de ordens planejadas</i>                                      |    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <i>Liberção de ordens planejadas</i>   |    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <i>Lead-Time = 2 períodos; Tamanho de lote = 5; Estoque de segurança = 5</i> |    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



*Exemplo:  
Componentes e  
Submontagens  
de uma pá para  
neve  
(código 1605)*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



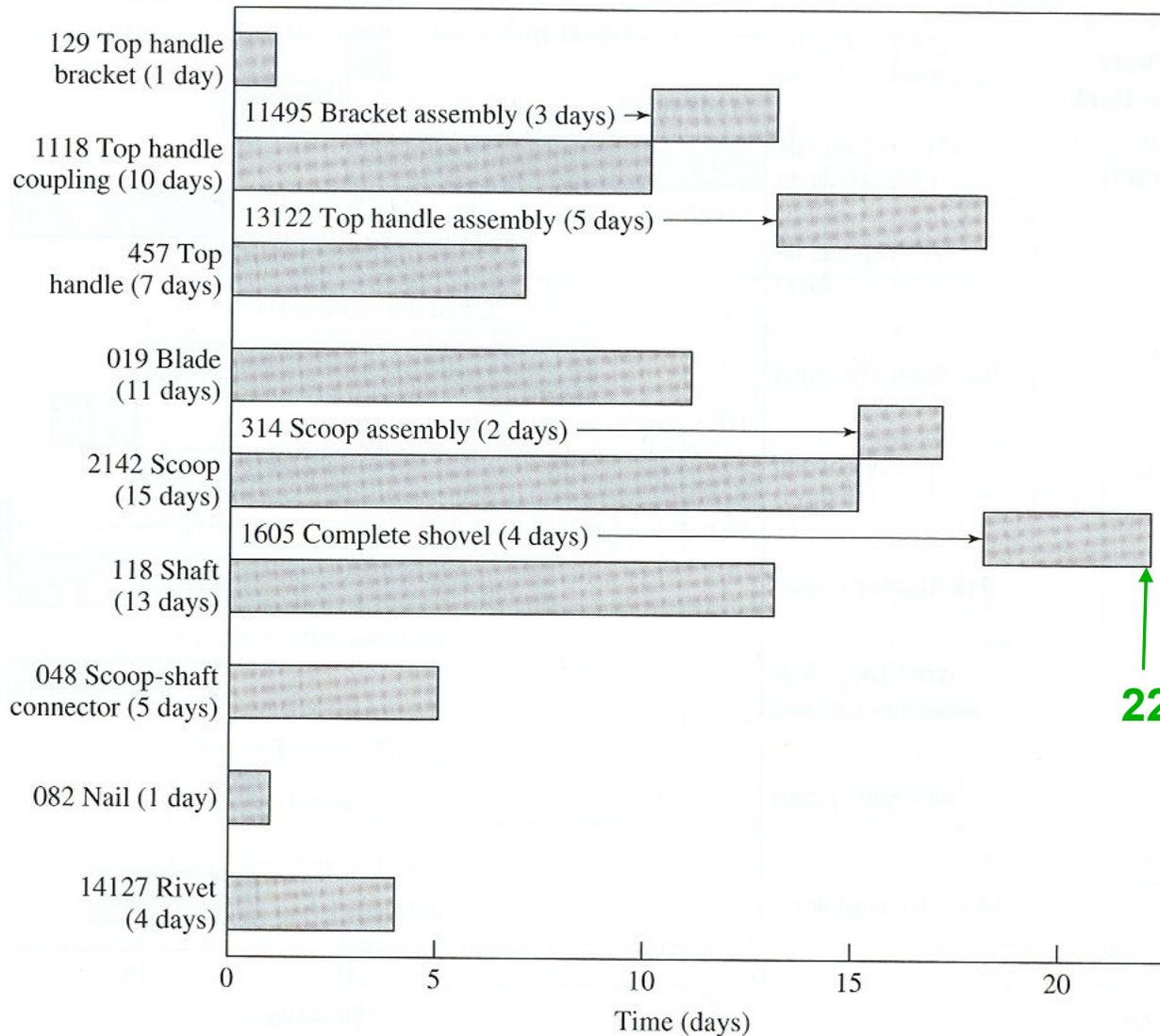
*Lista de Materiais de uma pá para neve (código 1605)*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

| Part Description    | Part Number | Inventory | Scheduled Receipts | Gross Requirements | Net Requirements |
|---------------------|-------------|-----------|--------------------|--------------------|------------------|
| Top handle assembly | 13122       | 25        | —                  | 100                | 75               |
| Top handle          | 457         | 22        | 25                 | 75                 | 28               |
| Nail (2 required)   | 082         | 4         | 50                 | 150                | 96               |
| Bracket assembly    | 11495       | 27        | —                  | 75                 | 48               |
| Top handle bracket  | 129         | 15        | —                  | 48                 | 33               |
| Top handle coupling | 1118        | 39        | 15                 | 48                 | —                |

*Cálculo de requisitos de materiais para a pá para neve*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



*Gráfico de Gantt resultante da abordagem progressiva aplicada à pá para neve*

*(usada normalmente no caso de prioridade máxima do produto)*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

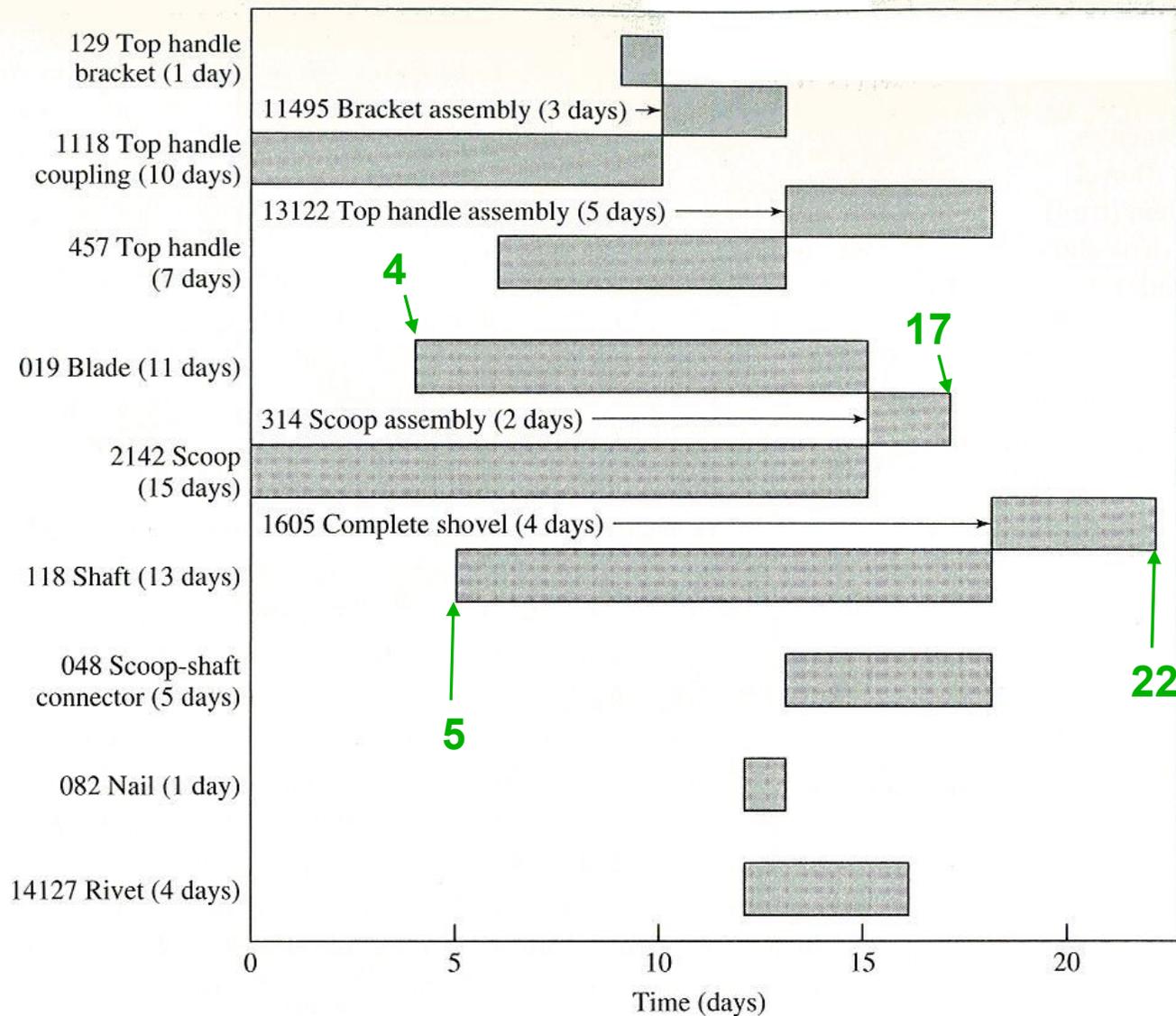


Gráfico de Gantt resultante da abordagem regressiva aplicada à pá para neve

|  |                             | Week |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|-----------------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  |                             | 1    | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |    |
| 13122 Top handle assembly<br>Lead time = 2                     | Gross requirements          |      |    | 20 |    | 10 |    | 20 | 5  |    | 35 | 10 |
|  | Scheduled receipts          |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Projected available balance | 25   | 25 | 5  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|  | Planned order releases      |      |    | 5  |    | 20 | 5  |    | 35 | 10 |    |    |
| 457 Top handle<br>Lead time = 2                                | Gross requirements          |      |    | 5  |    | 20 | 5  |    | 35 | 10 |    |    |
|  | Scheduled receipts          |      |    |    | 25 |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Projected available balance | 22   | 22 | 17 | 42 | 22 | 17 | 17 | 0  | 0  | 0  | 0  |
|  | Planned order releases      |      |    |    |    |    | 18 | 10 |    |    |    |    |
| 082 Nail<br>(2 required)<br>Lead time = 1<br>Lot size = 50     | Gross requirements          |      |    | 10 |    | 40 | 10 |    | 70 | 20 |    |    |
|  | Scheduled receipts          |      | 50 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Projected available balance | 4    | 54 | 44 | 44 | 4  | 44 | 44 | 24 | 4  | 4  | 4  |
|  | Planned order releases      |      |    |    |    | 50 |    | 50 |    |    |    |    |
| 11495 Bracket assembly<br>Lead time = 2                        | Gross requirements          |      |    | 5  |    | 20 | 5  |    | 35 | 10 |    |    |
|  | Scheduled receipts          |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Projected available balance | 27   | 27 | 22 | 22 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|  | Planned order releases      |      |    |    | 3  |    | 35 | 10 |    |    |    |    |
| 129 Top handle bracket<br>Lead time = 1                        | Gross requirements          |      |    |    | 3  |    | 35 | 10 |    |    |    |    |
|  | Scheduled receipts          |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Projected available balance | 15   | 15 | 15 | 12 | 12 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|  | Planned order releases      |      |    |    |    | 23 | 10 |    |    |    |    |    |
| 1118 Top handle coupling<br>Lead time = 3<br>Safety stock = 20 | Gross requirements          |      |    |    |    | 3  |    | 35 | 10 |    |    |    |
|  | Scheduled receipts          |      |    | 15 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Projected available balance | 39   | 39 | 54 | 51 | 51 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
|  | Planned order releases      |      |    | 4  | 10 |    |    |    |    |    |    |    |

*Registros de MRP para a submontagem "alça" da pá para neve*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- CRP:
  - agenda a capacidade para cada peça independentemente
  - então soma a capacidade planejada para cada centro de trabalho para cada peça processada.
- Se um centro de trabalho é usado por muitas peças → é possível que a capacidade planejada exceda as horas disponíveis no período.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O processo inicia com um **MPS teórico** que é convertido em **liberações de ordens planejadas** através do MRP.
- Usando os roteamentos para identificar os centros de trabalho necessários → requisitos de materiais são convertidos em **mão-de-obra** e **carga-máquina** nos centros de trabalho.
- As carga-máquinas são agendadas através do CRP e verifica-se a capacidade planejada junto com a capacidade disponível.
- **Ordens** são liberadas para os centros de trabalho com horas suficientes para produzir as peças.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Entretanto → centros de trabalho com cargas ↑ que a capacidade disponível → requerem uma **mudança**:
  - ou nos roteamentos
  - ou no MPS para satisfazer a capacidade existente,
  - ou um aumento na capacidade através de horas extras, uso de máquinas adicionais,
  - ou subcontratação.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Master production schedule (in units):

| End Product | Period |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Total |
|-------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
|             | 1      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |       |
| A           | 33     | 33 | 33 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 37 | 37 | 37 | 37 | 457   |
| B           | 17     | 17 | 17 | 13 | 13 | 13 | 25 | 25 | 25 | 27 | 27 | 27 | 27 | 273   |

Direct labor time per end product unit:

| End Product | Total Direct Labor in Standard Hours/Unit |
|-------------|---|
| A           | 0.95 hours                                |
| B           | 1.85                                      |

Estimated Capacity Requirements Using Overall Factors (in standard direct labor-hours)

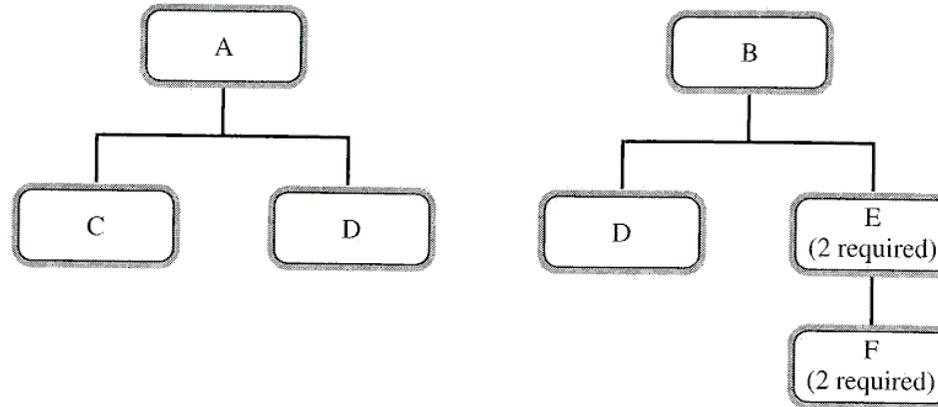
| Work Center             | Historical Percentage | Period |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Total Hours |
|-------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|                         |                       | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |             |
| 100                     | 60.3                  | 37.87  | 37.87 | 37.87 | 37.41 | 37.41 | 37.41 | 45.07 | 45.07 | 45.07 | 51.32 | 51.32 | 51.32 | 51.32 | 566.33      |
| 200                     | 30.4                  | 19.09  | 19.09 | 19.09 | 18.86 | 18.86 | 18.86 | 22.72 | 22.72 | 22.72 | 25.87 | 25.87 | 25.87 | 25.87 | 285.49      |
| 300                     | 9.3                   | 5.84   | 5.84  | 5.84  | 5.78  | 5.78  | 5.78  | 6.96  | 6.96  | 6.96  | 7.91  | 7.91  | 7.91  | 7.91  | 87.38       |
| Total required capacity |                       | 62.80* | 62.80 | 62.80 | 62.05 | 62.05 | 62.05 | 74.75 | 74.75 | 74.75 | 85.10 | 85.10 | 85.10 | 85.10 | 939.20      |

\*62.80 = (

$$62,80 = (0,95 \times 33) + (1,85 \times 17)$$

*CP com Fatores Globais: entrada direta do MPS*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



CP com Fatores Globais : considera a Estrutura do Produto  
Slide 1

Routing and Standard Time Data

|                     | Lot Sizes | Operation | Work Center | Standard Setup Hours | Standard Setup Hours per Unit | Standard Run Time Hours per Unit | Total Hours per Unit |
|---------------------|-----------|-----------|-------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| <b>End Products</b> |           |           |             |                      |                               |                                  |                      |
| A                   | 40        | 1 of 1    | 100         | 1.0                  | 0.025*                        | 0.025                            | 0.05†                |
| B                   | 20        | 1 of 1    | 100         | 1.0                  | 0.050                         | 1.250                            | 1.30                 |
| <b>Components</b>   |           |           |             |                      |                               |                                  |                      |
| C                   | 40        | 1 of 2    | 200         | 1.0                  | 0.025                         | 0.575                            | 0.60                 |
|                     |           | 2 of 2    | 300         | 1.0                  | 0.025                         | 0.175                            | 0.20                 |
| D                   | 60        | 1 of 1    | 200         | 2.0                  | 0.033                         | 0.067                            | 0.10                 |
| E                   | 100       | 1 of 1    | 200         | 2.0                  | 0.020                         | 0.080                            | 0.10                 |
| F                   | 100       | 1 of 1    | 200         | 2.0                  | 0.020                         | 0.0425                           | 0.0625               |

0,025 = tempo de setup / tamanho de lote = 1,0 / 40

0,05 = tempo de setup padrão por unidade + tempo de processamento padrão por unidade

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

| Work Center     | A                 | B                 |
|-----------------|-------------------|-------------------|
|                 | Total Time/Unit   | Total Time/Unit   |
| 100             | 0,05              | 1,30              |
| 200             | 0,70 <sup>‡</sup> | 0,55 <sup>§</sup> |
| 300             | 0,20              | 0,00              |
| Total time/unit | 0,95              | 1,85              |

0,70 = 0,60 + 0,10 para um C e um D

0,55 = 0,10 + 2(0,10) + 4(0,0625) para um D, dois E, quatro F

**CP com Fatores Globais :**  
considera a Estrutura do Produto

Slide 2

| Work Center | Period |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Total Hours | Projected Work Center Percentage |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|----------------------------------|
|             | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |             |                                  |
| 100         | 23,75  | 23,75 | 23,75 | 18,90 | 18,90 | 18,90 | 34,00 | 34,00 | 34,00 | 36,95 | 36,95 | 36,95 | 36,95 | 377,75      | 40%                              |
| 200         | 32,45  | 32,45 | 32,45 | 35,15 | 35,15 | 35,15 | 34,75 | 34,75 | 34,75 | 40,75 | 40,75 | 40,75 | 40,75 | 470,05      | 50%                              |
| 300         | 6,60   | 6,60  | 6,60  | 8,00  | 8,00  | 8,00  | 6,00  | 6,00  | 6,00  | 7,40  | 7,40  | 7,40  | 7,40  | 91,40       | 10%                              |
| Total       | 62,80  | 62,80 | 62,80 | 62,05 | 62,05 | 62,05 | 74,75 | 74,75 | 74,75 | 85,10 | 85,10 | 85,10 | 85,10 | 939,20      | 100%                             |

23,75 = (33 x 0,05) + (17 x 1,30)

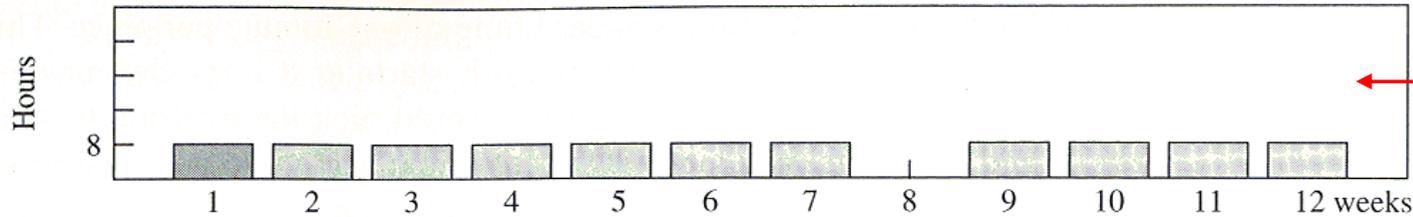
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

|  | Period |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 1      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Product A MPS  | 33     | 33 | 33 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| Component C  |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Lot size = 40  |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Lead time = 2  |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Gross requirements                                     | 33     | 33 | 33 | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| Scheduled receipts                                     |        | 40 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Projected available balance                            | 37     | 4  | 11 | 18 | 18 | 18 | 28 | 38 | 8  | 11 | 14 | 17 | 20 |
| Planned order releases                                 | 40     | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |    | 40 | 40 | 40 | 40 |    |    |
| <b>Work center 300 Capacity Requirements Using CRP</b> |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | Period |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|  | 1      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Hours of capacity*                                     | 8      | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 0  | 8  | 8  | 8  | 8  |    |
| Total = 88   |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

8 horas de capacidade exigidas = tempo de setup (=1,0) + 40 unidades X tempo para fabricar uma unidade de C na máquina (centro de trabalho) 300, que é igual a 0,175

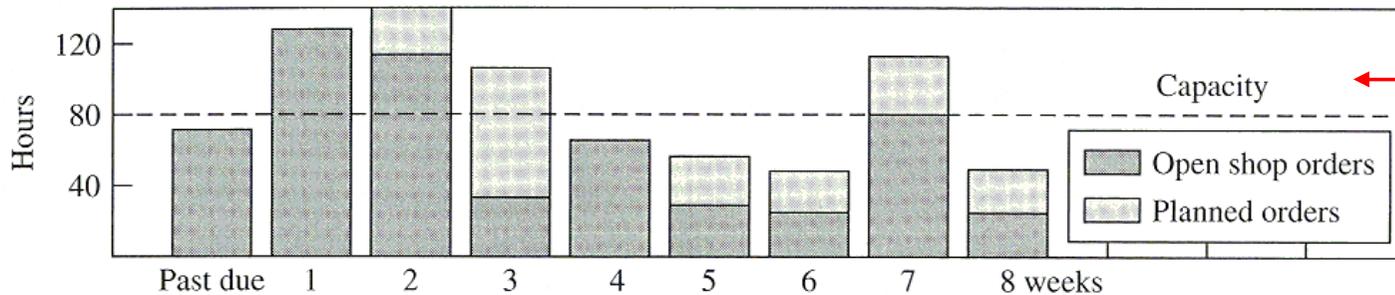
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Capacity requirements for work center 300—from product A



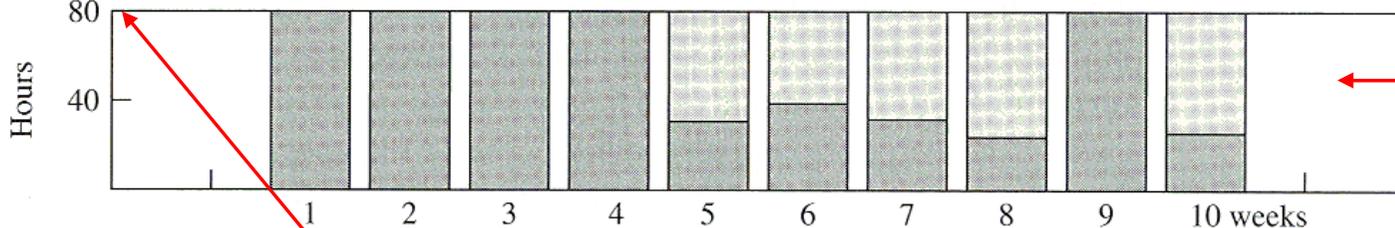
**CRP para o centro de trabalho 300 (somente produto A)**

CRP profile for work center 300—from all products



**CRP para o centro de trabalho 300 (todos os produtos)**

Finite load capacity profile for work center 300



**FCS – Programação com Capacidade Finita - para o centro de trabalho 300**

**Limite de capacidade (independe do agendamento das ordens)**

**FCS → determina quais tarefas serão completadas, baseando-se em como as tarefas são agendadas**

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

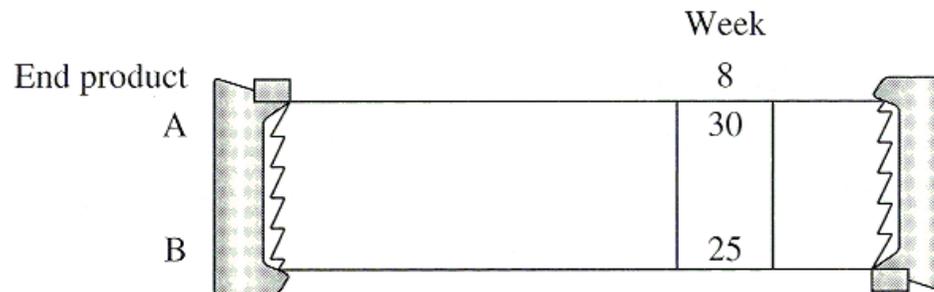
- FCS → o resultado é um conjunto de datas de início e fim para cada operação em cada centro de trabalho.
- Ele é utilizado em curto prazo (previsões são menos confiáveis a longo prazo).

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

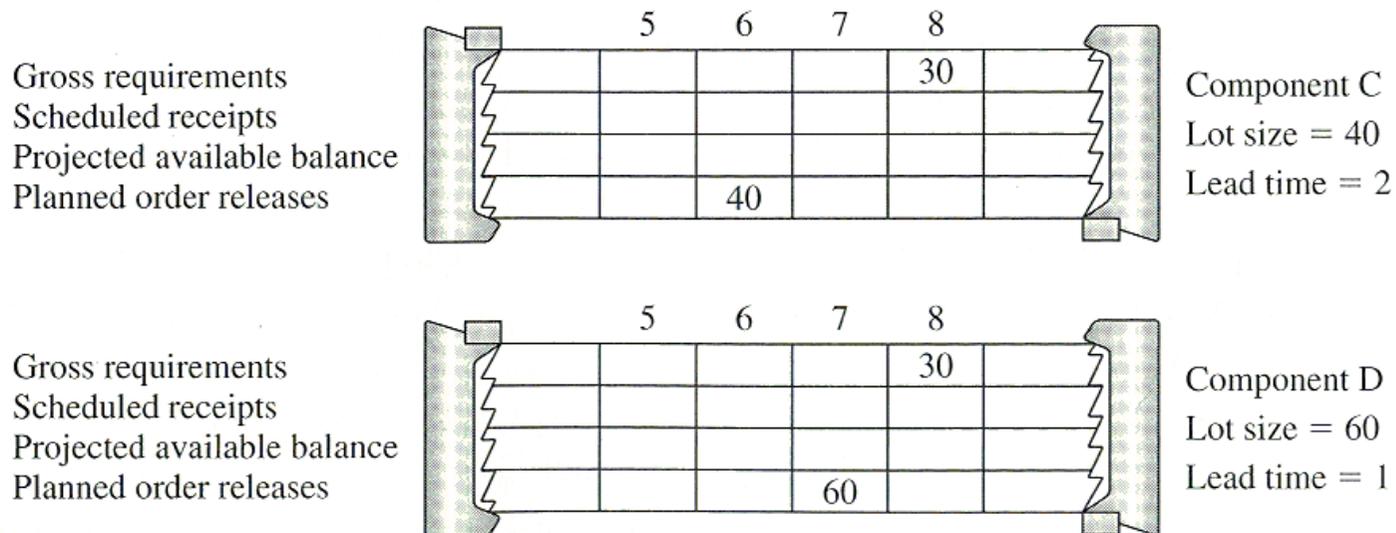
- Exemplo de simulação (minuto-a-minuto):
  - Centro de trabalho 300
  - 2ª-feira de manhã, na 1ª semana
  - Uma tarefa já está sendo processada, e 150 peças permanecem com um tempo padrão de um minuto por peça.
  - Esta ordem consome os primeiros 150 minutos de capacidade: começa às 8:00h, a máquina fica ocupada até 10:30h.
  - O software selecionaria a próxima tarefa para este centro de trabalho, levando em conta os tempos de setup e processamento.
  - O processo é repetido ao longo de todo o dia, e depois no dia seguinte, etc.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

Master production schedule



MRP records for components C and D



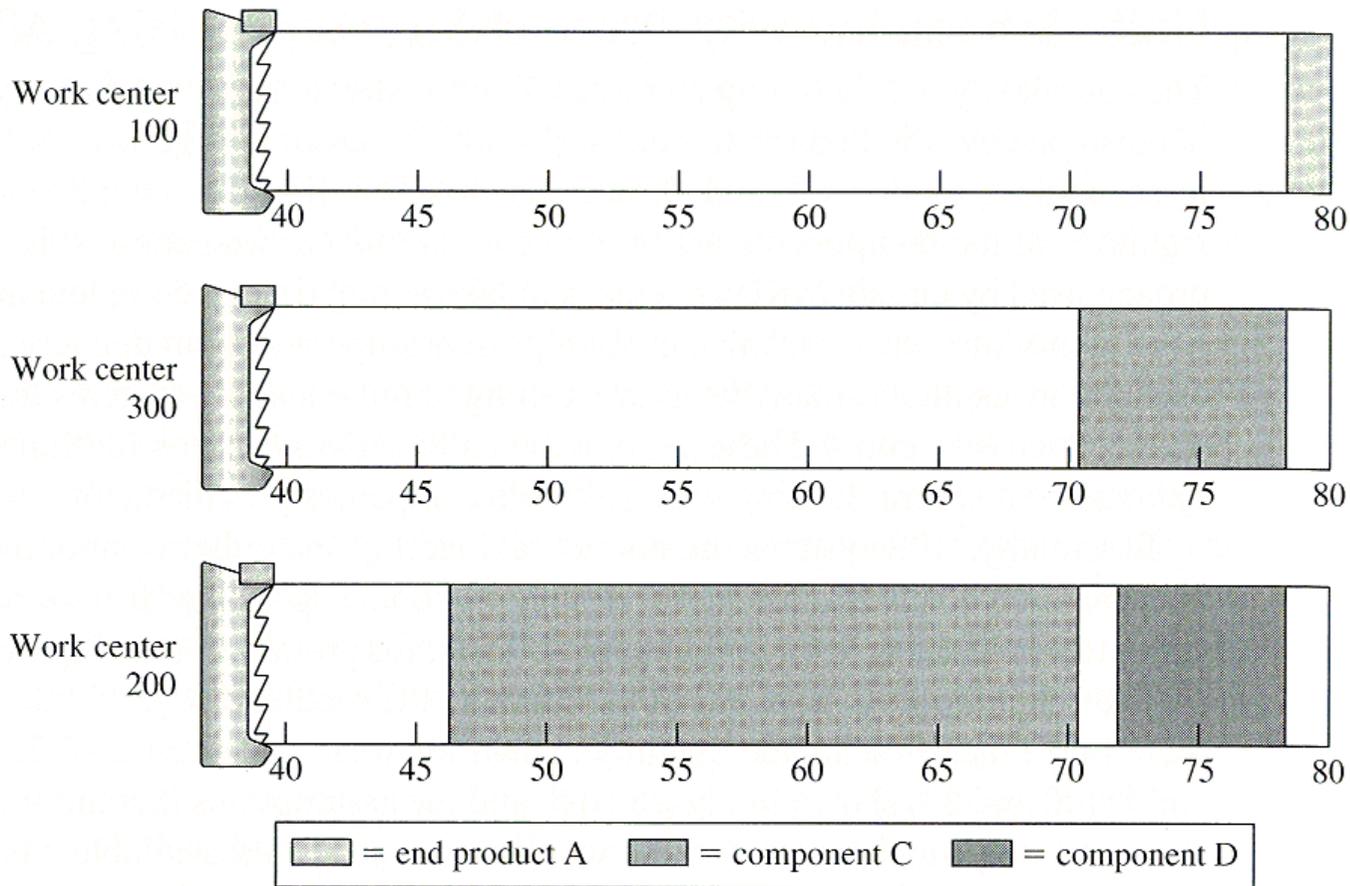
*Dados para a abordagem APS (Advanced Production Scheduling) para o produto final A*



*Programação da produção de todo o produto como uma só entidade*

**Slide 1**

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



**Agenda  
Regressiva  
para os  
centros de  
trabalho 100,  
200 e 300**

**Slide 2**

**Centro de Trabalho 100: requisito de capacidade =  $1,5 h = 0,05h/unid \times 30$**

**Peça C requer 24 horas de capacidade no centro de trabalho 200 ( $0,6 h/unid \times 40$ )**

**8 horas de capacidade no centro de trabalho 300 ( $0,2 h/unid \times 40$ )**

**Peça D requer 6 horas de capacidade no centro de trabalho 200 ( $0,1 h/unid \times 60$ )**

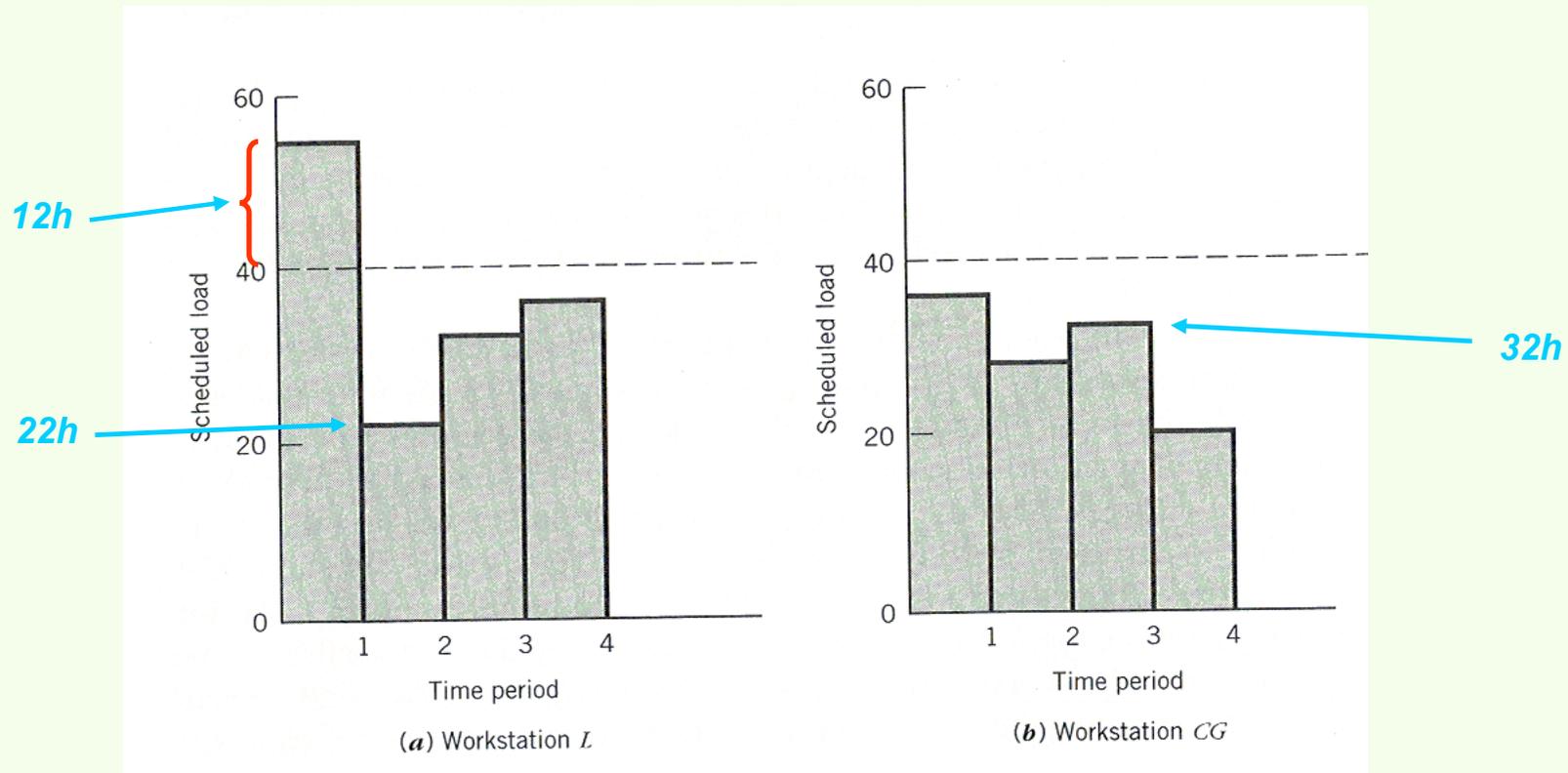
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Vantagem de APS:
  - Todo o MPS completado em menos de 0,5 semana ( $33,5h / 80 = 0,41$  semana)
  - Tempo esperado das abordagens padrão de MRP = 3 semanas (86% de redução de lead time) → WIP ↓; tempo de resposta às condições do mercado ↓

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Aparente problema de APS:
  - A programação acima pode deixar pessoas nervosas!
  - Possível solução → superestimar os tempos usados para a programação APS → O problema é resolvido?
    - Tendência consistente que degrada o processo de programação.
  - Uma abordagem melhor:
    - focar na melhoria das estimativas de tempo
    - Execução com um mínimo de falhas
    - Recuperação imediata de falhas
  - Reprogramação freqüente → erros são refletidos e compensados nos programas (seqüências) atualizados

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



**Job shop: FIFO**

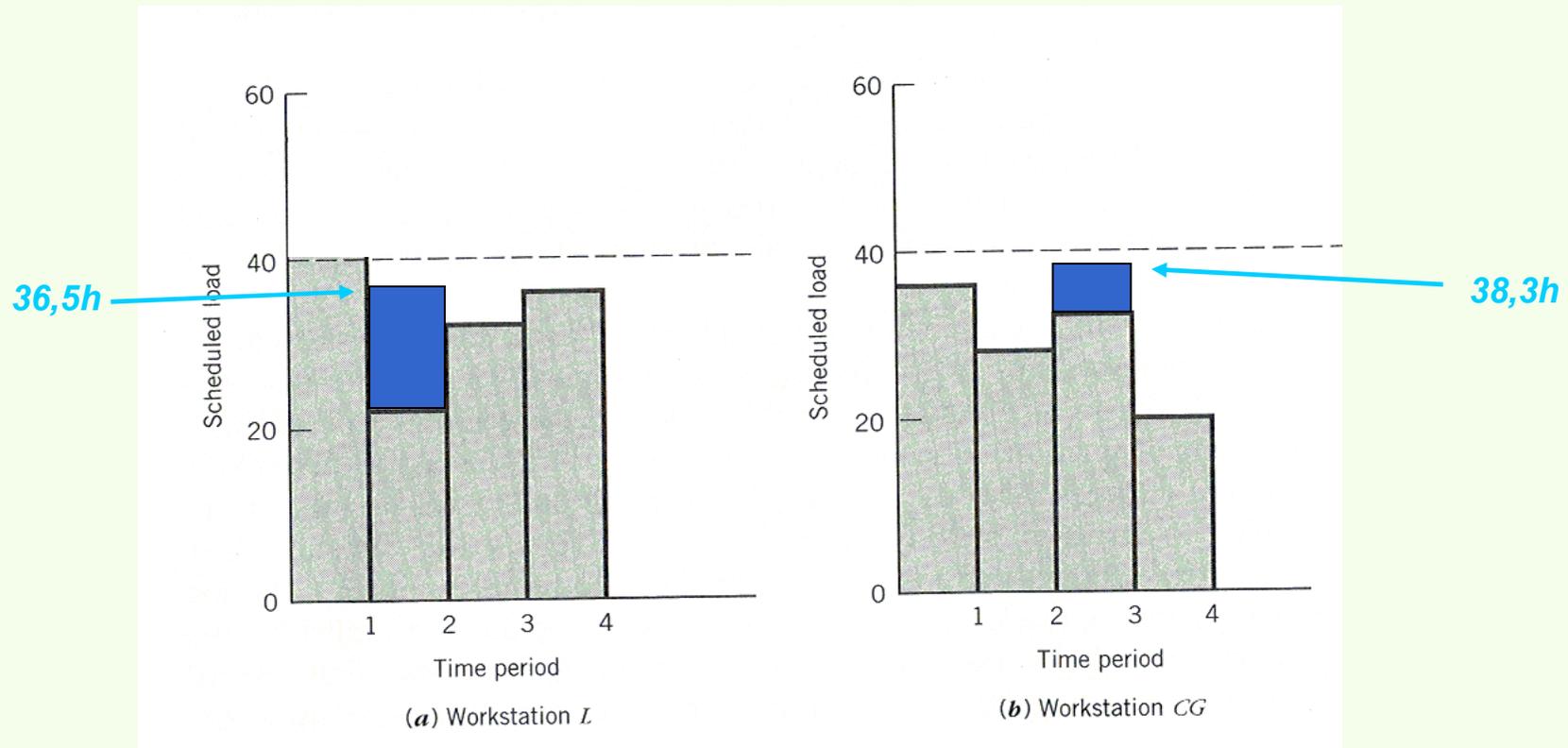
**Problema: Liberar a ordem que requer 2,5 h na estação L, seguida de 6,3 h na estação CG.**

**Todas as estações devem ser programadas para um máximo de 40h/semana**

**Data de entrega da ordem = 3 semanas**

**Pergunta: quando eu devo liberar a ordem?**

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



**Job shop: FIFO**

**Problema: Liberar a ordem que requer 2,5 h na estação L, seguida de 6,3 h na estação CG.**

**Todas as estações devem ser programadas para um máximo de 40h/semana**

**Data de entrega da ordem = 3 semanas**

**Pergunta: quando eu devo liberar a ordem?**

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Determinação do “makespan”**
  - Tempos de Manufatura de um Grupo de Peças num Sistema de Manufatura "Flow Shop"
  - <http://www.grima.ufsc.br:8080/programasgrima/makespan/>

*Cálculo dos Tempos de Manufatura de um Grupo de Peças num Sistema de Manufatura "Flow Shop" - Página 1*

Número de Peças:

Número de Estações:

(assumir que as peças chegam na 1ª estação imediatamente após o término do processamento da peça anterior)

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **“Makespan” – página de entrada de dados**

*Cálculo dos Tempos de Manufatura de um Grupo de Peças num Sistema de Manufatura "Flow Shop" - Página 2*

*Entre com os tempos de processamento (use ponto para decimal em vez de vírgula):*

| Peças/Estçs | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 1:     | 5      | 8      | 2      | 7      |
| Peça 2:     | 4      | 5      | 7      | 2      |
| Peça 3:     | 6      | 4      | 9      | 8      |
| Peça 4:     | 3      | 1      | 7      | 6      |
| Peça 5:     | 5      | 4      | 3      | 7      |

**Escolha dentre as opções abaixo sobre a seqüência das peças:**

- Calcular o makespan para a seqüência 1 => 2 => 3 => 4 => 5
- Calcular o makespan para a seqüência que reduz o makespan ao mínimo (busca completa, que pode ser demorada)
- Calcular o makespan para uma outra seqüência a ser introduzida

Submeter

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para seq. 1  $\Rightarrow$  2  $\Rightarrow$  3  $\Rightarrow$  4  $\Rightarrow$  5

| <i>Tempos de Estação Parada</i> |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peças/Estçs                     | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
| Peça 1:                         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 2:                         | 0.00   | 0.00   | 3.00   | 3.00   |
| Peça 3:                         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 7.00   |
| Peça 4:                         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 5:                         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |

| <i>Tempos de Espera</i> |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peças/Estçs             | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
| Peça 1:                 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 2:                 | 0.00   | 4.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 3:                 | 0.00   | 3.00   | 3.00   | 0.00   |
| Peça 4:                 | 0.00   | 4.00   | 11.00  | 1.00   |
| Peça 5:                 | 0.00   | 0.00   | 14.00  | 4.00   |

*Tempo total de manufatura ("makespan") = 55.0*

*Makespan mínimo possível (considerando que não ocorre nenhum atraso) = 41.0*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para seq. 1 ⇒ 2 ⇒ 3 ⇒ 4 ⇒ 5

ção



Planejamento de Recursos e Program.  
Prof. João C. E. Ferreira - UFSC

| Peças/Estçs | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 1:     | 5      | 8      | 2      | 7      |
| Peça 2:     | 4      | 5      | 7      | 2      |
| Peça 3:     | 6      | 4      | 9      | 8      |
| Peça 4:     | 3      | 1      | 7      | 6      |
| Peça 5:     | 5      | 4      | 3      | 7      |

Makespan

- **“Makespan” – Resposta para seq. 1 ⇒ 2 ⇒ 3 ⇒ 4 ⇒ 5**

Cálculo do “lower bound”:

$$\text{Máquina 1: } LB_1 = (5+4+6+3+5) + \min \{8+2+7; 5+7+2; 4+9+8; 1+7+6; 4+3+7\} = 23 + \min \{17; 14; 21; 14; 14\} = 37$$

$$\text{Máquina 2: } LB_2 = \min \{5; 4; 6; 3; 5\} + (8+5+4+1+4) + \min \{2+7; 7+2; 9+8; 7+6; 3+7\} = 3 + 22 + \min \{9; 9; 17; 13; 10\} = 34$$

$$\text{Máquina 3: } LB_3 = \min \{5+8; 4+5; 6+4; 3+1; 5+4\} + (2+7+9+7+3) + \min \{7; 2; 8; 6; 7\} = \min \{13; 9; 10; 4; 9\} + 28 + 2 = 34$$

$$\text{Máquina 4: } LB_4 = \min \{5+8+2; 4+5+7; 6+4+9; 3+1+7; 5+4+3\} + (7+2+8+6+7) = \min \{15; 16; 19; 11; 12\} + 30 = 41$$

| Peças/Estqs | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 1:     | 5      | 8      | 2      | 7      |
| Peça 2:     | 4      | 5      | 7      | 2      |
| Peça 3:     | 6      | 4      | 9      | 8      |
| Peça 4:     | 3      | 1      | 7      | 6      |
| Peça 5:     | 5      | 4      | 3      | 7      |

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para melhor seqüência

| <i>Tempos de Estação Parada</i> |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peças/Estçs                     | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
| Peça 4:                         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 1:                         | 0.00   | 4.00   | 5.00   | 1.00   |
| Peça 5:                         | 0.00   | 0.00   | 2.00   | 0.00   |
| Peça 3:                         | 0.00   | 0.00   | 1.00   | 1.00   |
| Peça 2:                         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |

| <i>Tempos de Espera</i> |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Peças/Estçs             | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
| Peça 4:                 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 1:                 | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 5:                 | 0.00   | 3.00   | 0.00   | 2.00   |
| Peça 3:                 | 0.00   | 1.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 2:                 | 0.00   | 1.00   | 4.00   | 1.00   |

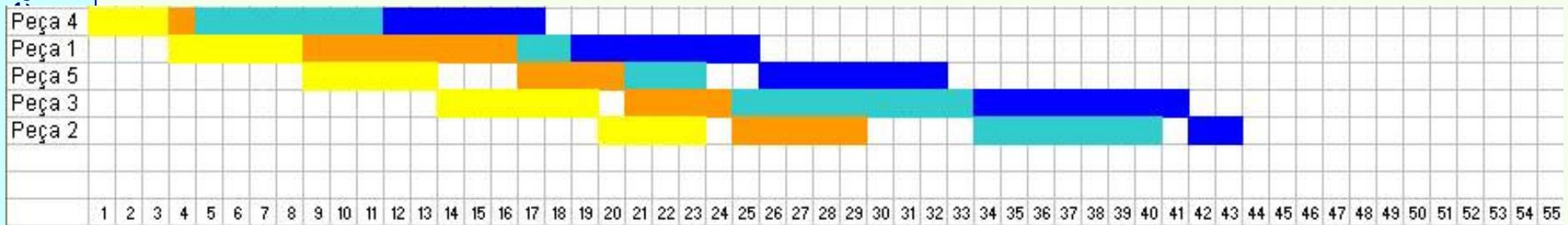
*Tempo total de manufatura ("makespan") = 43.0*

*Makespan mínimo possível (considerando que não ocorre nenhum atraso) = 41.0*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para melhor seqüência

ção



| Peças/Estçs | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 1:     | 5      | 8      | 2      | 7      |
| Peça 2:     | 4      | 5      | 7      | 2      |
| Peça 3:     | 6      | 4      | 9      | 8      |
| Peça 4:     | 3      | 1      | 7      | 6      |
| Peça 5:     | 5      | 4      | 3      | 7      |

*Makespan*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para outra seqüência escolhida

Entre com a seqüência das peças:

1ª Peça:

2ª Peça:

3ª Peça:

4ª Peça:

5ª Peça:

*Tempos de Estação Parada*

| Peças/Estçs | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 3:     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 4:     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 1:     | 0.00   | 3.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 5:     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 2:     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |

*Tempos de Espera*

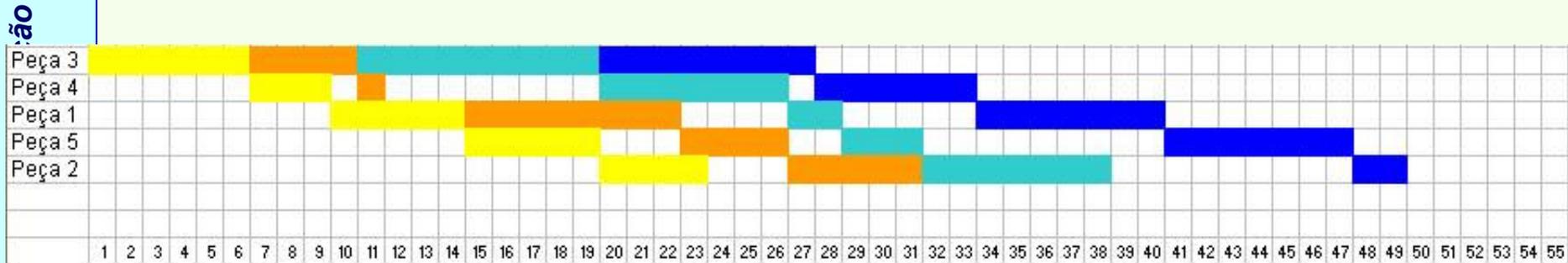
| Peças/Estçs | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 3:     | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| Peça 4:     | 0.00   | 1.00   | 8.00   | 1.00   |
| Peça 1:     | 0.00   | 0.00   | 4.00   | 5.00   |
| Peça 5:     | 0.00   | 3.00   | 2.00   | 9.00   |
| Peça 2:     | 0.00   | 3.00   | 0.00   | 9.00   |

*Tempo total de manufatura ("makespan") = 49.0*

*Makespan mínimo possível (considerando que não ocorre nenhum atraso) = 41.0*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- “Makespan” – Resposta para outra seqüência escolhida



| Peças/Estços | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Peça 1:      | 5      | 8      | 2      | 7      |
| Peça 2:      | 4      | 5      | 7      | 2      |
| Peça 3:      | 6      | 4      | 9      | 8      |
| Peça 4:      | 3      | 1      | 7      | 6      |
| Peça 5:      | 5      | 4      | 3      | 7      |

*Makespan*

ção

- Algoritmo de Johnson aplicado à tabela abaixo:

| Família | Fabricação das Peças | Montagem |
|---------|----------------------|----------|
| 1       | 6                    | 4        |
| 2       | 10                   | 8        |
| 3       | 4                    | 9        |
| 4       | 7                    | 2        |
| 5       | 6                    | 3        |
| 6       | 5                    | 6        |

Makespan mínimo (*lower bound*) = 40

Sequência 1,2,3,4,5,6: makespan = 44

- **Algoritmo de Johnson:**

Passo 0: Todas as peças estão disponíveis:  $A = \{1,2,3,4,5,6\}$

Passo 1: Selecionar peça. Tempo mínimo de processamento:  $p_{42} = 2$   
 $\Rightarrow$  selecionar peça 4.

Passo 2: Alocar peça. Como o tempo selecionado corresponde à segunda operação (montagem), a peça selecionada é colocada por último. A sequência ótima fica:  $S = \{ , , , , 4\}$ . As peças disponíveis ficam:  $A = \{1,2,3,5,6\}$ .

Passo 1: Selecionar peça. O tempo mais curto desta vez é  $p_{52} = 3$ .

Passo 2: Alocar peça. Como o tempo selecionado corresponde à segunda operação (montagem), a peça selecionada é colocada na antepenúltima posição. A sequência ótima fica:  $S = \{ , , , 5,4\}$ . As peças disponíveis ficam:  $A = \{1,2,3,6\}$ .

...

Sequência final:  $S = \{3,6,2,1,5,4\}$

Makespan = 40

- Algoritmo de Johnson aplicado à tabela abaixo (4 estações):

|             | <i>Tempos de Processamento</i> |          |          |          |
|-------------|--------------------------------|----------|----------|----------|
| <i>Peça</i> | <i>1</i>                       | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> |
| 1           | 2                              | 3        | 1        | 5        |
| 2           | 4                              | 2        | 6        | 9        |
| 3           | 1                              | 4        | 8        | 5        |
| 4           | 6                              | 3        | 5        | 2        |
| 5           | 4                              | 2        | 3        | 7        |

- Algoritmo de Johnson aplicado à tabela abaixo (4 estações):

|              | <i>Combinações de Máquinas</i> |   |     |     |       |       |
|--------------|--------------------------------|---|-----|-----|-------|-------|
| <i>Peças</i> | 1                              | 4 | 1,2 | 3,4 | 1,2,3 | 2,3,4 |
| 1            | 2                              | 5 | 5   | 6   | 6     | 9     |
| 2            | 4                              | 9 | 6   | 15  | 12    | 17    |
| 3            | 1                              | 5 | 5   | 13  | 13    | 17    |
| 4            | 6                              | 2 | 9   | 7   | 14    | 10    |
| 5            | 4                              | 7 | 6   | 10  | 9     | 12    |

$S_1 = \{3,1,5,2,4\}$

Makespan = 41

$S_2 = \{1,3,5,2,4\}$

Makespan = 40

$S_3 = \{1,5,2,3,4\}$

Makespan = 34

Makespan mínimo (*lower bound*) = 34

- **EXERCÍCIO:** Pretende-se fabricar um produto composto por quatro peças, e cada uma destas peças será fabricada num chão de fábrica composto por quatro máquinas. A tabela abaixo contém os dados referentes ao tempo de processamento de cada peça em cada máquina.

| <i>Seqüência de fabricação</i> |               | →                |                  |                  |                  |
|--------------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ↓                              |               | <i>Máquina A</i> | <i>Máquina B</i> | <i>Máquina C</i> | <i>Máquina D</i> |
|                                | <i>Peça 1</i> | 5                | 3                | 4                | 7                |
|                                | <i>Peça 2</i> | 3                | 4                | 2                | 4                |
|                                | <i>Peça 3</i> | 6                | 3                | 4                | 5                |
|                                | <i>Peça 4</i> | 5                | 7                | 3                | 2                |

*Tempo de processamento em minutos; Tempo de montagem do produto = 4,0 minutos*  
*Considerar Tempo de movimentação = Tempo de preparação = 0,0 minutos*

- Com base nestes dados, após quanto tempo ter-se-á o produto montado?
- Qual o tempo total de espera de cada peça?
- Qual o tempo total de parada (“não utilização”) de cada máquina?
- Se for possível fabricar as peças na seqüência  $4 \Rightarrow 3 \Rightarrow 2 \Rightarrow 1$ , o tempo para a obtenção do produto montado será mais curto ou mais longo que a seqüência anterior?

Cálculo do “lower bound”:

$$\text{Máquina A: } LB_A = (5+3+6+5) + \min \{3+4+7; 4+2+4; 3+4+5; 7+3+2\} = 19 + \min \{14; 10; 12; 12\} = 29$$

$$\text{Máquina B: } LB_B = \min \{5; 3; 6; 5\} + (3+4+3+7) + \min \{4+7; 2+4; 4+5; 3+2\} = 3 + 17 + \min \{11; 6; 9; 5\} = 25$$

$$\text{Máquina C: } LB_C = \min \{5+3; 3+4; 6+3; 5+7\} + (4+2+4+3) + \min \{7; 4; 5; 2\} = \min \{8; 7; 9; 12\} + 13 + 2 = 22$$

$$\text{Máquina D: } LB_D = \min \{5+3+4; 3+4+2; 6+3+4; 5+7+3\} + (7+4+5+2) = \min \{12; 9; 13; 15\} + 18 = 27$$

|               | <i>Máquina A</i> | <i>Máquina B</i> | <i>Máquina C</i> | <i>Máquina D</i> |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>Peça 1</i> | 5                | 3                | 4                | 7                |
| <i>Peça 2</i> | 3                | 4                | 2                | 4                |
| <i>Peça 3</i> | 6                | 3                | 4                | 5                |
| <i>Peça 4</i> | 5                | 7                | 3                | 2                |

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

| Peça | Tempo de Processamento (dias) | Data de Entrega (dia) |
|------|-------------------------------|-----------------------|
| 1    | 2.4                           | 11                    |
| 2    | 5.0                           | 8                     |
| 3    | 4.2                           | 5                     |
| 4    | 1.5                           | 12                    |
| 5    | 0.9                           | 13                    |

O programador reconhece que pelo menos uma das tarefas não poderá ser entregue dentro do prazo. Há alguma sequência na qual nenhuma tarefa será entregue com atraso maior do que 2 dias?

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

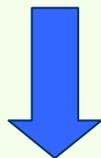
Passo 0: Inicializar. Tempo total de processamento:  $\tau = 2.4 + 5.0 + 4.2 + 1.5 + 0.9 = 14.0$ . As datas de entrega são ajustadas para (13., 10., 7., 14., 15.) respectivamente, adicionando-se os dois dias extras.

Passo 1: Selecionar peça. As peças selecionáveis são aquelas com datas de entrega iguais a 14 ou mais. Isto inclui as peças 4 e 5. Como  $p_4 > p_5$ ,  $s_5 =$  peça 4.

Passo 2: Atualizar.  $S = \{ , , , 4\}$ ,  $A = \{1,2,3,5\}$ , e  $\tau = \tau - 1.5 = 12.5$ .

Passo 1: Selecionar peça. Peças selecionáveis possuem datas de entrega iguais a 12.5 ou mais. Portanto, tem-se peças 1 e 5. Como  $p_1 > p_5$ ,  $s_4 = 1$ .

Passo 2: Atualizar.  $S = \{ , , , 1,4\}$ ,  $A = \{2,3,5\}$ , e  $\tau = \tau - 2.4 = 10.1$ .



- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

Passo 1: Selecionar peça. Somente a peça 5 está selecionável.

Passo 2: Atualizar.  $S = \{ , 5, 1, 4\}$ ,  $A = \{2, 3\}$ , e  $\tau = \tau - 0.9 = 9.2$ .

Passo 1: Selecionar peça. Somente a peça 2 está selecionável.

Passo 2: Atualizar.  $S = \{ , 2, 5, 1, 4\}$ ,  $A = \{3\}$ , e  $\tau = \tau - 5.0 = 4.2$ .

Passo 1: Selecionar peça. Somente a peça 3 está selecionável.

Passo 2: Atualizar.  $S = \{3, 2, 5, 1, 4\}$ .

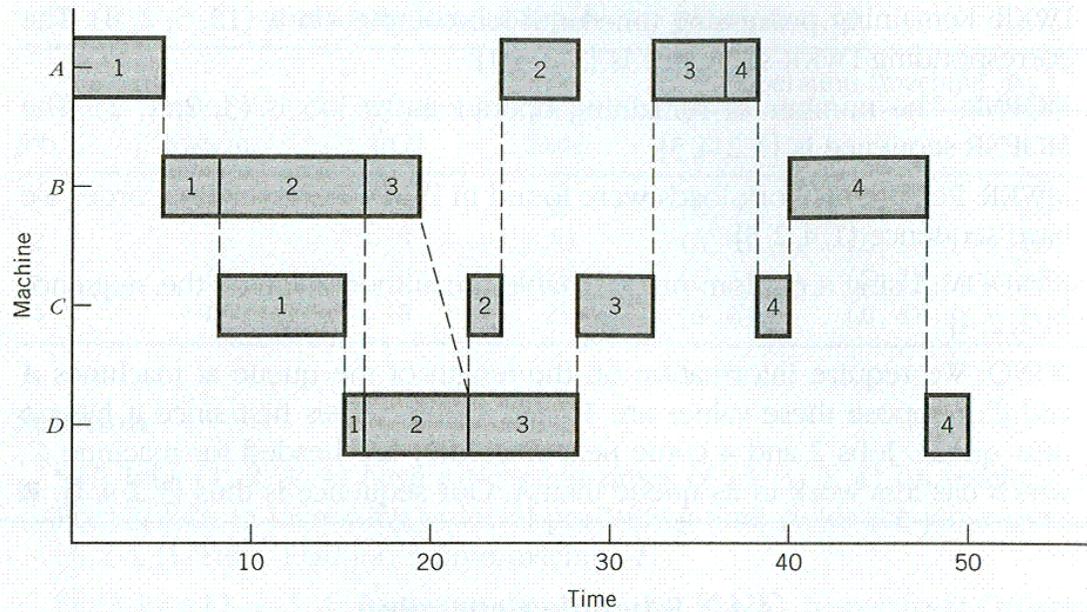
$$\bar{F}(\text{Tempo médio de fluxo}) = \frac{4.2 + 9.2 + 10.1 + 12.5 + 14.0}{5} = 10.0$$

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega:**

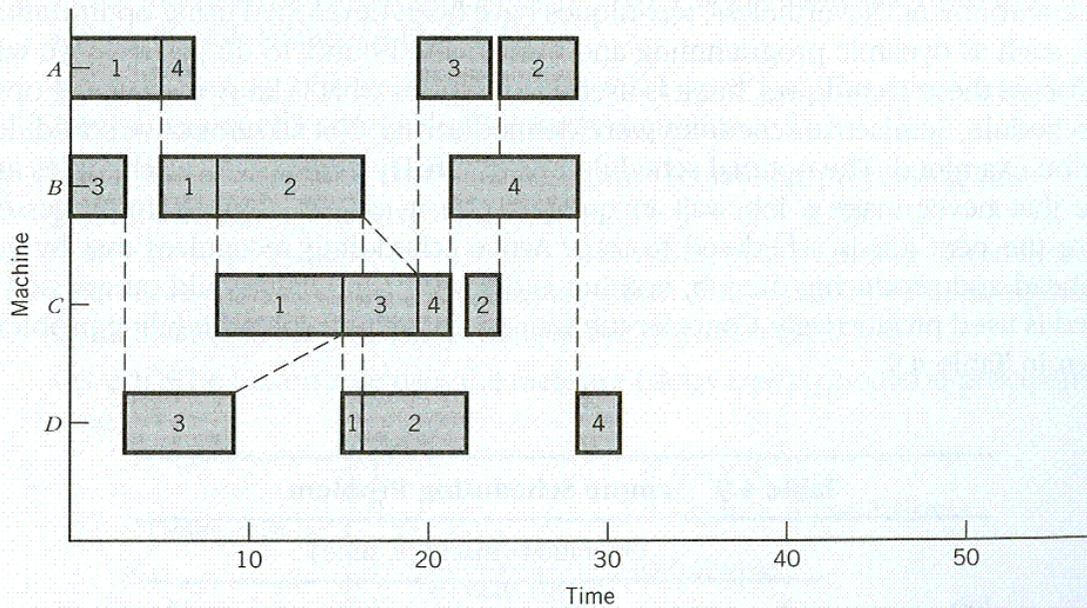
| <i>Peça</i> | <i>Data de Entrega (dia)</i> | <i>Tempo Acumulado</i> | <i>Atraso</i> |
|-------------|------------------------------|------------------------|---------------|
| 3           | 5.0                          | 4.2                    |               |
| 2           | 8.0                          | 9.2                    | 1.2           |
| 5           | 13.0                         | 10.1                   |               |
| 1           | 11.0                         | 12.5                   | 1.5           |
| 4           | 12.0                         | 14.0                   | 2.0           |
|             |                              |                        |               |
|             | Total =                      | 50.0                   | 4.7           |

- **Sequenciamento para Máquina Única incluindo Data de Entrega: Solução EDD (Data de Entrega Mais Próxima)**

| <i>Solução EDD</i> | <i>Data de Entrega (dia)</i> | <i>Tempo Acumulado</i> | <i>Atraso</i> |
|--------------------|------------------------------|------------------------|---------------|
| 3                  | 5.0                          | 4.2                    |               |
| 2                  | 8.0                          | 9.2                    | 1.2           |
| 1                  | 11.0                         | 11.6                   | 0.6           |
| 4                  | 12.0                         | 13.1                   | 1.1           |
| 5                  | 13.0                         | 14.0                   | 1.0           |
|                    |                              |                        |               |
|                    | Total =                      | 52.1                   | 3.9           |



(a) Permutation schedule (1, 2, 3, 4)



|              | <b>Operação (Máquina, Tempo)</b> |          |          |          |
|--------------|----------------------------------|----------|----------|----------|
| <b>Ordem</b> | <b>1</b>                         | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
| <b>1</b>     | (A, 5)                           | (B, 3)   | (C, 7)   | (D, 1)   |
| <b>2</b>     | (B, 8)                           | (D, 6)   | (C, 2)   | (A, 5)   |
| <b>3</b>     | (B, 3)                           | (D, 6)   | (C, 4)   | (A, 4)   |
| <b>4</b>     | (A, 2)                           | (C, 2)   | (B, 7)   | (D, 3)   |

# HEURÍSTICA PARA GERAR SEQUÊNCIA JOB SHOP COM FLEXIBILIDADE LIMITADA

|               | <i>Operação (máquina, <math>p_{ij}</math>)</i> |       |       |       |
|---------------|--|-------|-------|-------|
| <i>Pedido</i> | 1  | 2     | 3     | 4     |
| 1             | (A,5)  | (B,3) | (C,7) | (D,1) |
| 2             | (B,8)  | (D,6) | (C,2) | (A,5) |
| 3             | (B,3)  | (D,6) | (C,4) | (A,4) |
| 4             | (A,2)  | (C,2) | (B,7) | (D,3) |

Gerar uma sequência para os dados acima de maneira a reduzir atrasos. Quando houver escolhas entre operações, o pedido 1 terá maior prioridade. Do contrário, escolher com base em SPT.

Passo 0: Inicializar.  $t = 1$ ,  $S_1 = 0$ , e  $A_1 = \{O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}\}$  (Obs:  $A_1$  contém as primeiras operações de cada pedido).

Passo 1: Selecionar operação. O tempo de início para todas as primeiras operações é 0. Pedido 1 tem maior prioridade, portanto selecionar máquina da operação  $O_{11}$ , que implica  $m^* = A$ . Nesse caso, as operações  $O_{11}$  e  $O_{41}$  são selecionáveis. Escolhe-se  $O_{11}$  devido à prioridade do pedido.

Passo 2: Incrementar.  $t = 2$ ,  $S_2 = \{O_{11}\}$ , e  $A_2 = \{O_{12}, O_{21}, O_{31}, O_{41}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_2$  são agora (5,0,0,5). Note que a operação  $O_{41}$  foi movida para trás, porque decidiu-se colocar a operação  $O_{11}$  na sua frente.

Passo 1: Selecionar operação: Deve-se selecionar entre operações  $O_{21}$  e  $O_{31}$ , pois elas têm o tempo mais reduzido de início. Escolhe-se a máquina da operação  $O_{21}$ , que resulta em  $m^* = B$ . Ambas as operações são selecionáveis, pois ambas requerem máquina B. Nenhuma destas operações é do pedido 1. Invocando o SPT para desempate, escolhe-se  $O_{31}$  e coloca-se este pedido na frente da máquina B.

Passo 2: Incrementar.  $t = 3$ ,  $S_3 = \{O_{31}\}$ , e  $A_3 = \{O_{12}, O_{21}, O_{32}, O_{41}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_3$  são agora (5,3,3,5).



Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{21}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = B$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 4$ ,  $S_4 = \{O_{21}\}$ , e  $A_4 = \{O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{41}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_4$  são agora (11,11,3,5). O tempo do pedido 1 também tornou-se igual a 11 porque a próxima operação deste pedido requer a máquina B.

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{32}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = D$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 5$ ,  $S_5 = \{O_{32}\}$ , e  $A_5 = \{O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{41}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_5$  são agora (11,11,9,5).

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{41}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = A$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 6$ ,  $S_6 = \{O_{41}\}$ , e  $A_6 = \{O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{42}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_6$  são agora (11,11,9,7).



Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{42}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = C$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 7$ ,  $S_7 = \{O_{42}\}$ , e  $A_7 = \{O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{43}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_7$  são agora (11,11,9,11). O tempo de início para o início da quarta operação foi igual a 11 porque a operação seguinte vai requerer a máquina B.

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{33}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = C$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 8$ ,  $S_8 = \{O_{33}\}$ , e  $A_8 = \{O_{12}, O_{22}, O_{34}, O_{43}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_8$  são agora (11,11,13,11).

Passo 1: Selecionar operação: três operações são selecionáveis, pois todas têm o mesmo tempo de início. Escolhe-se  $O_{12}$  pois ela corresponde ao pedido 1.  $m^* = B$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 9$ ,  $S_9 = \{O_{12}\}$ , e  $A_9 = \{O_{13}, O_{22}, O_{34}, O_{43}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_9$  são agora (14,11,13,14).



Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{22}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = D$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 10$ ,  $S_{10} = \{O_{22}\}$ , e  $A_{10} = \{O_{13}, O_{23}, O_{34}, O_{43}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_{10}$  são agora (14,17,13,14).

Passo 1: Selecionar operação: A única operação selecionável é  $O_{34}$ , pois ela tem o tempo mais reduzido de início.  $m^* = C$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 11$ ,  $S_{11} = \{O_{34}\}$ , e  $A_{11} = \{O_{13}, O_{23}, -, O_{43}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_{11}$  são agora (14,17,-,14).

Passo 1: Selecionar operação: duas operações são selecionáveis: ( $O_{13}$  e  $O_{43}$ ), pois elas têm o mesmo tempo de início. Escolhe-se  $O_{13}$  pois ela corresponde ao pedido 1.  $m^* = C$ .

Passo 2: Incrementar.  $t = 12$ ,  $S_{12} = \{O_{13}\}$ , e  $A_{12} = \{O_{14}, O_{23}, -, O_{43}\}$ . Os tempos de início das quatro operações em  $A_{12}$  são agora (21,21,-,14).

...

O processo continua até que todas as 16 operações sejam alocadas.

Makespan = 28.

| <i>Passo t</i> | <i>Operações<br/>selecionáveis<br/><math>A_t</math></i> | <i>Tempo mais inicial em<br/>que a operação k pode<br/>ser selecionada <math>e_k</math></i> | <i>Máquina <math>m^*</math></i> | <i>Operação k</i> |
|----------------|---|---|---------------------------------|-------------------|
| 1              | $O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$                        | 0,0,0,0   | A                               | $O_{11}$          |
| 2              | $O_{12}, O_{21}, O_{31}, O_{41}$                        | 5,0,0,5   | B                               | $O_{31}$          |
| 3              | $O_{12}, O_{21}, O_{32}, O_{41}$                        | 5,3,3,5   | B                               | $O_{21}$          |
| 4              | $O_{12}, O_{22}, O_{32}, O_{41}$                        | 11,11,3,5   | D                               | $O_{32}$          |
| 5              | $O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{41}$                        | 11,11,9,5   | A                               | $O_{41}$          |
| 6              | $O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{42}$                        | 11,11,9,7   | C                               | $O_{42}$          |
| 7              | $O_{12}, O_{22}, O_{33}, O_{43}$                        | 11,11,9,11  | C                               | $O_{33}$          |
| 8              | $O_{12}, O_{22}, O_{34}, O_{43}$                        | 11,11,13,11   | B                               | $O_{12}$          |
| 9              | $O_{13}, O_{22}, O_{34}, O_{43}$                        | 14,11,13,14   | D                               | $O_{22}$          |
| 10             | $O_{13}, O_{23}, O_{34}, O_{43}$                        | 14,17,13,14   | C                               | $O_{34}$          |
| 11             | $O_{13}, O_{23}, -, O_{43}$                             | 14,17,-,14  | C                               | $O_{13}$          |
| 12             | $O_{14}, O_{23}, -, O_{43}$                             | 21,21,-,14  | B                               | $O_{43}$          |
| 13             | $O_{14}, O_{23}, -, O_{44}$                             | 21,21,-,21  | D                               | $O_{14}$          |
| 14             | $-, O_{23}, -, O_{44}$                                  | -,21,-,22   | C                               | $O_{23}$          |
| 15             | $-, O_{24}, -, O_{44}$                                  | -,23,-,22   | D                               | $O_{44}$          |
| 16             | $-, O_{24}, -, -$                                       | -,23,-,-  | A                               | $O_{24}$          |



Gantt chart referente à sequência gerada para o Job Shop acima (makespan = 28).

- **Regras de Prioridades**

- Figura abaixo  $\Rightarrow$  exemplo de dados usados para o cálculo das prioridades de agendamentos.
- Datas de entrega e datas de hoje  $\Rightarrow$  expressas como o número de dias desde o primeiro dia do ano (p.ex. data de entrega 7/2 seria mostrada como 38 (isto é, 31 + 7) para esses cálculos).

| <b>Nº da ordem</b>                    | <b>1A</b> | <b>2A</b> | <b>3A</b> |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Data de chegada                       | 117       | 115       | 116       |
| Data de entrega                       | 125       | 120       | 130       |
| Lead time restante (LTR)              | 8         | 5         | 10        |
| Tempo de processamento restante (PTR) | 6         | 4         | 5         |
| Operações restantes (OR)              | 1         | 2         | 8         |
| Tempo da próxima operação             | 6         | 3         | 1         |

*Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117*

*Dados de ordens para o cálculo de prioridades*

| <i>Nº da ordem</i>                    | <b>1A</b> | <b>2A</b> | <b>3A</b> |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Data de chegada                       | 117       | 115       | 116       |
| Data de entrega                       | 125       | 120       | 130       |
| Lead time restante (LTR)              | 8         | 5         | 10        |
| Tempo de processamento restante (PTR) | 6         | 4         | 5         |
| Operações restantes (OR)              | 1         | 2         | 8         |
| Tempo da próxima operação             | 6         | 3         | 1         |

*Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117*

- Data de entrega mais próxima:



| Prioridade | Data de entrega mais próxima | Nº da ordem |
|------------|------------------------------|-------------|
| 1          | 120                          | 2A          |
| 2          | 125                          | 1A          |
| 3          | 130                          | 3A          |

| <i>Nº da ordem</i>                    | <b>1A</b> | <b>2A</b> | <b>3A</b> |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Data de chegada                       | 117       | 115       | 116       |
| Data de entrega                       | 125       | 120       | 130       |
| Lead time restante (LTR)              | 8         | 5         | 10        |
| Tempo de processamento restante (PTR) | 6         | 4         | 5         |
| Operações restantes (OR)              | 1         | 2         | 8         |
| Tempo da próxima operação             | 6         | 3         | 1         |

*Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117*

- Próxima operação com tempo mais curto:



| Prioridade | Tempo da próxima operação | Nº da ordem |
|------------|---------------------------|-------------|
| 1          | 1                         | 3A          |
| 2          | 3                         | 2A          |
| 3          | 6                         | 1A          |

*Essa regra ignora as informações sobre a data de entrega e o tempo de processamento restante porque ela processa ordens baseadas na **velocidade de execução**. Essa regra maximiza o número de ordens de serviço processadas e minimiza o número de espera em fila*

| Nº da ordem                           | 1A  | 2A  | 3A  |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| Data de chegada                       | 117 | 115 | 116 |
| Data de entrega                       | 125 | 120 | 130 |
| Lead time restante (LTR)              | 8   | 5   | 10  |
| Tempo de processamento restante (PTR) | 6   | 4   | 5   |
| Operações restantes (OR)              | 1   | 2   | 8   |
| Tempo da próxima operação             | 6   | 3   | 1   |

*Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117*

- Regra do quociente crítico:



$$CR = \frac{\text{data de entrega} - \text{data de hoje}}{\text{lead time restante}}$$

$$\text{Ordem 1A: } CR = \frac{125-117}{8} = 1$$

$$\text{Ordem 2A: } CR = \frac{120-117}{5} = 0,6$$

$$\text{Ordem 3A: } CR = \frac{130-117}{10} = 1,3$$

| Prioridade | Quociente crítico | Nº da ordem |
|------------|-------------------|-------------|
| 1          | 0,6               | 2A          |
| 2          | 1,0               | 1A          |
| 3          | 1,3               | 3A          |

Essa regra baseia-se no quociente do **tempo restante** sobre o **serviço restante**. Se o quociente for igual a 1, a tarefa está no tempo certo; se for maior que 1, a tarefa está adiantada; e se for menor que 1, a tarefa está atrasada. A agenda resultante assegura que as **ordens atrasadas são executadas primeiro**.

| <i>Nº da ordem</i>                    | <b>1A</b> | <b>2A</b> | <b>3A</b> |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Data de chegada                       | 117       | 115       | 116       |
| Data de entrega                       | 125       | 120       | 130       |
| Lead time restante (LTR)              | 8         | 5         | 10        |
| Tempo de processamento restante (PTR) | 6         | 4         | 5         |
| Operações restantes (OR)              | 1         | 2         | 8         |
| Tempo da próxima operação             | 6         | 3         | 1         |

*Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117*

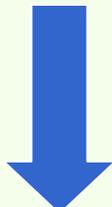
- Regra baseada na folga (“slack”) da ordem:

*folga = data de entrega - data de hoje - tempo de processamento restante*

**Ordem 1A: Folga = 125 - 117 - 6 = 2**

**Ordem 2A: Folga = 120 - 117 - 4 = -1**

**Ordem 3A: Folga = 130 - 117 - 5 = 8**



| Prioridade | Folga | Nº da ordem |
|------------|-------|-------------|
| 1          | -1    | 2A          |
| 2          | 2     | 1A          |
| 3          | 8     | 3A          |

*Essa regra baseia-se no tempo de folga, que é a diferença entre o tempo restante para a produção (data de entrega - data de hoje) e a soma do tempo de setup e do tempo de processamento. A maior prioridade é atribuída à peça com o menor tempo de folga. Um valor positivo da folga indica uma peça adiantada; um valor negativo, uma peça atrasada; e um valor igual a zero, uma peça no tempo certo. A agenda resultante assegura que as ordens com menor folga serão executadas primeiro.*

| Nº da ordem                           | 1A  | 2A  | 3A  |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|
| Data de chegada                       | 117 | 115 | 116 |
| Data de entrega                       | 125 | 120 | 130 |
| Lead time restante (LTR)              | 8   | 5   | 10  |
| Tempo de processamento restante (PTR) | 6   | 4   | 5   |
| Operações restantes (OR)              | 1   | 2   | 8   |
| Tempo da próxima operação             | 6   | 3   | 1   |

*Nota: todos os tempos em dias; data de hoje: segunda-feira, 117*

- Regra baseada no quociente da folga da ordem sobre as operações restantes:



| Prioridade | Folga/Operação | Nº da ordem |
|------------|----------------|-------------|
| 1          | -0,5           | 2A          |
| 2          | 1,0            | 3A          |
| 3          | 2,0            | 1A          |

$$\text{folga/operação} = \frac{\text{tempo de folga}}{\text{operações restantes}}$$

Ordem 1A:  $\text{Folga/OR} = 2/1 = 2,0$

Ordem 2A:  $\text{Folga/OR} = -1/2 = -0,5$

Ordem 3A:  $\text{Folga/OR} = 8/8 = 1$

*Essa regra baseia-se no quociente do tempo de folga e o número total de operações restantes. Um valor positivo indica uma peça com folga nas operações, enquanto um valor negativo indica uma peça com operações insuficientes para satisfazer a agenda, e um valor igual a 1 indica que os tempos das operações estão dentro do previsto. A prioridade maior é atribuída à peça com o menor valor agregado. A agenda resultante assegura que as ordens com folga por operações insuficiente serão executadas primeiro.*

Tempo atual é 10. Máquina B acabou de terminar um pedido, e é necessário selecionar um novo pedido (há 4 pedidos, conforme a tabela abaixo):

| <i>Pedido</i> | <i>Chegada no Sistema</i> | <i>Chegada em B</i> | <i>Data de Entrega</i> | <i>Operação (máquina, <math>p_{ij}</math>)</i> |          |          |
|---------------|---------------------------|---------------------|------------------------|--|----------|----------|
|               |                           |                     |                        | <i>1</i>                                       | <i>2</i> | <i>3</i> |
| 1             | 10                        | 10                  | 30                     | (B,5)  | (A,1)    | (D,6)    |
| 2             | 0                         | 5                   | 20                     | (A,5)  | (B,3)    | (C,2)    |
| 3             | 0                         | 9                   | 10                     | (C,3)  | (D,2)    | (B,2)    |
| 4             | 0                         | 8                   | 25                     | (E,6)  | (B,4)    | (C,4)    |

- SPT: (5,3,2,4) foco na máquina B  $\Rightarrow$  {3,2,4,1}
- EDD: (30,20,10,25)  $\Rightarrow$  {3,2,4,1}
- FIFO: (10,5,9,8)  $\Rightarrow$  {2,4,3,1}
- Folga/OR: {3,2,1,4}
  - Folga 1:  $30-10-(5+1+6)=8$  PTR OR=3
  - Folga 2:  $20-10-(3+2)=5$  OR=2
  - Folga 3:  $10-10-(2) = -2$  OR=1
  - Folga 4:  $25-10-(4+4)=7$  OR=2
    - $(8/3=2.67; 5/2=2.5; -2/1=-2.0; 7/2=3.5)$

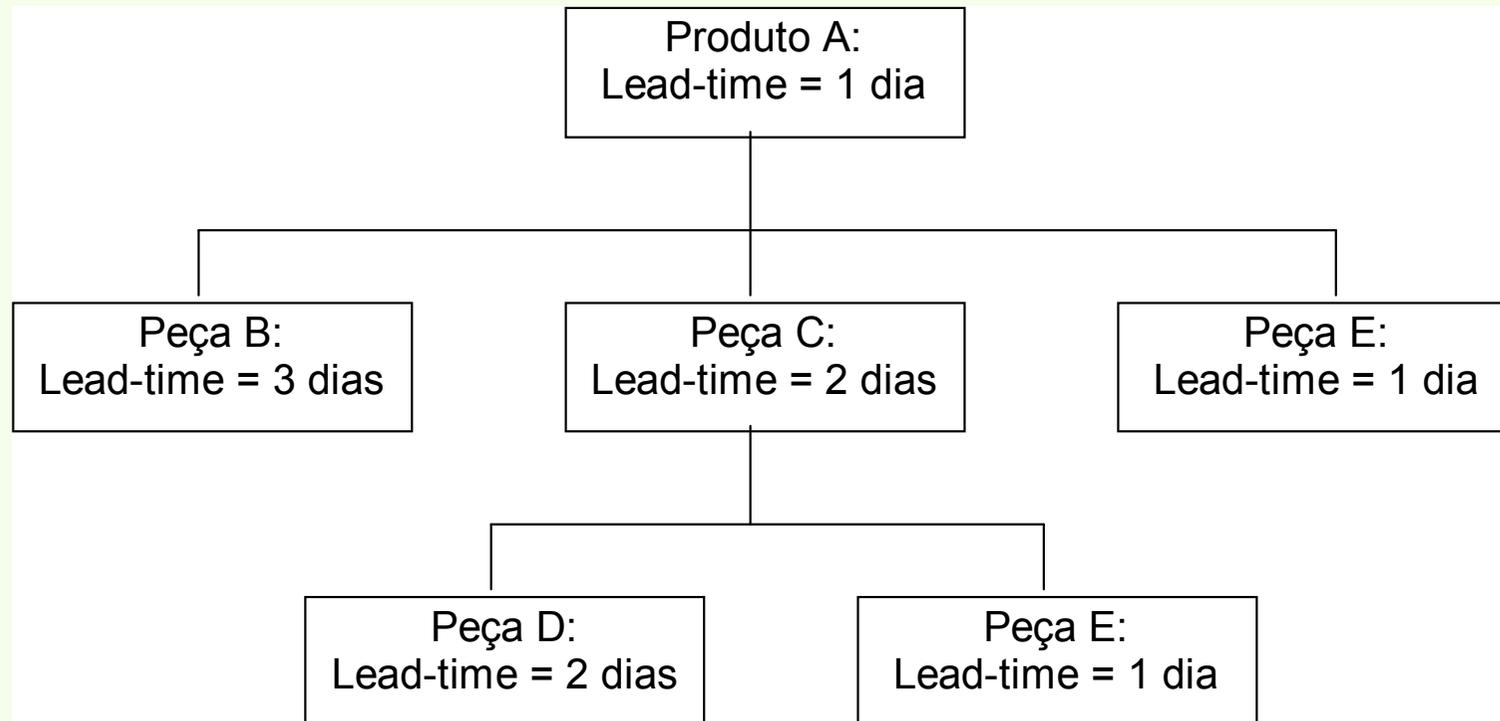


- LTWK (*Least Total Work* – Mínimo Trabalho Total):  $(12, 10, 7, 14) \Rightarrow \{3, 2, 1, 4\}$
- LWKR (*Least Work Remaining* – Mínimo Trabalho Restante):  $(12, 5, 2, 8) \Rightarrow \{3, 2, 4, 1\}$
- MWKR (*Most Work Remaining* – Máximo Trabalho Restante):  $\{1, 4, 2, 3\}$  (inverso do LWKR)
- MOPNR (*Most Operations Remaining* – Mais Operações Restantes):  $(3, 2, 1, 2) \Rightarrow \{1, 2, 4, 3\}$

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Diagrama da Estrutura do Produto**

- praticamente o mesmo que uma BOM; representa graficamente o produto final em termos de todos os componentes exigidos.



*Exemplo de um diagrama da estrutura de um produto*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Roteamento de Peças e Lead times**
  - Essenciais para um sistema de controle da produção.
  - Folha de roteamento:
    - preparada manualmente pelo Dep. de Engenharia Industrial ou gerado por um software de PCP,
    - especifica cada operação de produção e a localização da estação de trabalho.

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

*Roteamento para a peça D (horas)*

| Operação | Centro de Trabalho | Tempo de Processamento | Tempo de Setup | Tempo de Movimentação | Tempo de Espera | Tempo Total | Tempo Aproximado |
|----------|--------------------|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|-------------|------------------|
| 1        | 201                | 1,6                    | 0,5            | 0,4                   | 2,6             | 5,1         | 5,0              |
| 2        | 208                | 1,5                    | 0,3            | 0,2                   | 2,8             | 4,8         | 5,0              |
| 3        | 204                | 0,1                    | 0,1            | 0,3                   | 0,6             | 1,1         | 1,0              |
| 4        | 209                | 1,2                    | 0,8            | 0,3                   | 2,3             | 4,6         | 5,0              |

*Lead time total = 16 horas (2 dias)*

*Roteamento para a peça E (horas)*

| Operação | Centro de Trabalho | Tempo de Processamento | Tempo de Setup | Tempo de Movimentação | Tempo de Espera | Tempo Total | Tempo Aproximado |
|----------|--------------------|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|-------------|------------------|
| 1        | 201                | 1,1                    | 0,4            | 0,3                   | 1,8             | 3,6         | 4,0              |
| 2        | 204                | 0,2                    | 0,3            | 0,2                   | 0,5             | 1,2         | 1,0              |
| 3        | 205                | 1,2                    | 0,1            | 0,4                   | 1,5             | 3,2         | 3,0              |

*Lead time total = 8 horas (1 dia)*

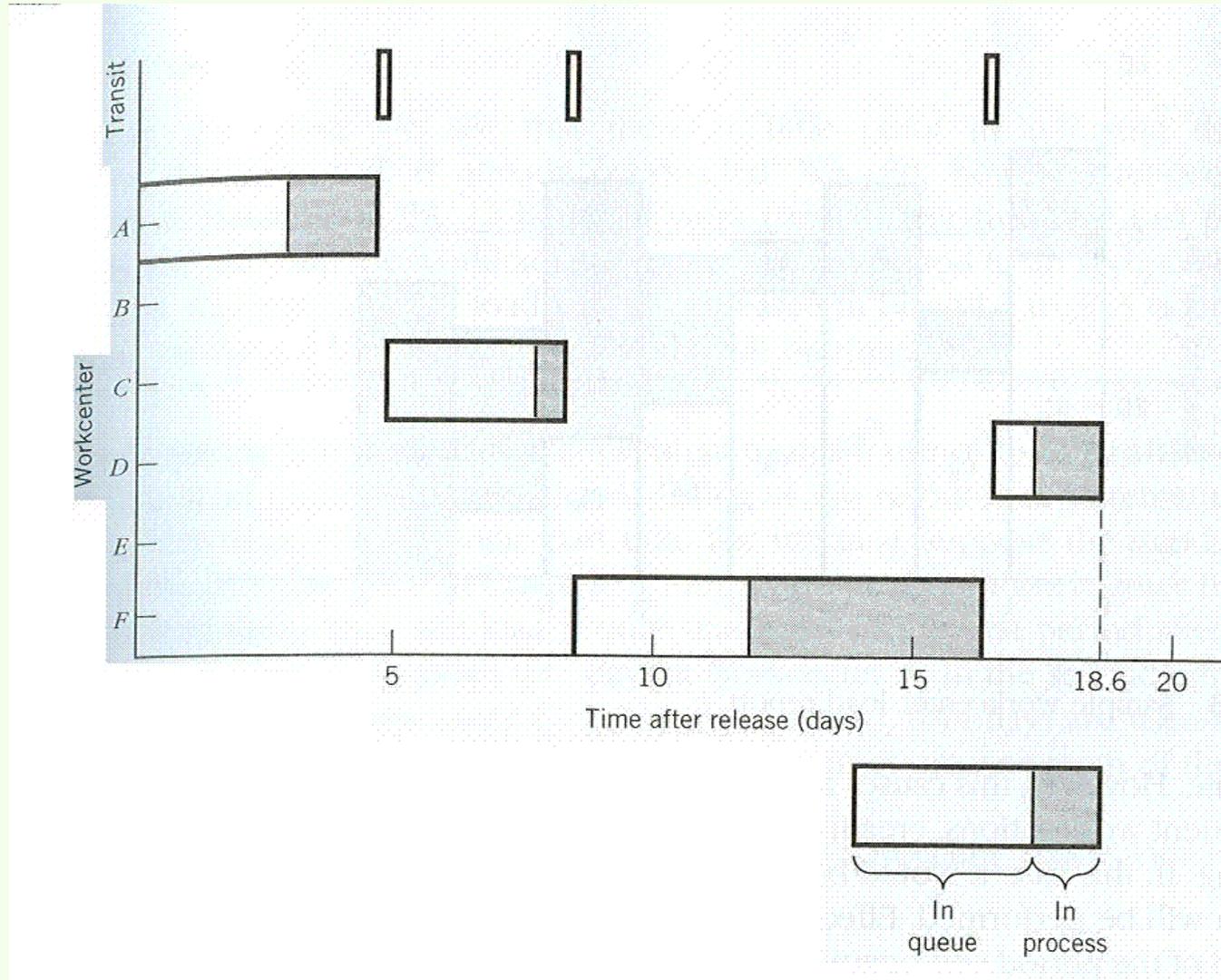
*Roteamento de peças*

**MOVIMENTAÇÃO ⇒ FILA ⇒ SETUP ⇒ PROCESSAMENTO**

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- Lead time inclui os seguintes elementos:
  - Tempo de movimentação: tempo necessário para mover um lote de peças ou matéria-prima do centro de trabalho anterior para o centro de trabalho atual.
  - Tempo de espera em fila: tempo de espera para processamento no centro de trabalho.
  - Tempo de setup: o tempo para preparar o centro de trabalho independentemente do tamanho de lote agendado.
  - Tempo de processamento: o produto do tamanho de lote pela operação ou tempo de processamento da máquina por peça.

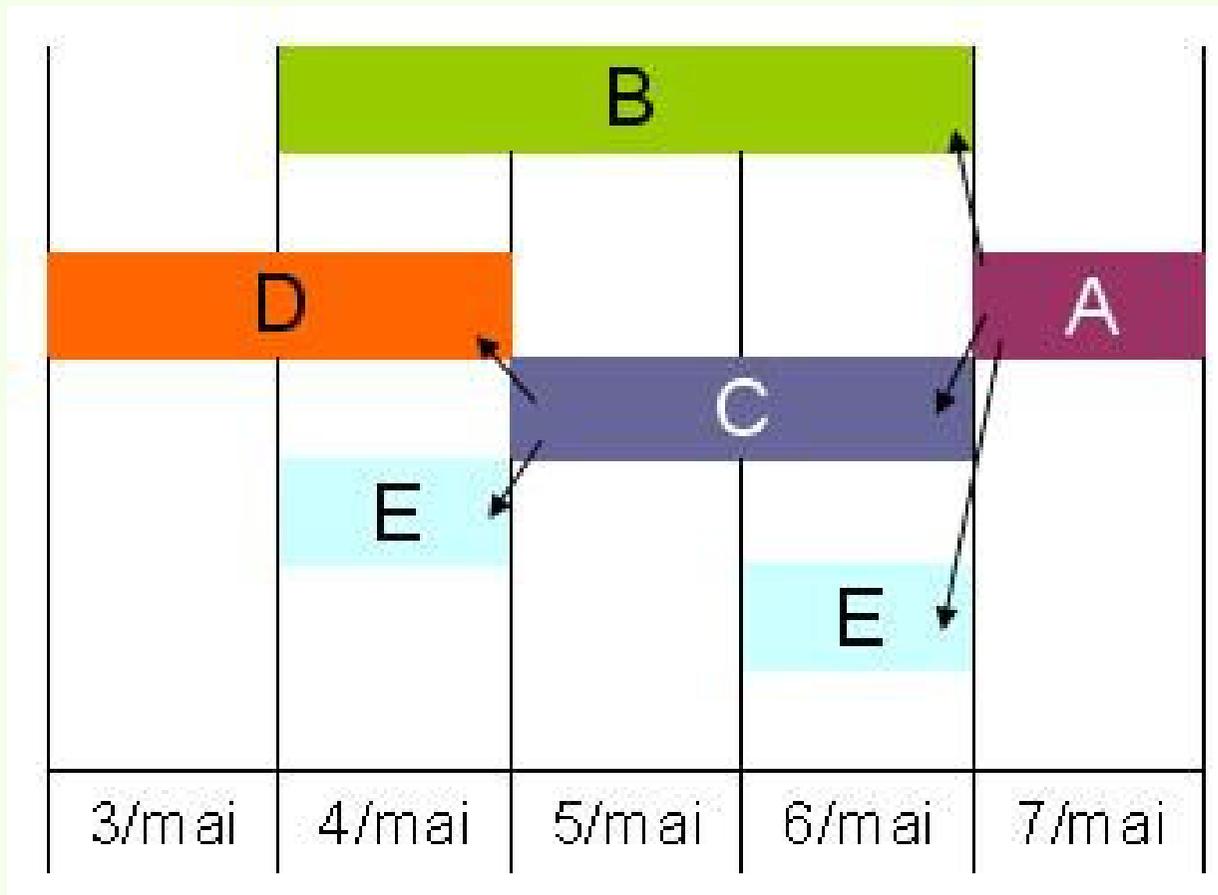
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)



# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- **Tempos de setup, movimentação e espera em fila** ⇒ adicionam custo ao produto, mas não valor ⇒ redução ou eliminação destes tempos deve ser uma parte do processo de melhoria contínua na fábrica.
  - Tempo de espera ⇒ contribui significativamente para o lead time, e oferece uma grande oportunidade para melhoria do lead time.
  - Tamanhos de lote ↓ não são econômicos quando os tempos de setup e movimentação são ↑ comparados com o tempo de processamento ⇒ eles aumentam o custo de cada peça.

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO



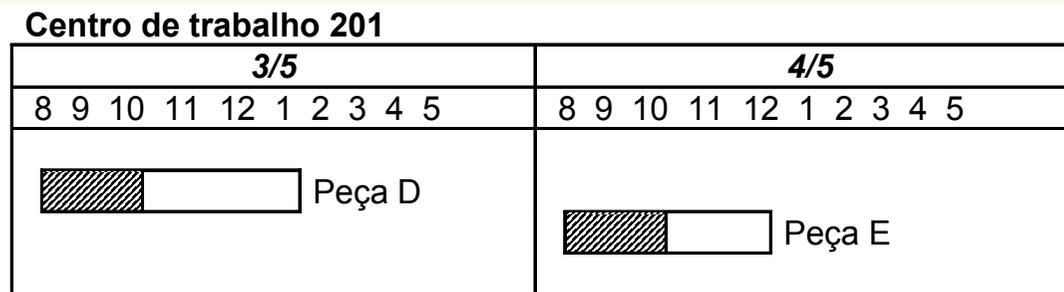
*Roteamento  
de peças -  
gráfico  
regressivo*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- 2 situações que dificultam o controle do chão de fábrica são visíveis nesse exemplo:
  - centros de trabalho comuns;
  - sobreposição das agendas de produção.
- Ambas as peças usam o centro de trabalho **201** como a primeira operação e o centro de trabalho **204** para uma operação posterior.
- Além disso:
  - a produção das peças **D** e **E** sobrepõem-se no dia **4/5**;
  - a peça **E** é agendada para produção em 2 dias diferentes.

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- Usando o gráfico regressivo e dados da folha de roteamento para cada peça  $\Rightarrow$  elaborou-se o gráfico de Gantt na figura abaixo (para o centro de trabalho 201)



*Gráfico de Gantt para o centro de trabalho 201: peças D e E*

# INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA PRODUÇÃO

- O gráfico inclui o lead time total e indica que o centro de trabalho **201** pode manusear ambas as peças.
- Nenhum conflito ocorre entre as agendas para as peças **D** e **E**.
- **Área hachurada** na barra  $\Rightarrow$  indica que há uma componente de **espera** no lead time total.
- Se um **conflito** ocorre no centro de trabalho durante o agendamento de outras peças  $\Rightarrow$  os agendadores do centro de trabalho podem usar o tempo de espera para ajustar as agendas da peça encurtando o tempo de espera e processando as peças mais cedo.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)
  - Métodos tradicionais de **reabastecimento de estoque** → têm por objetivo fazê-lo até o seu estado de capacidade original.
  - Porém estoques de manufatura não devem ser enchidos até a sua capacidade total.
  - Princípio de reabastecimento de estoque requer que os itens de estoque estejam disponíveis todo o tempo.
  - Esta abordagem compensa a inabilidade de determinar-se a **quantidade precisa** e o **tempo de necessidade** num futuro próximo.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
  - Controle de estoque → deve ter como objetivo fornecer itens no momento em que forem necessários → portanto, é necessário determinar-se a **quantidade de estoque**, no qual um novo suprimento deve ser encomendado, para trazer estoque ao seu nível desejado.
  - Esse ponto é chamado de “**ponto de reabastecimento**”.
  - Técnicas de determinação do ponto de reabastecimento → representam a implementação da noção de reabastecimento do estoque → quase todas elas tentam fornecer algum **estoque de segurança** para compensar flutuações na demanda.
  - Um dos problemas associados a essas técnicas são as **hipóteses falsas** sobre a demanda externa observada → consequência: pode existir um nível elevado de estoque, estoque baixo e também falta de estoque.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

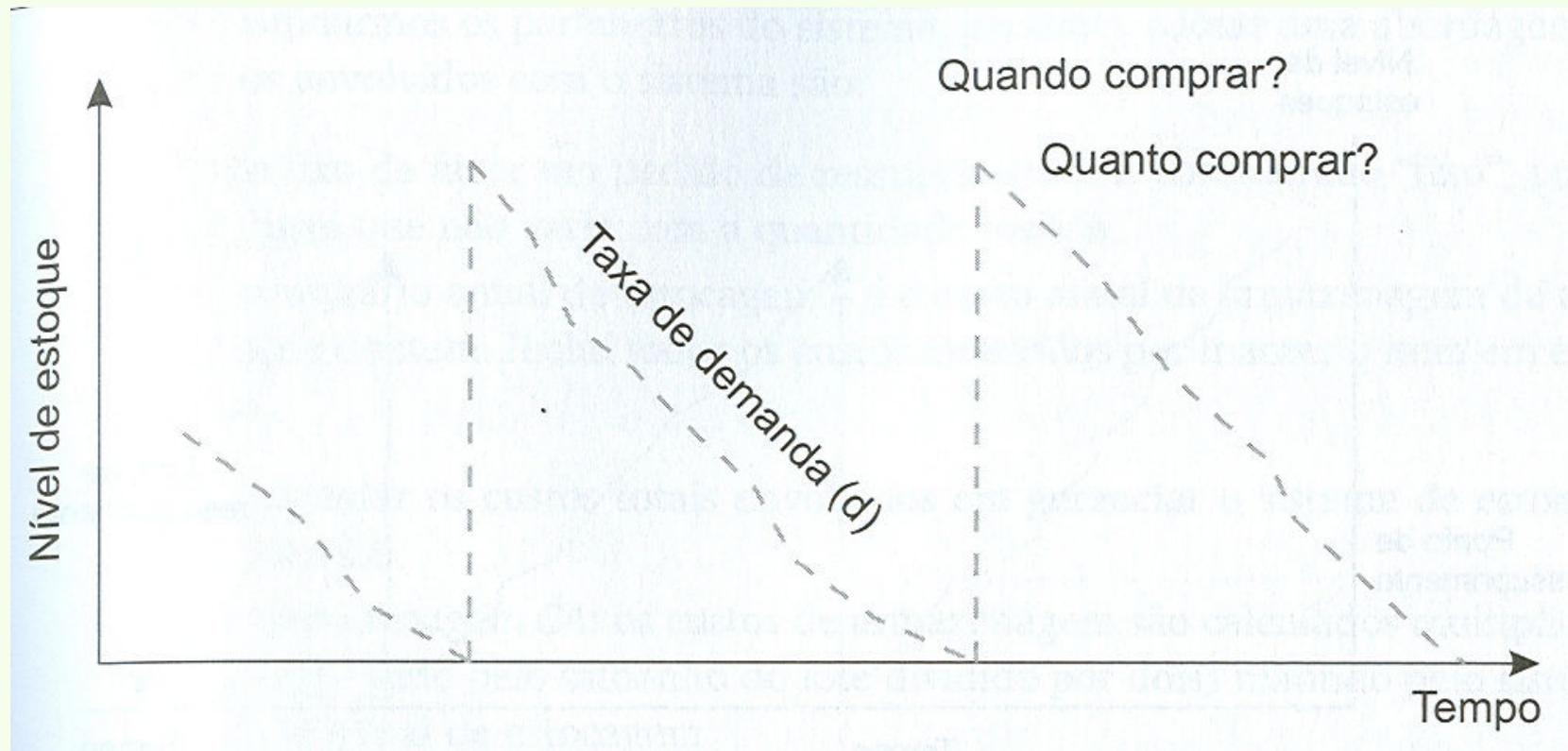
- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
  - Em vista disso → ponto de reabastecimento é um conjunto de procedimentos, regras de decisão e registros que objetivam assegurar a **disponibilidade física contínua** de todos os itens de estoque em face de uma **demanda incerta**.
  - Quando o fornecimento alcança o ponto de reabastecimento, o estoque é **preenchido**.
  - Para assegurar disponibilidade contínua de fornecimento → ponto de reabastecimento corresponde a um valor constante para evitar perdas de vendas.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
  - Momento de expedição de ordens de reencomenda sob a regra de ponto de reabastecimento é determinado pelo uso de **níveis de “disparo”**.
  - Nível de estoque é monitorado continuamente, e uma ordem de reabastecimento para uma quantidade fixa é expedida quando a contagem de peças cai a um nível especificado.

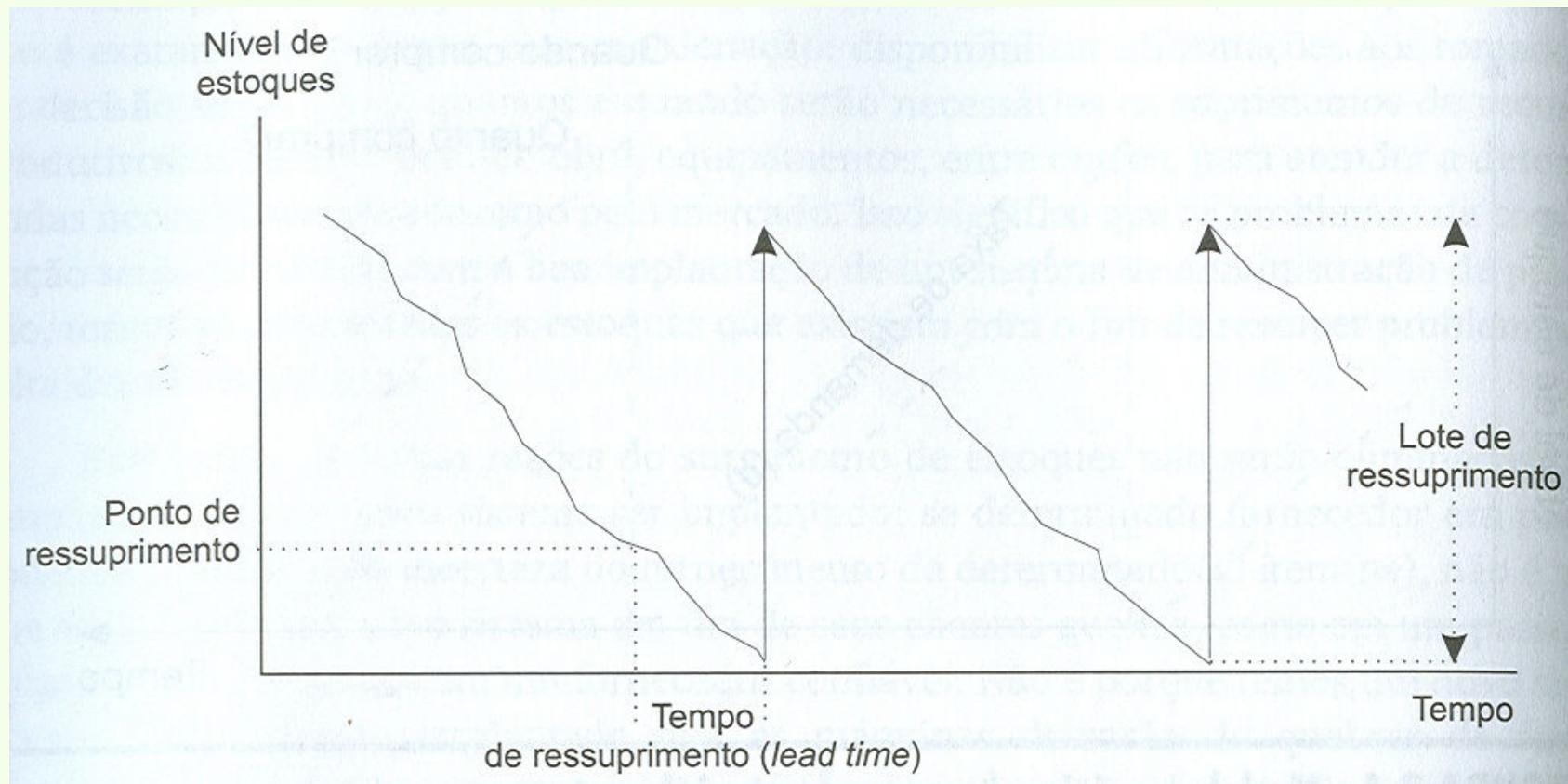
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



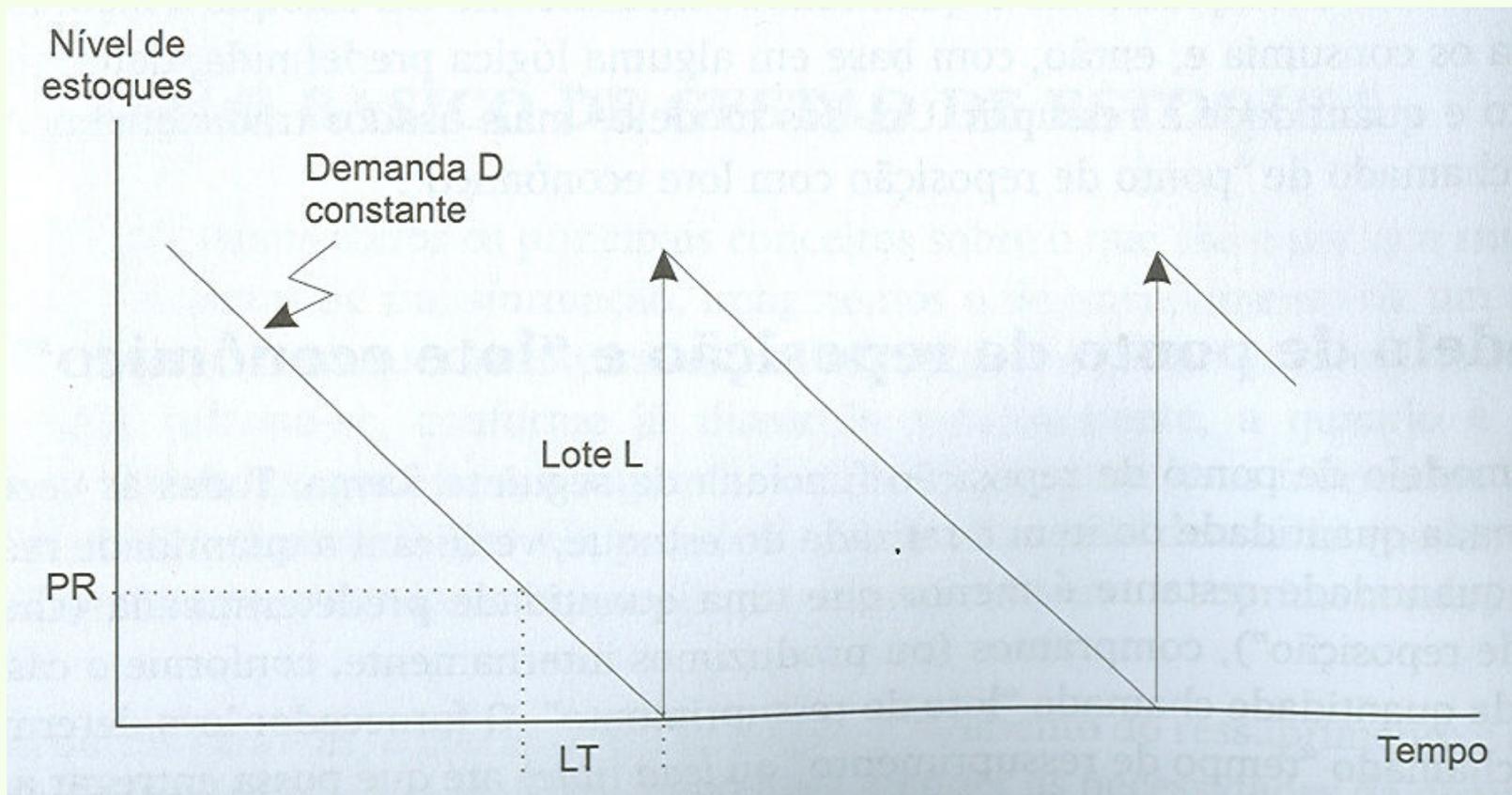
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



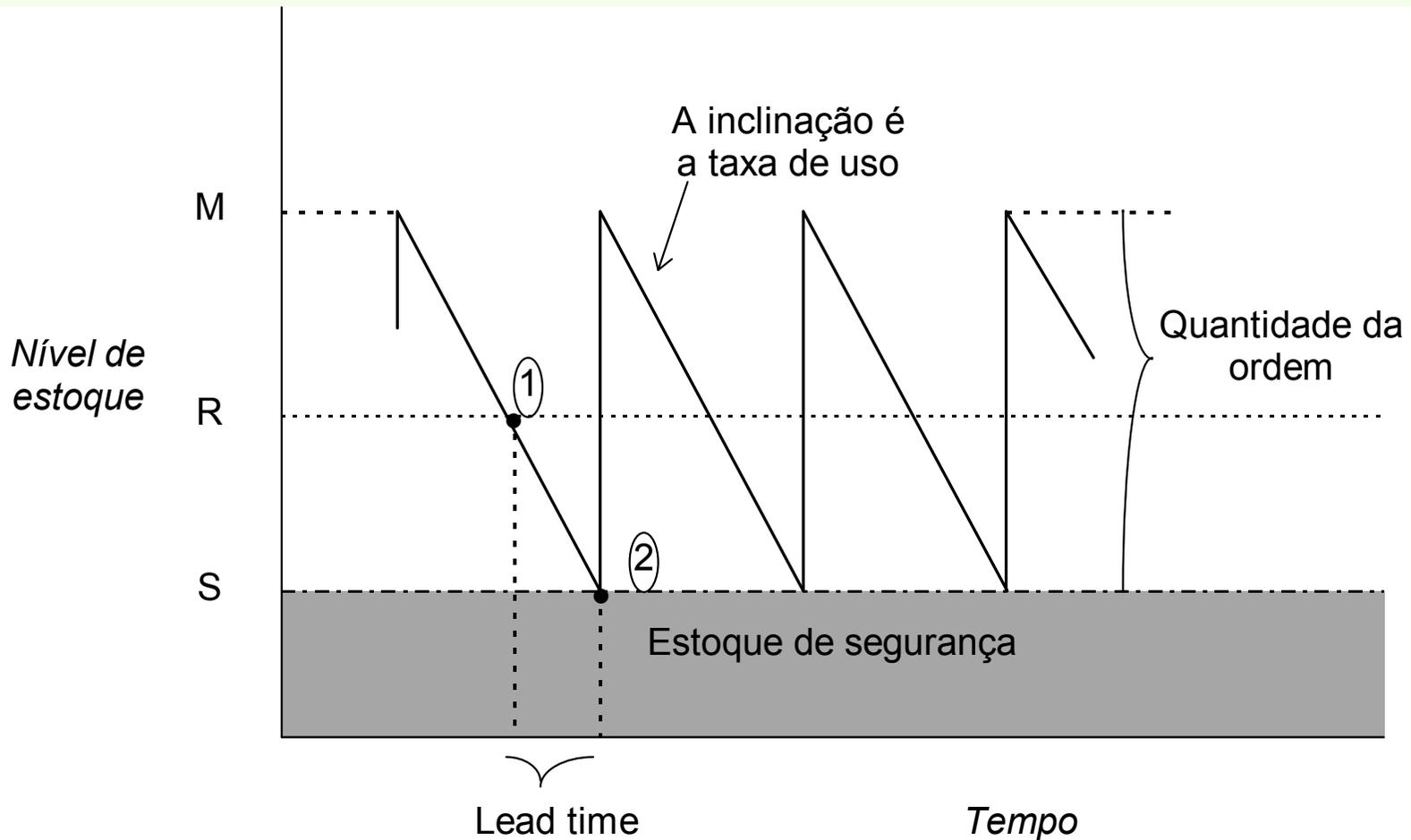
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

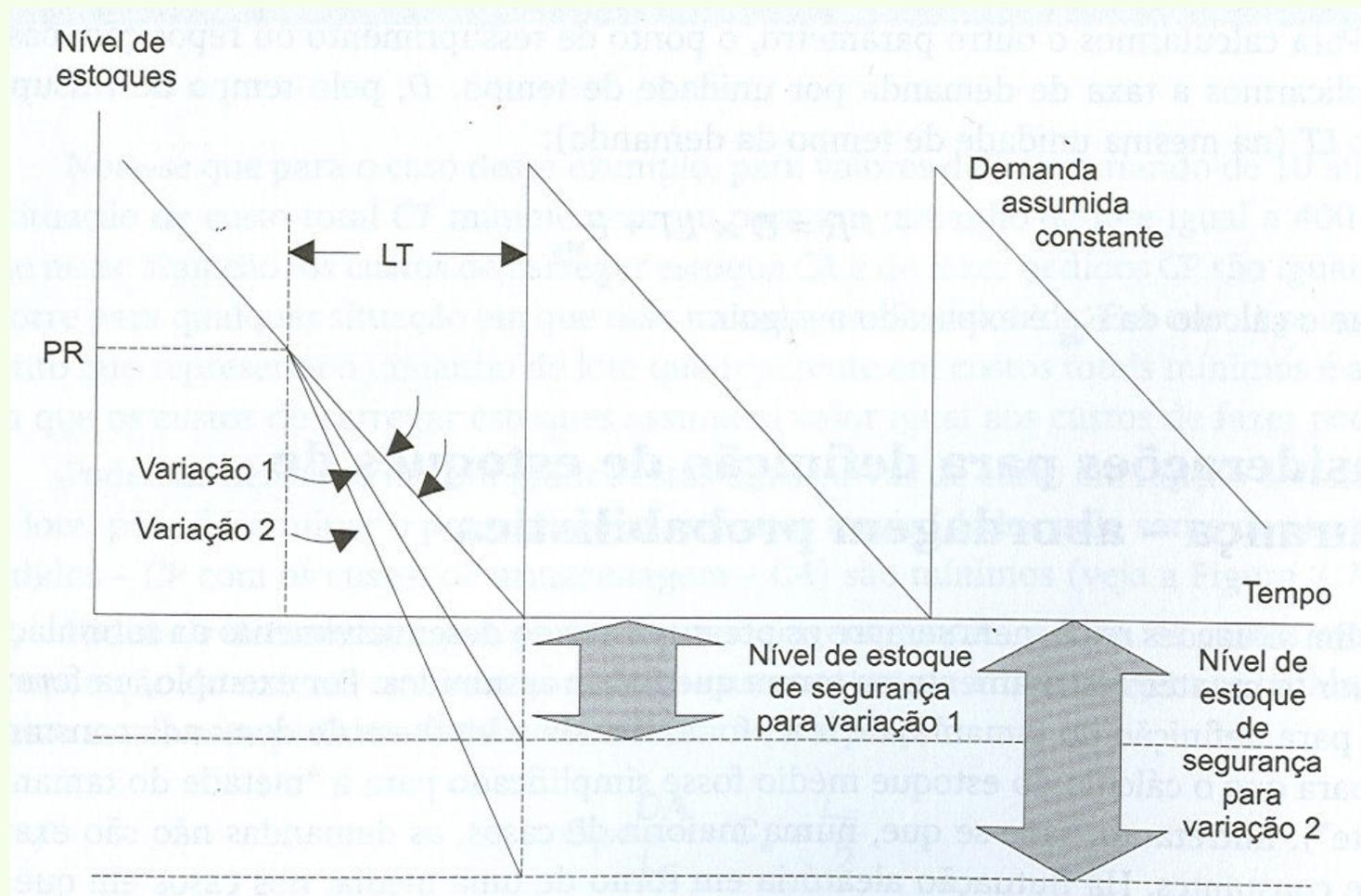
- **Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)**
  - Seleção do ponto de reabastecimento → influenciada por 4 fatores:
    - taxa de demanda da produção,
    - lead time necessário para reabastecer o estoque,
    - grau de incerteza na taxa de demanda e do lead time,
    - política da empresa referente à escassez de estoque.
  - Se a taxa de demanda e o lead time têm uma elevada certeza → não há necessidade de estoque de segurança → ponto de reabastecimento é facilmente estabelecido.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)
  - Entretanto → na maioria das operações de manufatura a demanda é raramente constante, e o lead time, especialmente dos fornecedores externos, é afetada pelas condições de mercado
  - Portanto → houve a necessidade de um sistema mais **responsivo** à demanda real e a prevista, não somente baseado em dados históricos → esse foi um dos motivos do desenvolvimento do **MRP I**.

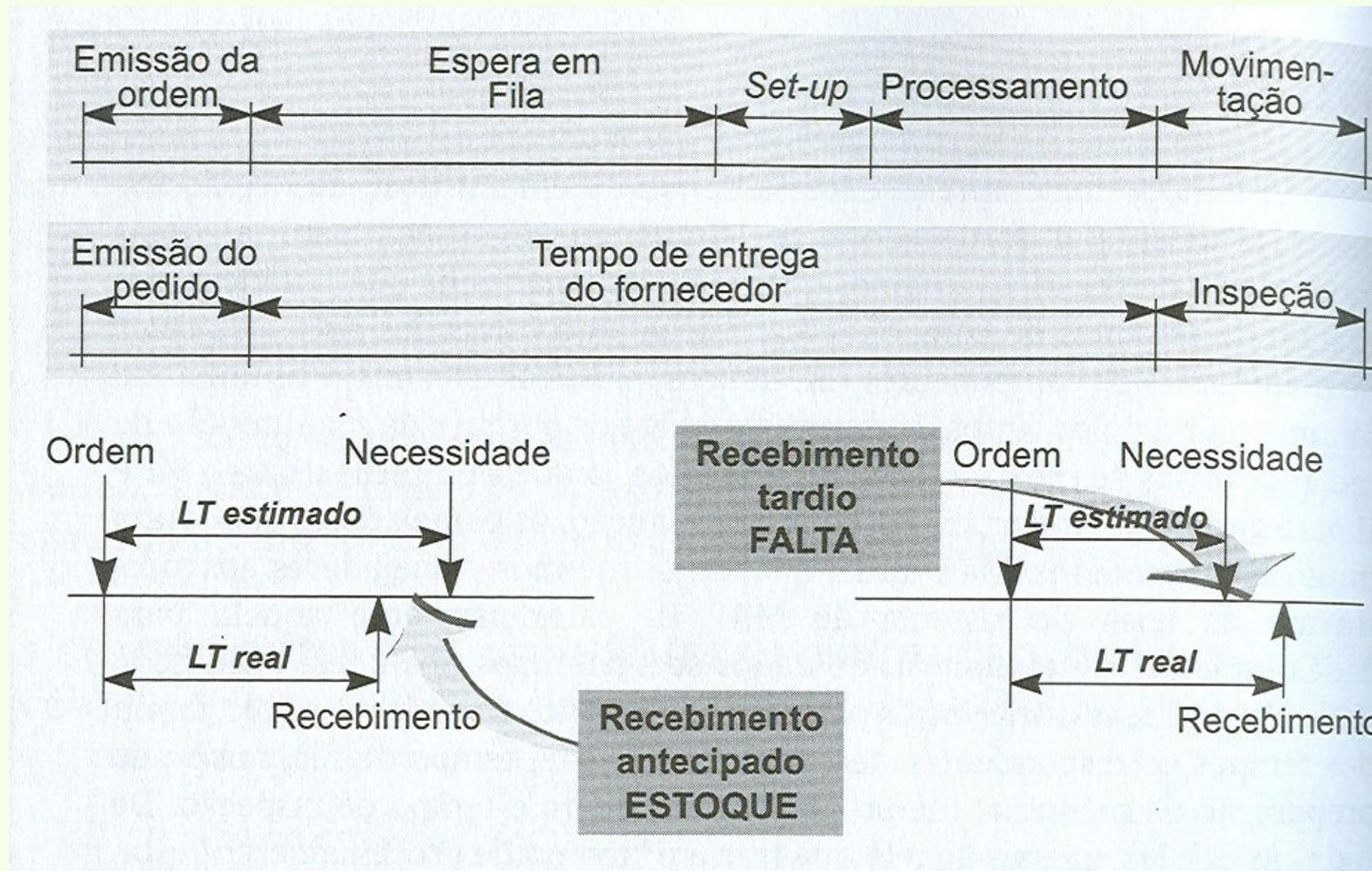
# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- Ponto de Reabastecimento (Ressuprimento)



# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

- Alguns gerentes → **gerenciamento de estoque** = técnica que assegura que os materiais estão disponíveis quando necessitados e que não resultam em custos excessivos.
- Método que pode ser aplicado → advém da **Lei de Pareto** (1897) → simples & possui a capacidade de classificar os estoques para um melhor gerenciamento.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

- Pareto → refere-se à **distribuição de riqueza e dinheiro** → descobriu que o dinheiro estava concentrado numa pequena porcentagem da população → acreditava que isto representava uma tendência universal → formulou um **axioma**, que diz:

*“itens significativos num dado grupo normalmente constituem uma pequena porcentagem dos itens totais no grupo e a maioria dos itens no total vão ter uma menor importância.”*

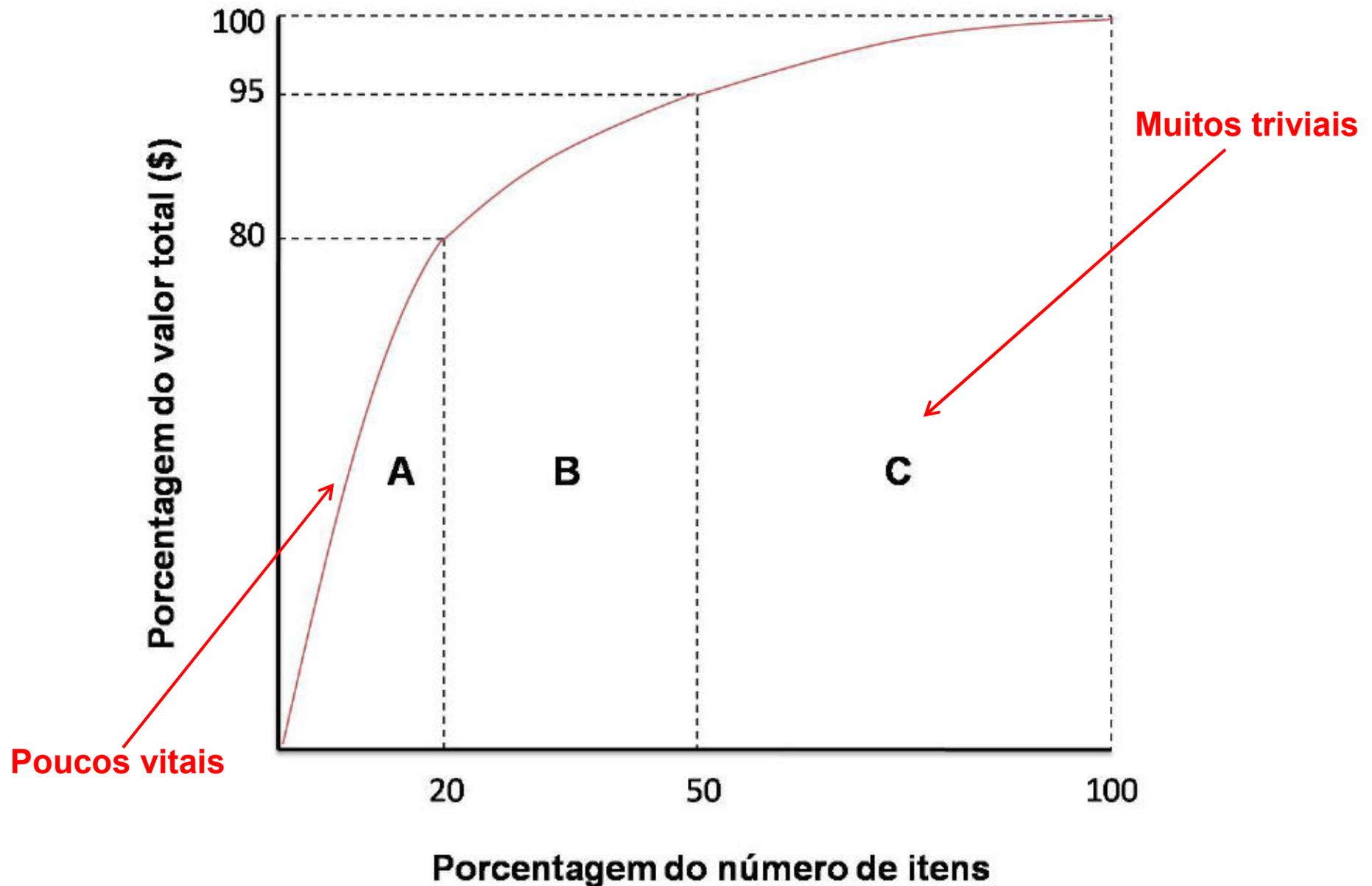
- Padrão aproximado da Lei de Pareto → expressa numa **relação matemática empírica** → **80%** da distribuição corresponde a **20%** dos membros.
  - O mesmo padrão se aplica a estoque. Aproximadamente **20%** dos itens correspondem a **80%** do custo total.

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

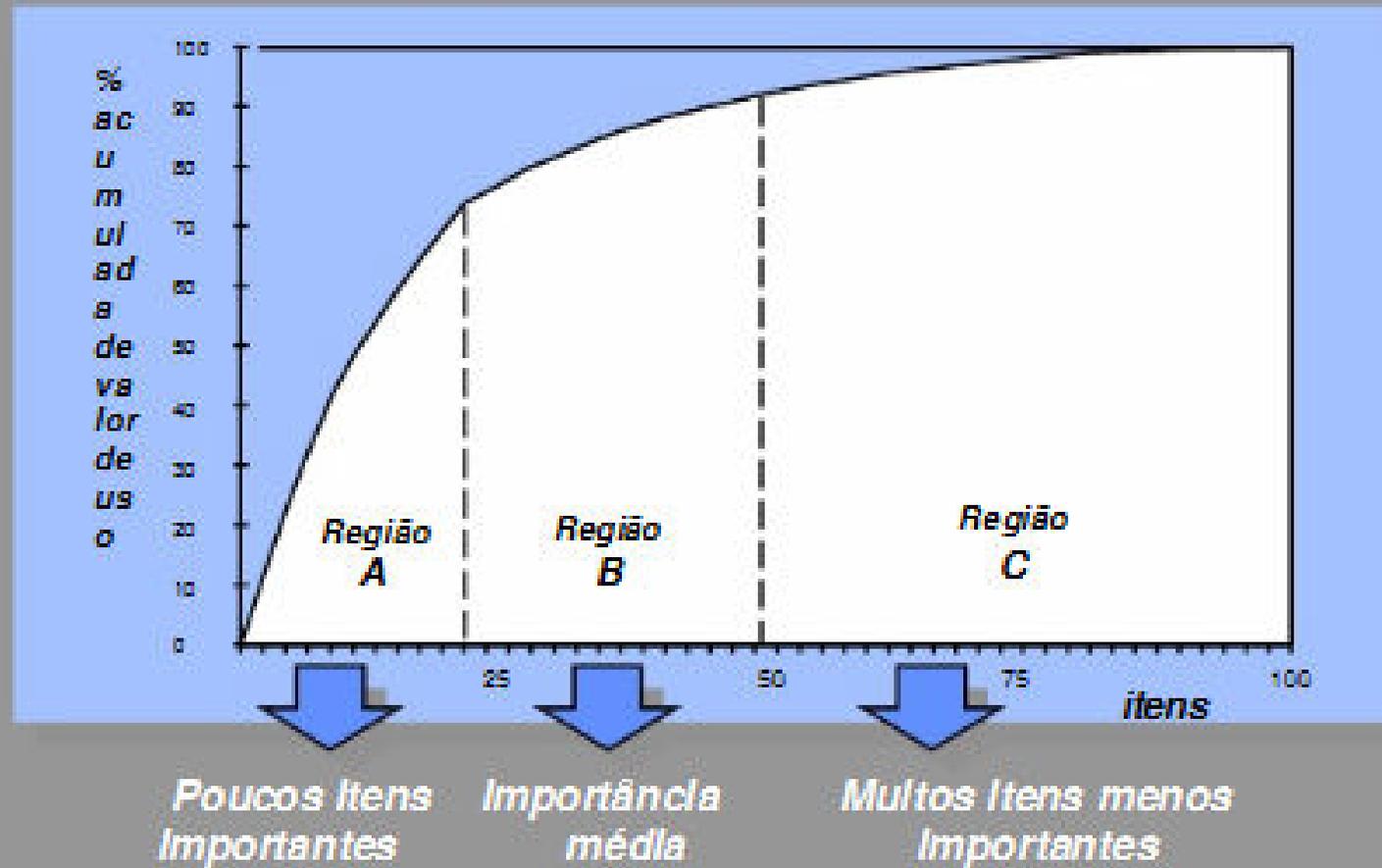
- Lei de Pareto → origina o que se chama “**Estoque ABC**”.
  - 20% correspondem aos itens A, e representam 80% do custo;
  - 30% serão os itens B e correspondem a 15% do custo;
  - 50% dos itens são classificados como itens C e representam apenas 5% do custo total.

# Variedade de Produtos e Estratégia de Produção

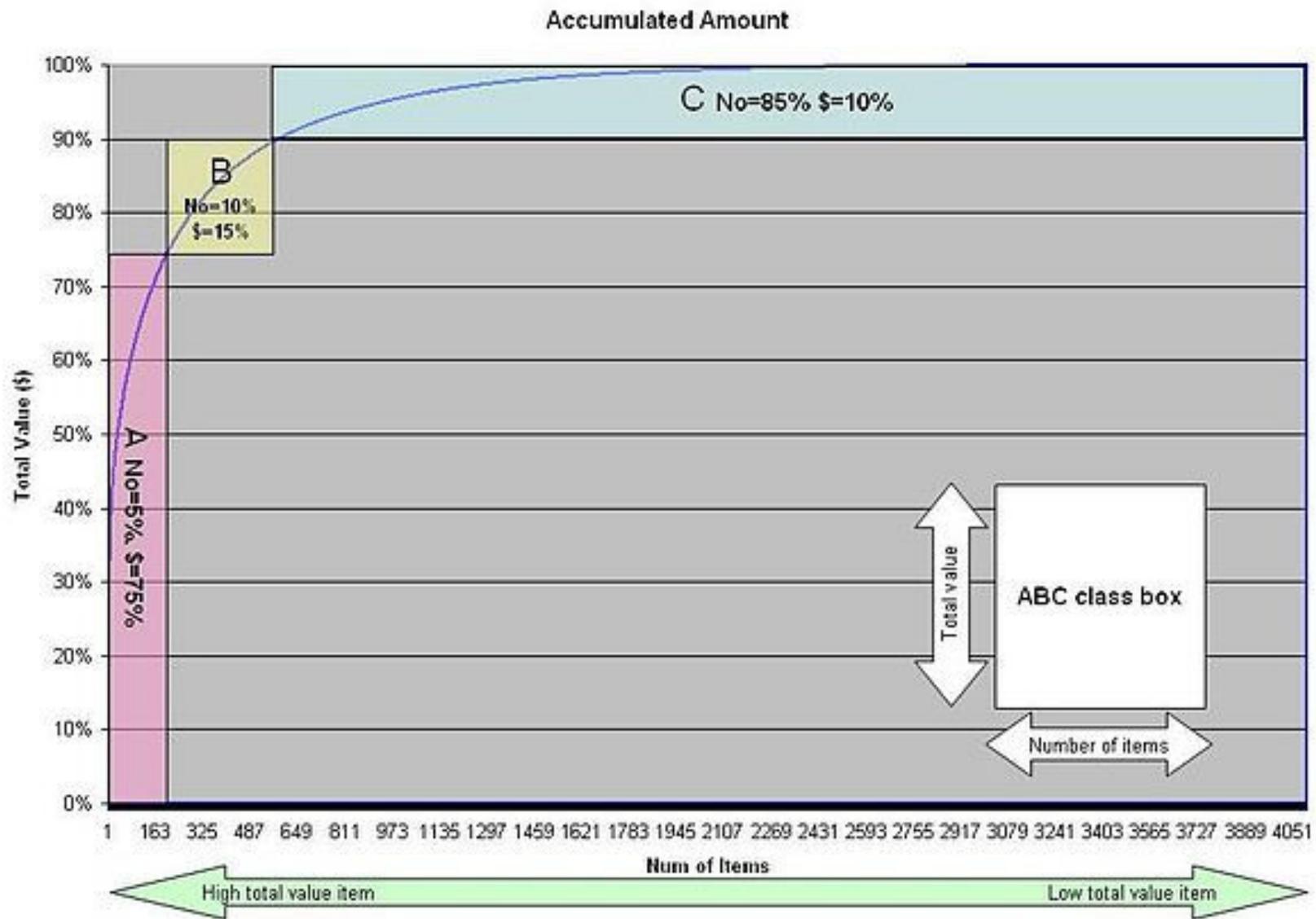


# Curva ABC construída

Curva de Pareto ou curva **ABC** ou curva 80-20

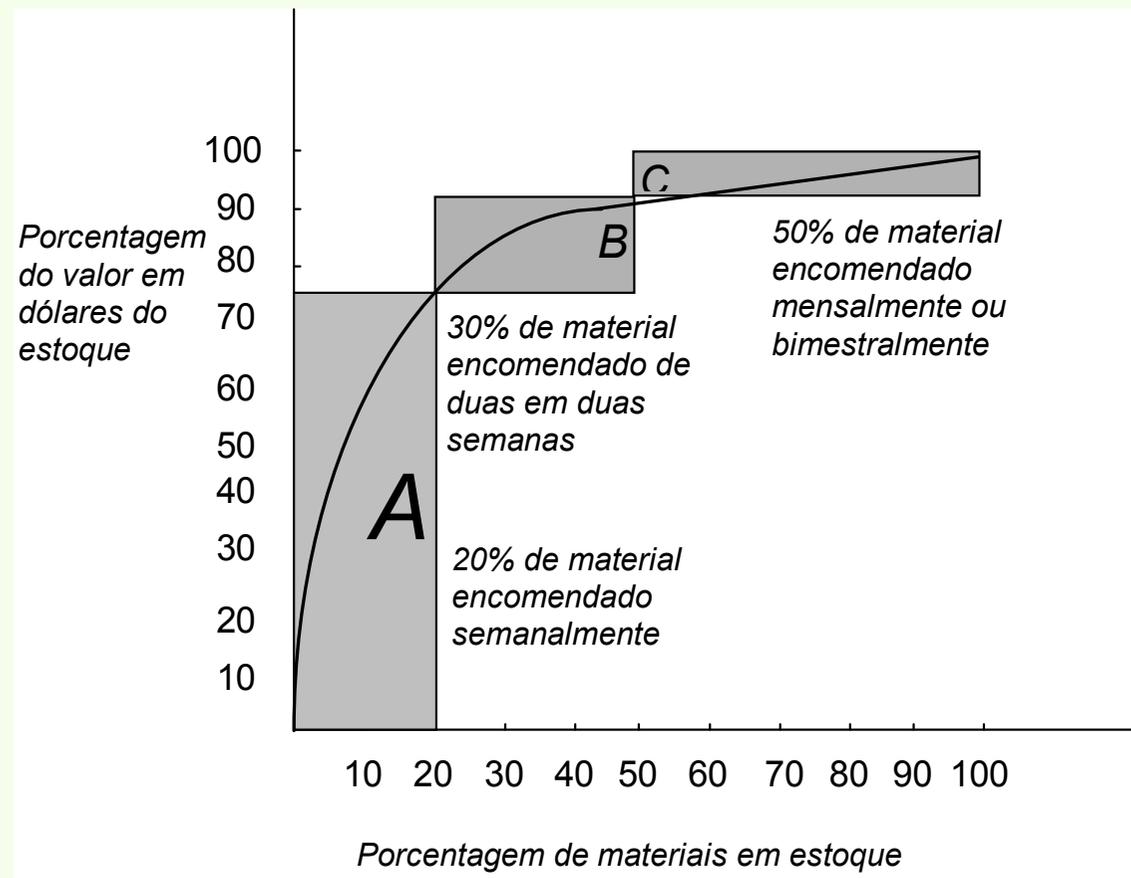


# Curva ABC



# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC



*Classificação de estoque baseada na Lei de Pareto*

# PLANEJAMENTO DE REQUISITOS DE CAPACIDADE (CRP)

- O Estoque ABC

- A idéia por trás do princípio ABC → aplicar a maioria dos **recursos para o planejamento e controle dos itens A** em detrimento dos outros itens encontrados que têm pouco efeito sobre o custo total, ou **controlar** os itens A com maior **precisão** do que as outras classes.
- Isto resulta num **controle preciso e revisões mais freqüentes**.

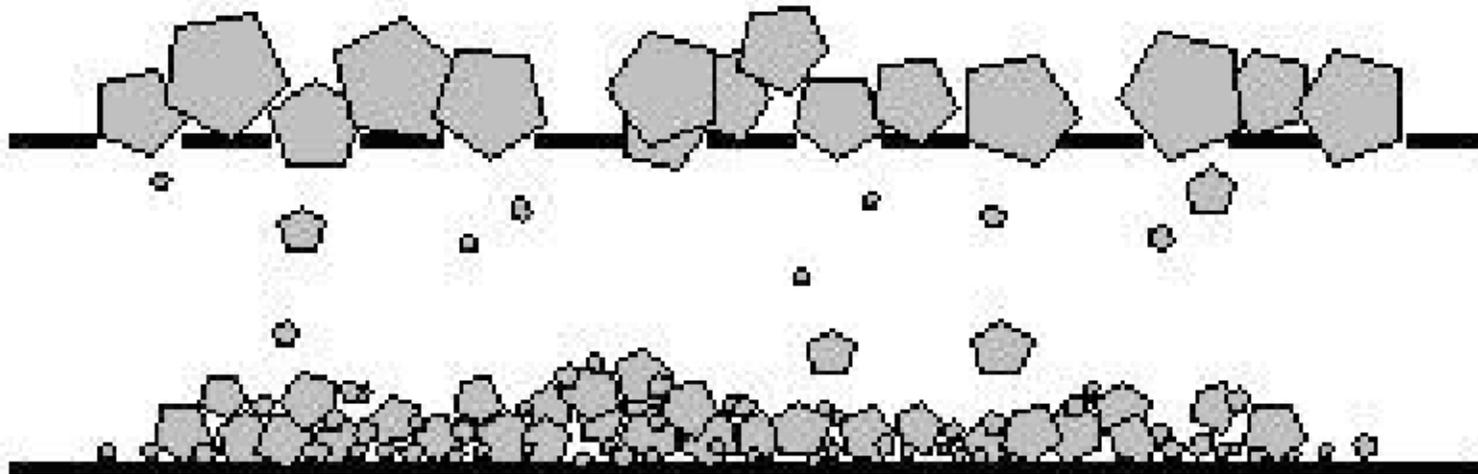
# Análise dos itens produzidos e estocados

## Análise dos itens

| <b>Itens de Análise</b>   | <b>Itens de grande Importância</b> | <b>Itens de pouca Importância</b> |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Número de itens estocados | Poucos                             | Muitos                            |
| Valor Envolvido           | Grande                             | Pequeno                           |
| Profundidade na análise   | Maior                              | Menor                             |
| Margem de erro            | Menor                              | Maior                             |
| Benefício relativo        | Maior                              | Menor                             |
| Atenção da Administração  | Maior                              | Menor                             |

# Variedade de Produtos e Estratégia de Produção

Numa definição simples, Curva ABC é um recurso para identificar os itens mais importantes a considerar dentro de uma quantidade geralmente grande de itens.



Separando o GROSSO !

# O que é curva ABC?

- A curva ABC é um importante instrumento para se examinar estoques, permitindo a identificação daqueles itens que justificam atenção e tratamento adequados quanto à sua administração.
- Ela consiste na verificação, em certo espaço de tempo (normalmente 6 meses ou 1 ano), do consumo em valor monetário, ou quantidade dos itens de estoque, para classificá-los em ordem decrescente de importância.
- Os itens mais importantes de todos, segundo a ótica do valor ou da quantidade, são chamados itens classe A, aos intermediários, itens classe B, e aos menos importantes, itens classe C.
- A experiência mostra que poucos itens, de 10% a 20% do total, são da classe A, enquanto uma grande quantidade, em torno de 50%, é da classe C e 30% a 40%, são da classe B.
- A curva ABC é muito usada para a administração de estoques, para a definição de políticas de vendas, para estabelecimento de prioridades, para a programação da produção, para organização do sistema de produção.

# Curva ABC

| <i>Item de Estoque</i> | <i>Custo Unitário (\$)</i> | <i>Vendas Mensais (Unids)</i> | <i>Volume (\$)</i> | <i>% Volume</i> | <i>% SKUs</i> | <i>Classe</i> |
|------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------|
| Computadores           | 3000                       | 50                            | 150000             | 74              | 20            | A             |
| Home Theater           | 2500                       | 30                            | 75000              |                 |               |               |
| TVs                    | 400                        | 60                            | 24000              |                 |               |               |
| Refrigeradores         | 1000                       | 15                            | 15000              | 16              | 30            | B             |
| Monitores              | 200                        | 50                            | 10000              |                 |               |               |
| Stereos                | 150                        | 60                            | 9000               |                 |               |               |
| Cameras                | 200                        | 40                            | 8000               |                 |               |               |
| Software               | 50                         | 100                           | 5000               | 10              | 50            | C             |
| CDs                    | 5                          | 1000                          | 5000               |                 |               |               |
| CD Player              | 20                         | 200                           | 4000               |                 |               |               |

*Itens A → Revisões contínuas (muita atenção); Itens C → Revisões periódicas*

# Exemplo de dados coletados e ordenados

| Item         | Quant. Média em estoque (A) | Custo Unitário (B) | Custo Total (A) x (B) | Ordem           |
|--------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
|              | unidades                    | R\$                | R\$                   |                 |
| A            | 5                           | 2.000,00           | 10.000,00             | 3 <sup>º</sup>  |
| B            | 10                          | 70,00              | 700,00                | 10 <sup>º</sup> |
| C            | 1                           | 800,00             | 800,00                | 9 <sup>º</sup>  |
| D            | 100                         | 50,00              | 5.000,00              | 5 <sup>º</sup>  |
| E            | 5000                        | 1,50               | 7.500,00              | 4 <sup>º</sup>  |
| F            | 800                         | 100,00             | 80.000,00             | 1 <sup>º</sup>  |
| G            | 40                          | 4,00               | 160,00                | 11 <sup>º</sup> |
| H            | 50                          | 20,00              | 1.000,00              | 8 <sup>º</sup>  |
| I            | 4                           | 30,00              | 120,00                | 12 <sup>º</sup> |
| J            | 240                         | 150,00             | 36.000,00             | 2 <sup>º</sup>  |
| K            | 300                         | 7,50               | 2.250,00              | 6 <sup>º</sup>  |
| L            | 2000                        | 0,60               | 1.200,00              | 7 <sup>º</sup>  |
| <b>TOTAL</b> |                             |                    | <b>144.730,00</b>     |                 |

# Cálculo dos percentuais

| Ordem | Item | Quant. Média<br>em estoque (A)<br><br>unidades | Custo<br>Unitário (B)<br><br>R\$ | Custo<br>Total<br>(A) x (B)<br><br>R\$ | Custo total<br><br>R\$ | Percentuais<br><br>% |
|-------|------|--|----------------------------------|--|------------------------|----------------------|
| 1ª    | F    | 800  | 100                              | 80.000,00                              | 80.000,00              | 55,3                 |
| 2ª    | J    | 240  | 150                              | 36.000,00                              | 116.000,00             | 80,1                 |
| 3ª    | A    | 5  | 2.000,00                         | 10.000,00                              | 126.000,00             | 87,1                 |
| 4ª    | E    | 5000   | 1,5                              | 7.500,00                               | 133.500,00             | 92,2                 |
| 5ª    | D    | 100  | 50                               | 5.000,00                               | 138.500,00             | 95,7                 |
| 6ª    | K    | 300  | 7,5                              | 2.250,00                               | 140.750,00             | 97,3                 |
| 7ª    | L    | 2000   | 0,6                              | 1.200,00                               | 141.950,00             | 98,1                 |
| 8ª    | H    | 50   | 20                               | 1.000,00                               | 142.950,00             | 98,8                 |
| 9ª    | C    | 1  | 800                              | 800                                    | 143.750,00             | 99,3                 |
| 10ª   | B    | 10   | 70                               | 700                                    | 144.450,00             | 99,8                 |
| 11ª   | G    | 40   | 4                                | 160                                    | 144.610,00             | 99,9                 |
| 12ª   | I    | 4  | 30                               | 120                                    | 144.730,00             | 100,0                |
| Total |      |  |                                  | 144.730,00                             |                        |                      |

# Análise dos resultados (critério qualitativo)

| CLASSE | % ITENS | VALOR ACUMULADO | IMPORTÂNCIA   |
|--------|---------|-----------------|---------------|
| A      | 10 a 20 | 70 a 80%        | Grande        |
| B      | 30 a 40 | 15 a 30%        | Intermediária |
| C      | 50 a 70 | 5 a 15%         | Pequena       |

|          |         |
|----------|---------|
| 20% X 12 | 2,4 = 2 |
| 30% X 12 | 3,6 = 3 |
| 60% X 12 | 7,2 = 7 |

| CLASSE | No Itens | % ITENS | VALOR ACUMULADO | Itens em Estoque    |
|--------|----------|---------|-----------------|---------------------|
| A      | 2        | 16,7%   | 80,1            | F, J                |
| B      | 3        | 25,0%   | 15,6            | A, E, D             |
| C      | 7        | 58,3%   | 4,3             | K, L, H, C, B, G, I |
|        | 12       | 100,0%  | 100,0           |                     |

|                      |
|----------------------|
| 80,1                 |
| $80,1 - 95,7 = 15,6$ |
| $95,7 - 100 = 4,3$   |

A empresa Alfa S/A pretende classificar os itens em estoque a fim de definir aqueles que deverão ser controlados mais efetivamente. Em virtude disso, efetue a classificação ABC dos mesmos segundo a porcentagem que representam no investimento total.

| Item   | Consumo Anual | Custo (R\$) |
|--------|---------------|-------------|
| 000.1  | 55            | 1.800       |
| 000.2  | 16,5          | 9.600       |
| 000.3  | 100           | 12.600      |
| 000.4  | 66,5          | 2.400       |
| 000.5  | 83,5          | 600         |
| 000.6  | 65            | 16.300      |
| 000.7  | 55            | 900         |
| 000.8  | 50            | 1.500       |
| 000.9  | 78            | 3.000       |
| 000.10 | 33,5          | 2.400       |

A empresa Alfa S/A pretende classificar os itens em estoque a fim de definir aqueles que deverão ser controlados mais efetivamente. Em virtude disso, efetue a classificação ABC dos mesmos segundo a porcentagem que representam no investimento total.

| Item | Consumo Anual | Custo (R\$) |
|------|---------------|-------------|
| A    | 450           | 2,35        |
| B    | 23.590        | 0,45        |
| C    | 12.025        | 2,05        |
| D    | 670           | 3,60        |
| E    | 25            | 150,00      |
| F    | 6.540         | 0,80        |
| G    | 2.460         | 12,00       |
| H    | 3.480         | 2,60        |
| I    | 1.250         | 0,08        |
| J    | 4.020         | 0,50        |
| K    | 1.890         | 2,75        |
| L    | 680           | 3,90        |
| M    | 345           | 6,80        |
| N    | 9.870         | 0,75        |
| O    | 5680          | 0,35        |

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Teoria para determinação de um **tamanho de lote econômico** → busca definir uma quantidade cujo **custo de fabricação seja mínimo**, considerando-se:
  - os insumos,
  - os valores de trabalho agregado,
  - os tempos de máquina,
  - os custos para manter os estoques.
- Esses custos normalmente podem ser agrupados em 3 categorias básicas:
  - custo de preparação (ou setup)
  - custo unitário de produção
  - custo de manutenção do estoque

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- **Custo de Setup**

- Todos os custos necessários à preparação de uma rodada de fabricação. Os principais itens computados são:
  - mão-de-obra aplicada na preparação das máquinas;
  - custos dos materiais e acessórios envolvidos na preparação;
  - outros custos indiretos: administrativos, contábeis, etc.

- **Custo Unitário de Produção**

- Nesse item são considerados os custos dos insumos básicos diretamente empregados no processo produtivo, como:
  - matérias-primas;
  - mão-de-obra aplicada na produção;
  - tempos de máquinas envolvidos.

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- **Custo de Manutenção do Estoque**
  - Estoque  $\Rightarrow$  custo para a indústria  $\rightarrow$  normalmente considerado para cada produto por unidade de tempo de armazenagem.
  - Principais itens para cálculo:
    - juros de capital imobilizado;
    - risco de obsolescência do produto;
    - prêmios de seguro, taxas e impostos;
    - perdas por deterioração;
    - despesas com instalações, aluguéis, iluminação, etc.

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Método mais simples para determinação do lote → fundamenta-se na **análise econômica dos custos** → inicialmente definido para **dimensionar lotes de compras**, adaptado posteriormente para o ambiente de manufatura, bastando que fossem considerados os **tempos de preparação e encomenda** como similares.
- Sistema de manufatura **tradicional** → máquinas produzem para um determinado nível de **estoque em função da demanda** → **modelo clássico** de lote tem melhor aplicabilidade.

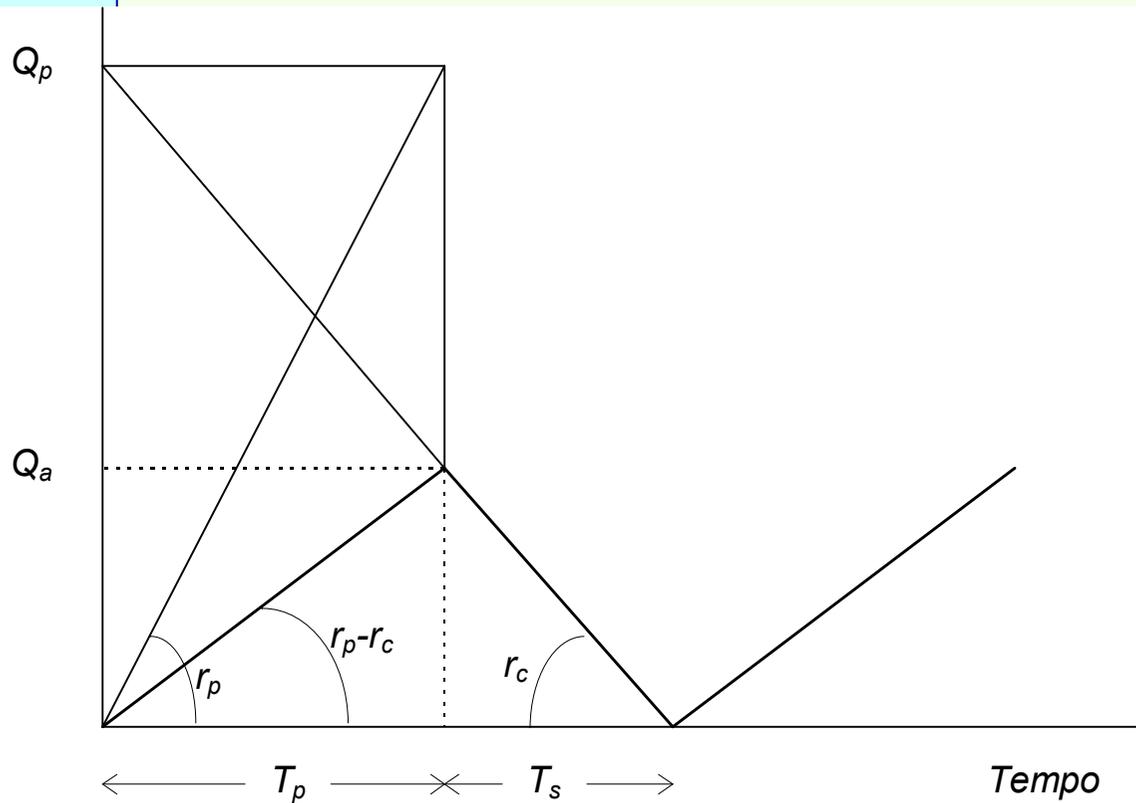
# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Mesmo assim → é apenas um **ponto de partida na definição da quantidade**, que deve ser aperfeiçoada com o decorrer dos **ciclos produtivos**, fazendo-se os **ajustes** necessários em função das particularidades de cada processo.
- **Fabricação celular ???** → definições determinadas para os produtos isoladamente são **questionáveis** → manufatura ocorre para uma **família de peças** = lote constituído de uma série de **produtos distintos**.
- Será apresentado primeiro o **modelo clássico** para definir o tamanho de lote econômico ( $Q_e$ ), abordando-se posteriormente um tratamento dentro da filosofia de **tecnologia de grupo**.

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Abordagem Clássica
  - Definição da **quantidade econômica** ( $Q_e$ ) para os lotes → efetua-se uma análise sobre as variações de estoque, considerando-se **taxas de produção e de consumo**.

# DO TAMANHO NÔMICO



$r_p$  = taxa de produção  
 $r_c$  = taxa de consumo  
 $r_p - r_c$  = taxa de aumento do estoque

$Q_p$  = quantidade de produção total  
 $Q_a$  = quantidade acumulada no ciclo

$T_p$  = tempo do ciclo de produção

$T_s$  = tempo do ciclo de consumo

$T_c$  = tempo do ciclo total ( $T_p + T_s$ )

$c_s$  = custo de setup por ciclo

$c_e$  = custo de manutenção de estoque por produto, por unidade de tempo

*Evolução da produção com o tempo*

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

(a) Quantidade produzida num ciclo:

$$Q_p = T_p \times r_p \quad (1)$$

(b) Custo unitário do setup:

$$C_s = \frac{c_s}{Q_p} \quad (2)$$

(c) Estoque médio:

$$Q_m = \frac{Q_a}{2} \quad (3)$$

(d) Custo de manutenção do estoque médio:

$$C_m = \frac{Q_a}{2} \times c_e \times \frac{T_c}{Q_p} \quad (4)$$

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

(e) Tempo total do ciclo:

$$T_c = \frac{Q_p}{r_c} \quad (5)$$

(f) Quantidade acumulada:

$$Q_a = T_p \times (r_p - r_c) \quad (6)$$

para  $T_p = \frac{Q_p}{r_p} \quad (7)$

$$Q_a = (r_p - r_c) \times \frac{Q_p}{r_p} \quad (8)$$

para  $\beta = \frac{r_c}{r_p} \quad (9)$

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

(g) Custo total:

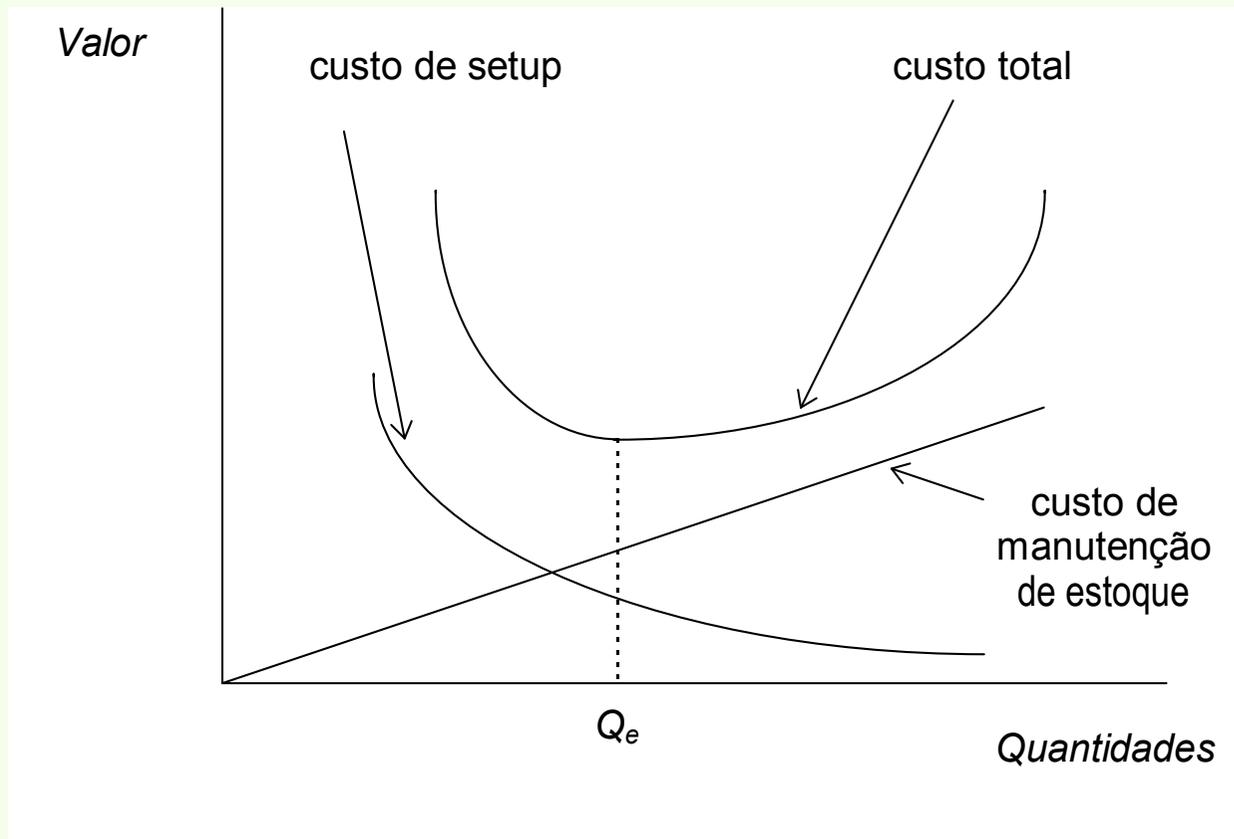
$$CT = \frac{c_s}{Q_p} + c_e (1 - \beta) \frac{Q_p}{2r_c} \quad (10)$$

- Diferenciando-se **CT** em relação a **Q** → busca-se o valor de **Q<sub>e</sub>** para que o custo total seja mínimo. Obtém-se então:

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 r_c c_s}{(1 - \beta) c_e}} \quad (11)$$

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

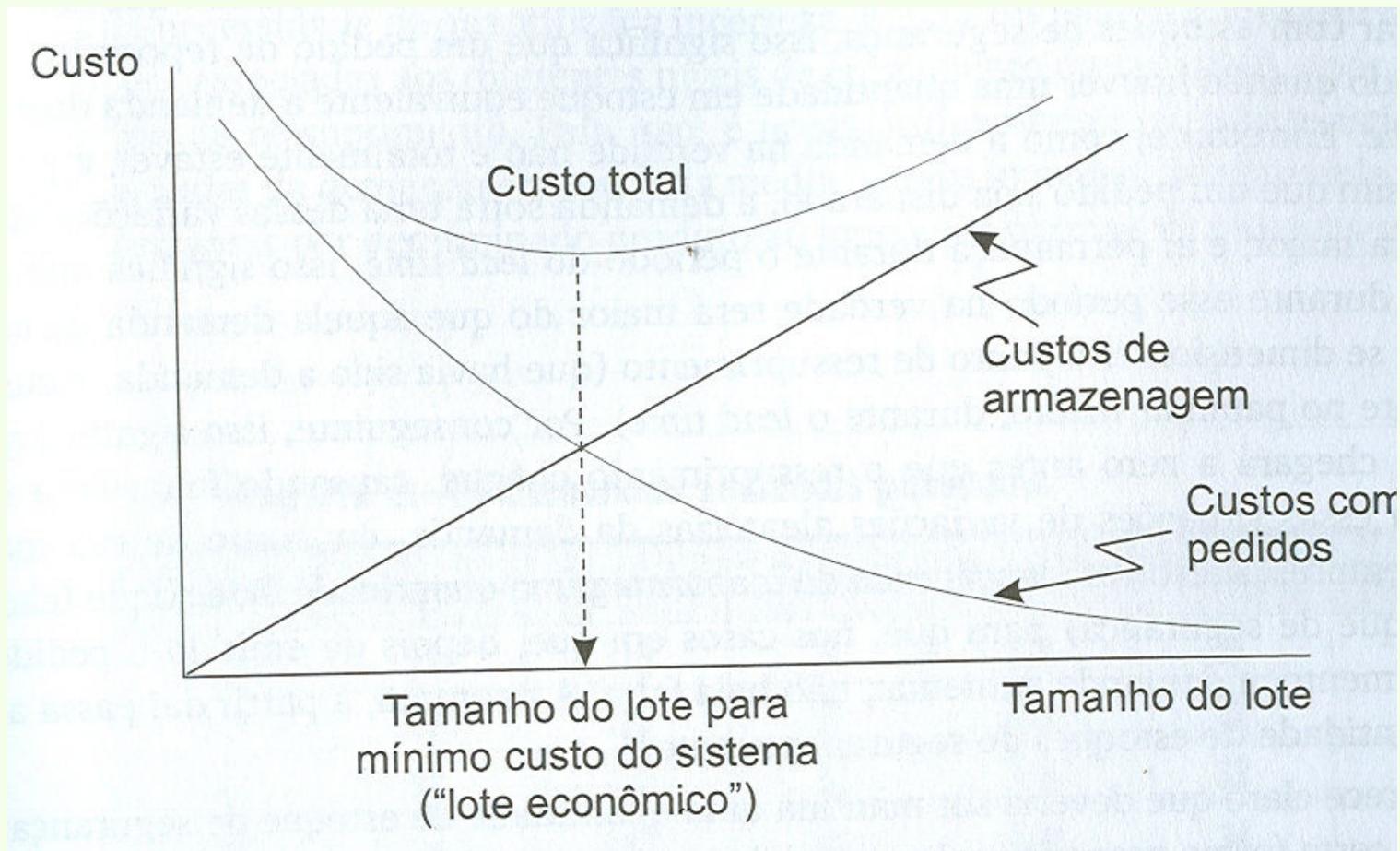
- Representação gráfica da quantidade econômica de fabricação  $Q_e$  → quantidade versus custo do lote.



*Custo de fabricação do lote*

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- **Representação gráfica** da quantidade econômica de fabricação  $Q_e$  → **quantidade versus custo do lote.**



# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Representação gráfica da quantidade econômica de fabricação  $Q_e \rightarrow$  quantidade versus custo do lote.

| $C_f = R\$ 20; C_o = R\$2; DA = 8.000$ |                           |                              |                |
|--|---------------------------|------------------------------|----------------|
| $L$                                    | $CA = C_o \times (L/2)$   | $CP = C_f \times (DA/L)$     | $CT = CA + CP$ |
| Tamanho de lote                        | Custo de carregar estoque | Custo anual de fazer pedidos | Custo total    |
| 10                                     | 10                        | 16.000                       | 16.010         |
| 50                                     | 50                        | 3.200                        | 3.250          |
| 100                                    | 100                       | 1.600                        | 1.700          |
| 150                                    | 150                       | 1.067                        | 1.217          |
| 200                                    | 200                       | 800                          | 1.000          |
| 300                                    | 300                       | 533                          | 833            |
| 400                                    | 400                       | 400                          | 800            |
| 500                                    | 500                       | 320                          | 820            |
| 600                                    | 600                       | 267                          | 867            |
| 700                                    | 700                       | 229                          | 929            |
| 800                                    | 800                       | 200                          | 1.000          |

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Tempo ótimo para o ciclo de produção → definido através das equações (5) e (11).

$$T_c^* = \sqrt{\frac{2 c_s}{(1 - \beta) r_c c_s}} \quad (12)$$

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Outro problema → **vários produtos sejam produzidos num mesmo ciclo, nas mesmas máquinas** → determinar o ciclo de produção para o lote dos  $n$  produtos, ou lote multiproduto.
- Cada produto → elemento  $j$  → tempo do ciclo = dado pela equação (12) adaptada:

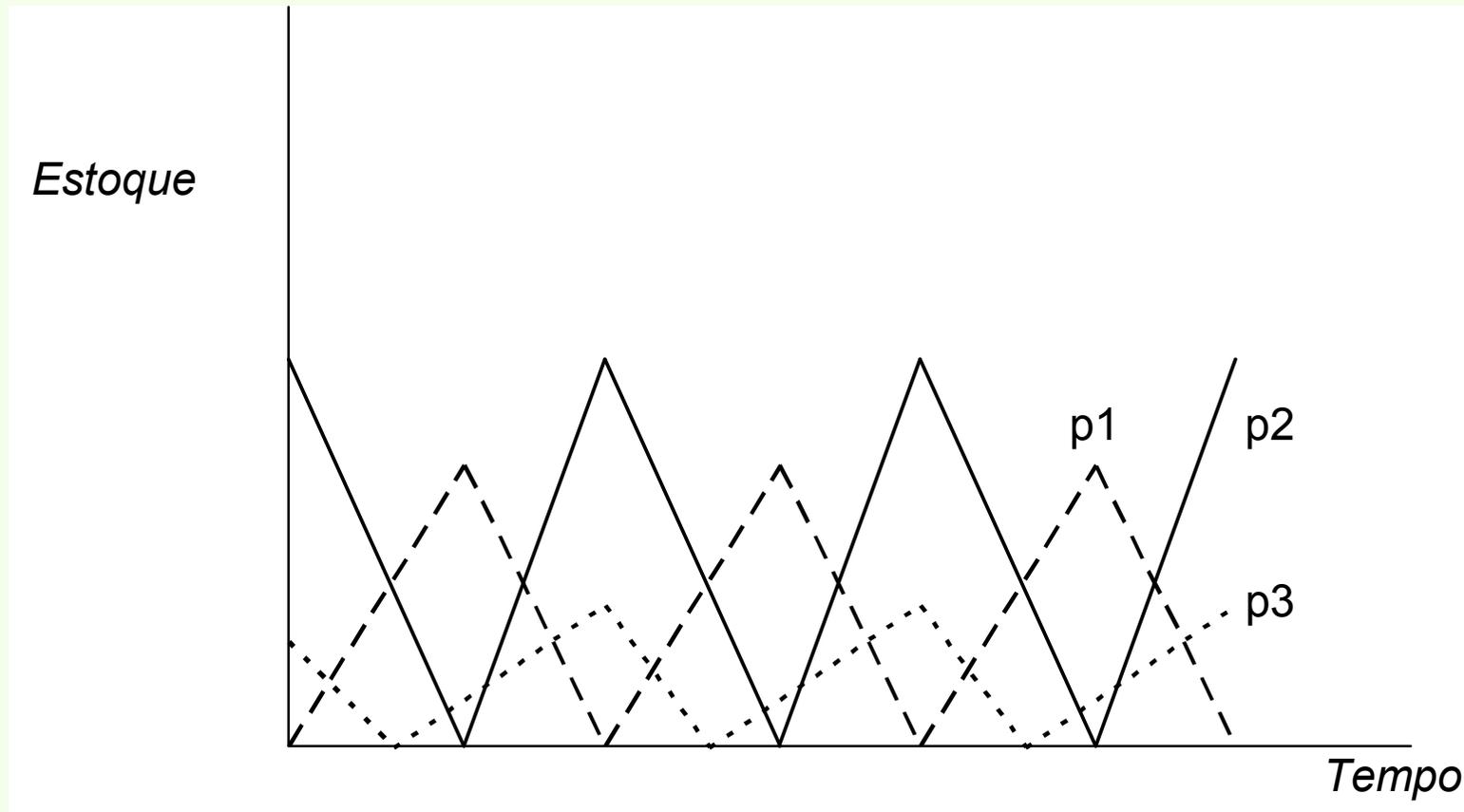
$$T_c^{**} = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n c_{s_j}}{\sum_{j=1}^n (1 - \beta_j) r_{c_j} c_{e_j}}} \quad (13)$$

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

- Conseqüentemente, pelas equações (5) e (13) → pode-se determinar o **tamanho de lote de cada um dos produtos** através da equação (14).

$$Q_{e_j} = r_{c_j} T_c^{**} = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n c_{s_j} r_{c_j}^2}{\sum_{j=1}^n (1 - \beta_j) r_{c_j} c_{e_j}}} \quad (14)$$

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO



*Lote de produção cíclico para três produtos distintos (p1, p2 e p3)*

# DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE LOTE ECONÔMICO

*Applet para o cálculo do tamanho de lote econômico:*

**[www.grima.ufsc.br/software/Lote/Lote.html](http://www.grima.ufsc.br/software/Lote/Lote.html)**

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Dinâmica da Teoria das Restrições (jogo dos dados e palitos).



# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Nos diferentes tipos de produção (p.ex. *flow shop*, ou *FMS*) → **muitas operações distintas** de processamento a serem executadas sobre o produto.
- Invariavelmente → **seqüência** dos passos é **restringida** em termos da **ordem** na qual as operações podem ser executadas.
- Exemplos:
  - Furo roscado:
    - **furo** (p.ex. com uma **broca helicoidal**),
    - **rosca** (p.ex. com um **macho**).
  - Fixação mecânica:
    - **arruela** deve ser colocada sob a **cabeça do parafuso** antes que a **porca** possa ser girada e apertada.
- “**Restrições de Precedência**”

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Produto deve ser fabricado numa dada taxa de produção de modo a **satisfazer a demanda**.
- Deseja-se que no projeto de uma **linha de montagem** ou **FMS** → todas as especificações sejam satisfeitas o mais eficientemente possível.
- *Balanceamento de linha* → combinar as **tarefas individuais de processamento e montagem** para que o **tempo total exigido** em cada **estação** de trabalho seja **aproximadamente o mesmo**.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Elementos de trabalho agrupados de modo a que todos os tempos em cada estação sejam **exatamente iguais** → **balanço perfeito da linha** → produção suave.
- Entretanto → na maioria das situações práticas é muito difícil alcançar um balanço perfeito.
- Tempos diferentes das estações de trabalho → **estação mais lenta** determina a taxa de produção global da linha.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Exemplo → **aparelho elétrico novo**, que deve ser montado numa **linha dedicada**.
- Tarefa total de montagem do produto → deve ser dividida em **elementos mínimos de trabalho**.
- Departamento de Engenharia Industrial → desenvolveu **tempos padrões** baseados em tarefas anteriores (ver tabela).
- Demanda da produção = **120.000 unidades/ano** → em 50 semanas/ano e 40 horas/semana, isto resulta numa **produção da linha de 60 unidades/hora ou 1 unidade/minuto**.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

| <b>Nº</b> | <b>Descrição do elemento</b>             | <b><math>T_{ej}</math> (min)</b> | <b>Precedido por</b> |
|-----------|--|----------------------------------|----------------------|
| 1         | Colocar a base no fixador e fixar        | 0,2                              | -                    |
| 2         | Montar o plugue no fio de força          | 0,4                              | -                    |
| 3         | Montar as braçadeiras na base            | 0,7                              | 1                    |
| 4         | Enrolar o fio no motor                   | 0,1                              | 1,2                  |
| 5         | Conectar o fio ao relé                   | 0,3                              | 2                    |
| 6         | Montar a placa na braçadeira             | 0,11                             | 3                    |
| 7         | Montar a lâmina na braçadeira            | 0,32                             | 3                    |
| 8         | Montar o motor nas braçadeiras           | 0,6                              | 3,4                  |
| 9         | Alinhar braçadeira e conectá-la ao motor | 0,27                             | 6,7,8                |
| 10        | Montar o relé na braçadeira do motor     | 0,38                             | 5,8                  |
| 11        | Montar a cobertura, inspecionar e testar | 0,5                              | 9,10                 |
| 12        | Colocar na caixa para empacotamento      | 0,12                             | 11                   |

*Elementos de trabalho para a manufatura de um novo aparelho elétrico*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Mínimo elemento de trabalho: Tarefa deve ser subdividida em seus componentes.
  - Elementos Mínimos → menores tarefas nas quais a tarefa pode ser dividida (i.e. tarefas indivisíveis).
  - P.ex. → execução de um **furo com uma broca** não pode ser subdividida, e portanto este é considerado um elemento de trabalho mínimo.
  - Montagem manual → quando 2 componentes são montados com um **parafuso** e uma **porca**, é razoável que essas atividades sejam feitas simultaneamente → portanto, essa tarefa é um elemento de trabalho mínimo.
  - Tempo requerido para efetuar esse elemento de trabalho mínimo →  $T_{ej}$ , onde  $j$  é usado para identificar um elemento dentre os  $n_e$  elementos que constituem a tarefa total.
  - P.ex. → tempo,  $T_{ej}$ , para o elemento 1 na tabela é **0,2 min.**

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Tempo de duração de um elemento de trabalho = constante.
- **Cabeçote automático** → pode corresponder a esta hipótese, apesar de que o tempo de processamento seja alterado ao fazer-se ajustes na estação.
- Por outro lado → numa **operação manual** → tempo requerido para executar um elemento de trabalho variará, de fato, de ciclo para ciclo.
- Outra hipótese implícita no uso de valores de  $T_e$  → eles são **aditivos**, isto é, o tempo para executar 2 elementos de trabalho é a soma dos tempos dos elementos individuais → na prática, isto pode não ser verdade → pode ser que alguma economia de movimento seja obtida combinando-se 2 elementos de trabalho numa estação, portanto violando a hipótese de adição.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Tempo Total de Trabalho: soma dos tempos de todos os elementos de trabalho a serem efetuados →  $T_{wc}$  :

$$T_{wc} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{e_j} \quad (1)$$

Para o exemplo dado →  $T_{wc} = 4,00$  minutos

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Tempo de Processamento na Estação de Trabalho: Estação de trabalho = local no chão de fábrica onde executam-se tarefas, ou manualmente ou por um equipamento automático.
- Trabalho efetuado na estação → 1 ou mais elementos de trabalho individuais; tempo necessário =  $\Sigma$  dos tempos dos elementos de trabalho efetuados na estação.
- $T_{si}$  indica o tempo de processamento na estação  $i$  numa linha de  $n$  estações.
- $\Sigma$  dos tempos de processamento na estação =  $\Sigma$  dos tempos dos elementos de trabalho naquela estação

$$\sum_{i=1}^n T_{s_i} = \sum_{j=1}^{n_e} T_{e_j} \quad (2)$$

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Terminologia**

- **Tempo do Ciclo**: ideal ou teórico da linha → intervalo de tempo entre as **peças saindo da linha**
- Valor de projeto de  $T_c$  deve ser especificado de acordo com a **taxa de produção requerida**.
- Admitindo-se a ocorrência de paradas na produção →  $T_c$  deve satisfazer a seguinte exigência:

$$T_c \leq \frac{E}{R_p} \quad (3)$$

Onde: **E** = eficiência da linha; **R<sub>p</sub>** = taxa de produção requerida.

**Linha manual** (problemas de funcionamento menos prováveis)  
→ **eficiência será próxima de 100%**.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Valor mínimo possível de  $T_c$  → estabelecido pela **estação gargalo** → aquela que possui o maior valor de  $T_s$ . Isto é,

$$T_c \leq \max T_{s_i} \quad (4)$$

Se  $T_c = \max T_{s_i}$  → haverá tempo improdutivo em todas as estações cujos valores  $T_s < T_c$ .

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Terminologia**

- Finalmente, como os tempos das estações são compostos dos tempos dos elementos de trabalho,

$$T_c \geq T_{e_j} \quad (\text{para todos os } j = 1, 2, \dots, n_c) \quad (5)$$

Esta equação declara o óbvio: o tempo do ciclo deve ser maior ou igual a quaisquer dos tempos dos elementos de trabalho.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Terminologia**

- Equações acima → **tempo de transferência (manuseio)** foi considerado como sendo **desprezível** → se isto não for verdade, uma correção deve ser feita no valor de  $T_c$ .
- **Restrições de Precedência** ⇒ seqüência dos elementos de trabalho é limitada.
- Existem **outros tipos de restrições** à solução do problema de balanceamento → são restrições no **arranjo das estações** em vez da seqüência dos elementos de trabalho.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- 1º tipo de restrição no arranjo das estações: **restrição de área**, que pode ser **positiva** ou **negativa**.
  - Restrição de área positiva → certos elementos de trabalho devem ser localizados próximos uns dos outros, preferivelmente na mesma estação → p.ex. todos os elementos de **pintura** devem ser efetuados **juntos**, pois uma **estação especial semi-fechada** deve ser utilizada.
  - Restrição de área negativa → certos elementos de trabalho poderão **interferir uns com os outros**, e deverão portanto ser localizar-se afastados → p.ex. elemento de trabalho que requer **ajuste fino** ou **manuseio delicado** não deve ser localizado próximo a uma estação que gera **ruídos e vibrações elevados**.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

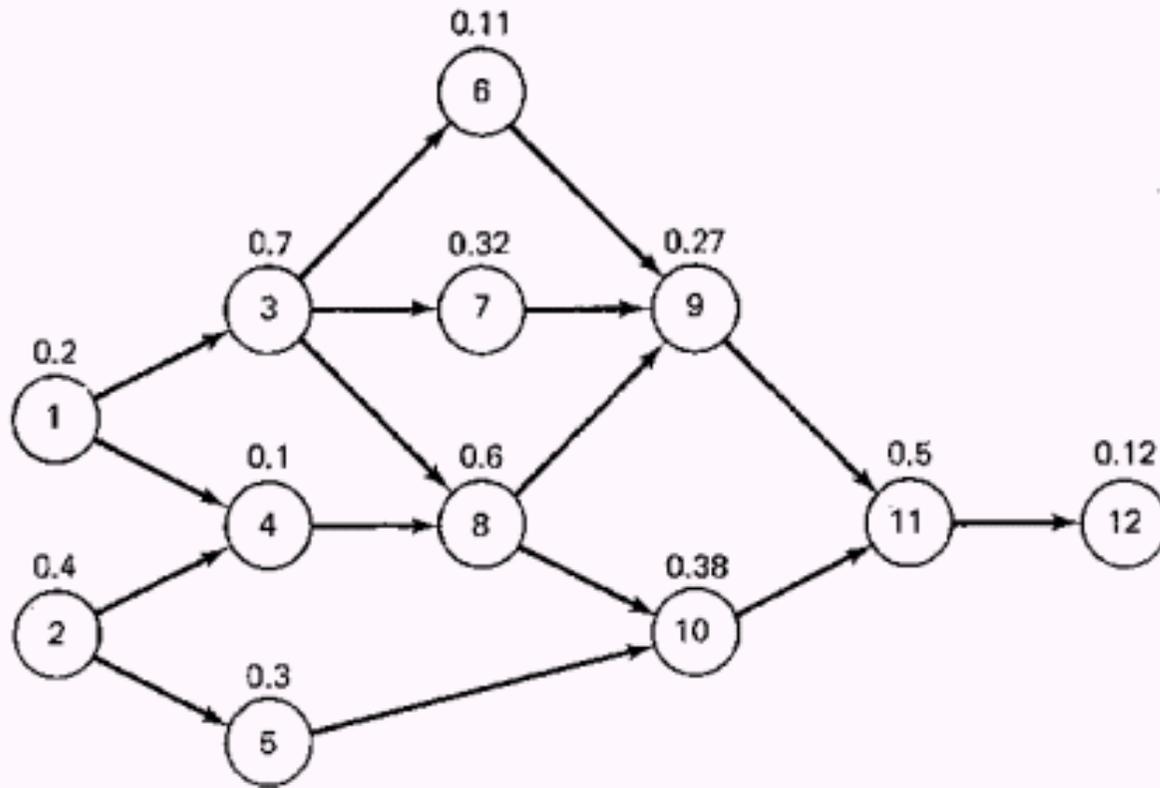
- Terminologia

- Outra restrição no arranjo das estações é a **restrição de posição** → encontrada na **montagem de produtos grandes** tais como automóveis → operador não consegue executar o trabalho em ambos os lados → para acelerar e facilitar o trabalho, **operadores são localizados em ambos os lados da linha.**
- Métodos de balanceamento de linha que serão apresentados não estão equipados para lidar com essas restrições convenientemente → entretanto, em situações reais, tais restrições devem ser consideradas no projeto do sistema de manufatura.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Diagrama de Precedência: representação gráfica da seqüência dos elementos de trabalho, considerando-se as restrições de precedência.



*Diagrama de precedência para a tabela anterior*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Atraso de Balanceamento: medida da ineficiência da linha que resulta em tempo improdutivo devido à alocação imperfeita de trabalho para as estações (“d”):

$$d = \frac{nT_c - T_{wc}}{nT_c} \quad (6)$$

- O atraso de balanceamento não deve ser confundido com a proporção de **tempo de parada** de uma linha automatizada, que é a medida da ineficiência que resulta em paradas na linha.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Considerando-se os dados do problema anterior,  $T_{wc} = 4,00$  minutos. Assumindo-se  $T_c = 1,0$  minuto, para um balanceamento perfeito, dever-se-ia ter  $n = T_{wc} / T_c = 4$  estações.

$$d = \frac{4(1,0) - 4,0}{4(1,0)} = 0$$

- Se a linha pudesse ser balanceada com pelo menos 5 estações, o atraso no balanceamento seria:

$$d = \frac{5(1,0) - 4,0}{5(1,0)} = 0,20 \text{ ou } 20\%$$

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Ambas as soluções fornecem a **mesma taxa de produção teórica**  $\Rightarrow$  entretanto, a segunda solução é menos eficiente porque 1 estação adicional (e por conseguinte um operador adicional) é necessária.
- Uma maneira possível de melhorar a eficiência da linha com **5 estações**  $\Rightarrow$  diminuir o **tempo do ciclo  $T_c$** .
  - P.ex.  $\Rightarrow$  suponha o **tempo do ciclo = 0,80min**. A medida de ineficiência correspondente seria:

$$d = \frac{5(0,80) - 4,0}{5(0,80)} = 0$$

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Esta solução, se fosse possível, resultaria num **balanceamento perfeito**.
- Apesar de que 5 estações são necessárias, a taxa de produção teórica seria  $R_c = 1,25$  unidades/minuto, num aumento na capacidade da taxa de produção em comparação com a linha com 4 estações.
- Percebe-se que existem muitas combinações que resultam num **balanceamento teoricamente perfeito**  $\Rightarrow$  cada combinação resulta numa taxa de produção diferente.
- Como já mostrado acima  $\Rightarrow$  em geral o atraso de balanceamento será **zero** para quaisquer valores  $n$  e  $T_c$  que satisfazem a relação

$$nT_c = T_{wc} \quad (21)$$

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Terminologia

- Infelizmente  $\Rightarrow$  devido às restrições de precedência e aos valores particulares de  $T_{ej}$ , um balanceamento perfeito pode não ser atingido para cada combinação  $nT_c$  que iguala o tempo total do conteúdo de trabalho.
- A equação acima é uma condição necessária para um balanceamento perfeito, mas não suficiente.
- Como indicado na equação (17)  $\Rightarrow$  o valor máximo desejado de  $T_c$  é especificado pela **taxa de produção da linha**  $\Rightarrow$  portanto, a equação (21) pode ser reescrita para determinar o **número mínimo teórico de estações necessárias** para otimizar o atraso de balanceamento para um dado  $T_c$ . Como  $n$  é um número inteiro, pode-se escrever:

$$n \geq \text{menor inteiro } \frac{T_{wc}}{T_c} \quad (7)$$

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Métodos de Balanceamento de Linha**

- Métodos heurísticos  $\Rightarrow$  baseiam-se na **lógica e bom senso** em vez de numa prova matemática.
- Nenhum desses métodos garante uma solução ótima, mas eles provavelmente levarão a boas soluções que aproximam-se do verdadeiro ótimo.

- ***Método do Maior Candidato***

- Elementos de trabalho são selecionados e atribuídos às estações baseado nos valores de  $T_e$ .
- Primeiramente, os elementos de trabalho são rearranjados de acordo com os seus valores de  $T_e$ .
- Depois atribui-se os elementos de trabalho às estações, levando em consideração as restrições de precedência.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Maior Candidato*

| <i>Elemento de trabalho</i> | <i>T<sub>e</sub> (min)</i> | <i>Predecessores</i> |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------|
| 3                           | 0,7                        | 1                    |
| 8                           | 0,6                        | 3,4                  |
| 11                          | 0,5                        | 9,10                 |
| 2                           | 0,4                        | -                    |
| 10                          | 0,38                       | 5,8                  |
| 7                           | 0,32                       | 3                    |
| 5                           | 0,3                        | 2                    |
| 9                           | 0,27                       | 6,7,8                |
| 1                           | 0,2                        | -                    |
| 12                          | 0,12                       | 11                   |
| 6                           | 0,11                       | 3                    |
| 4                           | 0,1                        | 1,2                  |

*Elementos de trabalho rearranjados de acordo com os valores de T<sub>e</sub>  
(método do maior candidato)*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

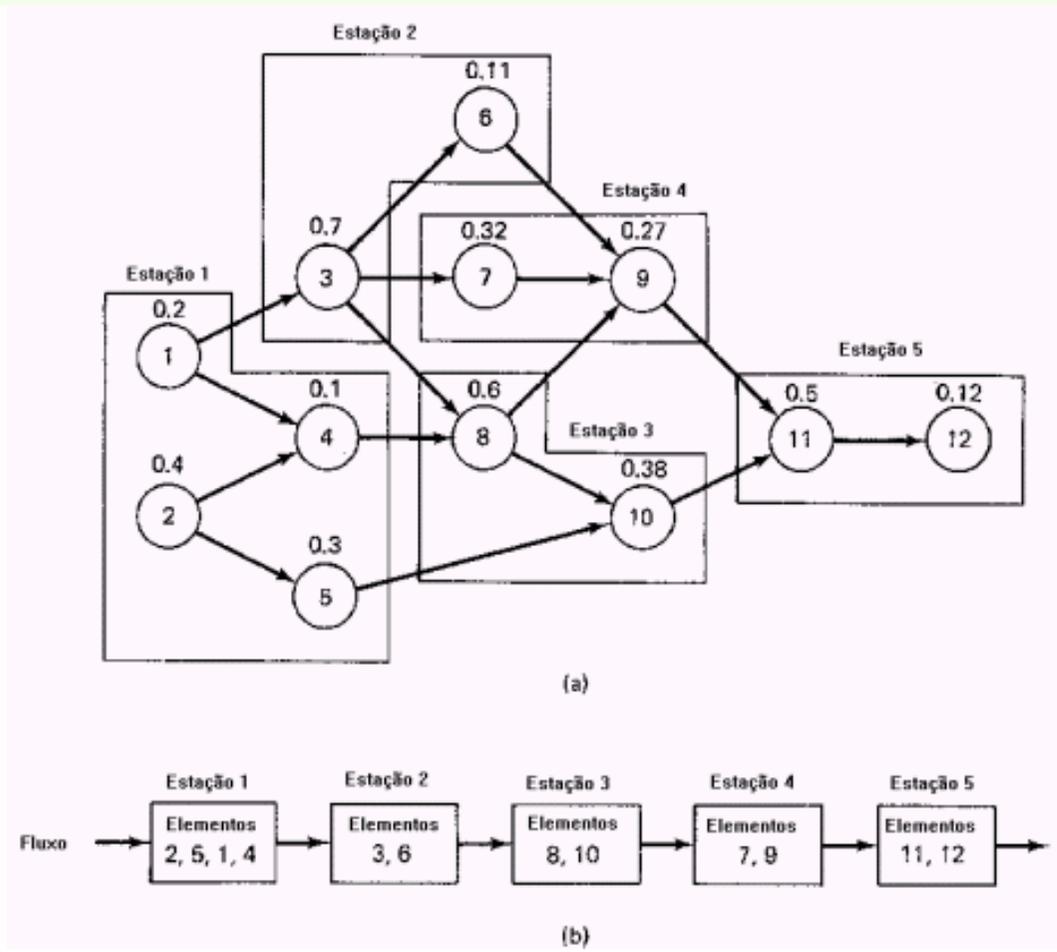
- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Maior Candidato*

| Estação | Elemento | $T_e$ (min) | $\Sigma T_e$ na estação |
|---------|----------|-------------|-------------------------|
| 1       | 2        | 0,4         | 1,00                    |
|         | 5        | 0,3         |                         |
|         | 1        | 0,2         |                         |
|         | 4        | 0,1         |                         |
| 2       | 3        | 0,7         | 0,81                    |
|         | 6        | 0,11        |                         |
| 3       | 8        | 0,6         | 0,98                    |
|         | 10       | 0,38        |                         |
| 4       | 7        | 0,32        | 0,59                    |
|         | 9        | 0,27        |                         |
| 5       | 11       | 0,5         | 0,62                    |
|         | 12       | 0,11        |                         |

*Elementos de trabalho atribuídos às estações de acordo com o método do maior candidato*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Maior Candidato*



*Solução para o problema anterior, de acordo com o método do maior candidato*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Maior Candidato*

$$d = \frac{5(1,0) - 4,0}{5(1,0)} = 0,20 \text{ ou } 20\%$$

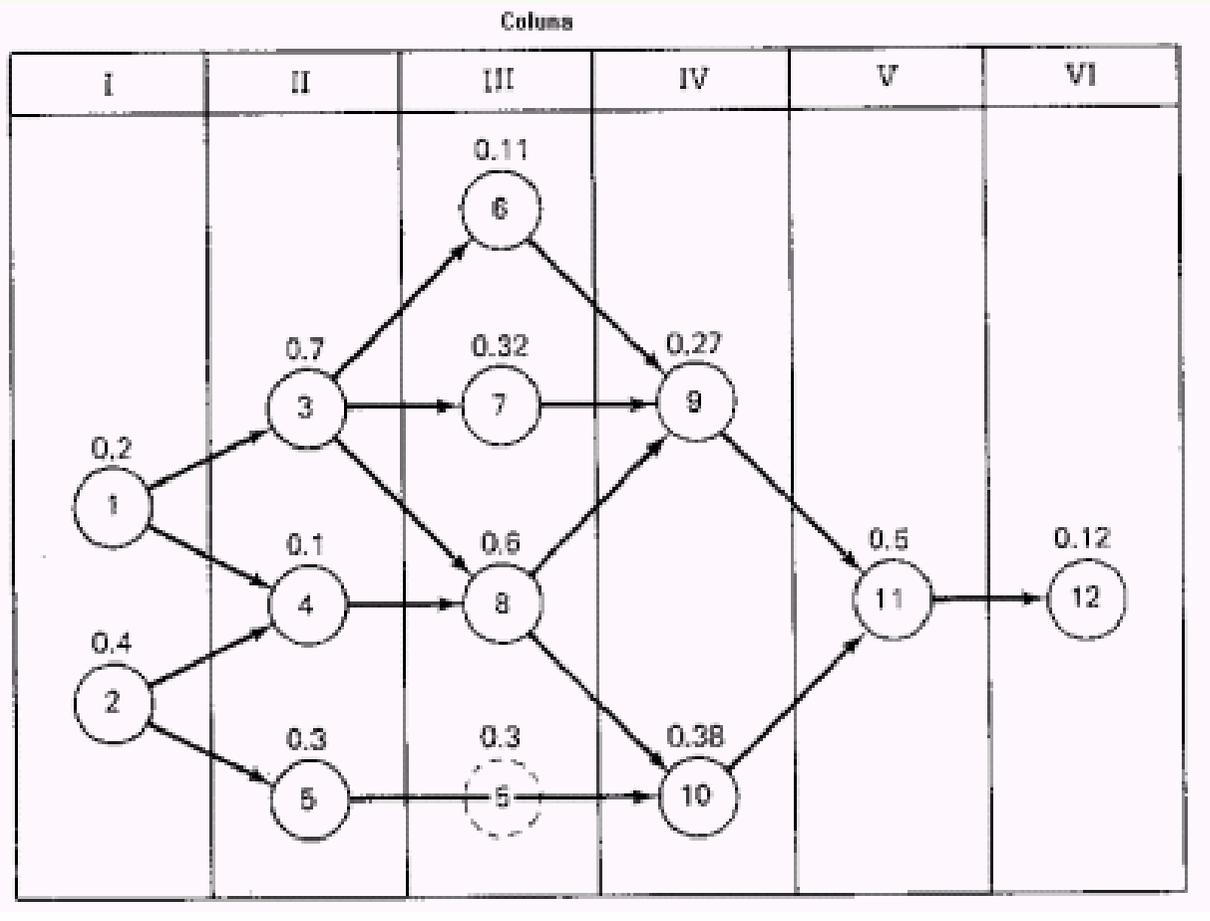
*Atraso de balanceamento*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- **Métodos de Balanceamento de Linha**
  - *Método de Kilbridge e Wester (Método das Colunas)*
    - Técnica aplicada a várias situações complicadas de balanceamento, com algum sucesso.
    - Seleciona-se os elementos de trabalho para atribuição às estações de acordo com a sua posição no diagrama de precedência.
    - Os elementos na frente do diagrama são selecionados primeiro para a solução.
    - Isto supera algumas dificuldades com o método do maior candidato, com as quais os elementos no fim do diagrama de precedência podem ser os primeiros candidatos a serem considerados, simplesmente porque seus valores  $T_e$  são elevados.
    - Ver exemplo a seguir.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método de Kilbridge e Wester*



*Diagrama de precedência para os dados da tabela do problema anterior*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método de Kilbridge e Wester*

| <i>Elemento de trabalho</i> | <i>Coluna</i> | <i>T<sub>e</sub> (min)</i> | <i>Soma da coluna T<sub>e</sub> s</i> |
|-----------------------------|---------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 1                           | I             | 0,2                        |                                       |
| 2                           | I             | 0,4                        | 0,6                                   |
| 3                           | II            | 0,7                        |                                       |
| 4                           | II            | 0,1                        |                                       |
| 5                           | II,III        | 0,3                        | 1,1                                   |
| 6                           | III           | 0,11                       |                                       |
| 7                           | III           | 0,32                       |                                       |
| 8                           | III           | 0,6                        | 1,03                                  |
| 9                           | IV            | 0,27                       |                                       |
| 10                          | IV            | 0,38                       | 0,65                                  |
| 11                          | V             | 0,5                        | 0,5                                   |
| 12                          | VI            | 0,12                       | 0,12                                  |

*Elementos de trabalho arranjados de acordo com as colunas na figura anterior - Método de Kilbridge e Wester*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método de Kilbridge e Wester*

| <i>Estação</i> | <i>Elemento</i> | <i>T<sub>e</sub> (min)</i> | <i>ΣT<sub>e</sub> na estação</i> |
|----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1              | 1               | 0,2                        | 1,00                             |
|                | 2               | 0,4                        |                                  |
|                | 4               | 0,1                        |                                  |
|                | 5               | 0,3                        |                                  |
| 2              | 3               | 0,7                        | 0,81                             |
|                | 6               | 0,11                       |                                  |
| 3              | 7               | 0,32                       | 0,92                             |
|                | 8               | 0,6                        |                                  |
| 4              | 9               | 0,27                       | 0,65                             |
|                | 10              | 0,38                       |                                  |
| 5              | 11              | 0,5                        | 0,62                             |
|                | 12              | 0,12                       |                                  |

*Elementos de trabalho atribuídos às estações de acordo com o método de Kilbridge e Wester*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Pesos Posicionais (RPW)*
    - O valor de **peso posicional (RPW)** é calculado para cada elemento.
    - O **RPW** leva em consideração tanto o valor de  $T_e$  de cada elemento, como a sua posição no diagrama de precedência.
    - Então  $\Rightarrow$  os elementos são atribuídos às estações na ordem decrescente dos valores de RPW (ver tabelas seguintes).

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Pesos Posicionais (RPW)*

| Elemento | RPW  | $T_e$ (min) | Predecessores |
|----------|------|-------------|---------------|
| 1        | 3,30 | 0,2         | -             |
| 3        | 3,00 | 0,7         | 1             |
| 2        | 2,67 | 0,4         | -             |
| 4        | 1,97 | 0,1         | 1,2           |
| 8        | 1,87 | 0,6         | 3,4           |
| 5        | 1,30 | 0,3         | 2             |
| 7        | 1,21 | 0,32        | 3             |
| 6        | 1,00 | 0,11        | 3             |
| 10       | 1,00 | 0,38        | 5,8           |
| 9        | 0,89 | 0,27        | 6,7,8         |
| 11       | 0,62 | 0,5         | 9,10          |
| 12       | 0,12 | 0,12        | 11            |

*Elementos de trabalho arranjados de acordo com os valores de RPW no método dos pesos posicionais (RPW)*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método dos Pesos Posicionais (RPW)*

| Estação | Elemento | $T_e$ (min) | $\Sigma T_e$ na estação |
|---------|----------|-------------|-------------------------|
| 1       | 1        | 0,2         | 0,9                     |
|         | 3        | 0,7         |                         |
| 2       | 2        | 0,4         | 0,91                    |
|         | 4        | 0,1         |                         |
|         | 5        | 0,3         |                         |
|         | 6        | 0,11        |                         |
| 3       | 8        | 0,6         | 0,92                    |
|         | 7        | 0,32        |                         |
| 4       | 10       | 0,38        | 0,65                    |
|         | 9        | 0,27        |                         |
| 5       | 11       | 0,5         | 0,62                    |
|         | 12       | 0,12        |                         |

*Elementos de trabalho atribuídos às estações de acordo com o método dos pesos posicionais (RPW)*

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Método do Pesos Posicionais (RPW)*

$$d = \frac{5(0,92) - 4,0}{5(0,92)} = 0,13 = 13\%$$

*Atraso de balanceamento “d”*

- A solução resultante do método RPW representa uma atribuição mais eficiente dos elementos de trabalho às estações, comparado com os outros dois métodos.
- Entretanto  $\Rightarrow$  deve-se notar que foi aceito um tempo do ciclo diferente daquele originalmente especificado para o problema considerasse  $T_c = 0,92$  minutos, aplicando-se os dois primeiros métodos, poderia ser atingida a mesma eficiência do método RPW.

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha

- Método COMSOAL → “*Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines*” – *Chrysler Corporation*

- Passo 1: Construir lista A:



| <i>Elemento</i> | <i>Número de predecessores imediatos</i> |
|-----------------|--|
| 1               | 0  |
| 2               | 0  |
| 3               | 1  |
| 4               | 2  |
| 5               | 1  |
| 6               | 1  |
| 7               | 1  |
| 8               | 2  |
| 9               | 3  |
| 10              | 2  |
| 11              | 2  |
| 12              | 1  |

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - Método COMSOAL

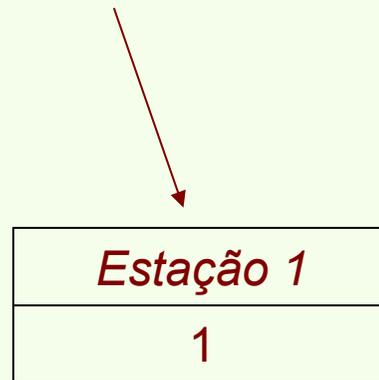
– Passo 2: Construir lista B:



|  |
|--|
| <i>Elementos sem<br/>predecessores<br/>imediatos</i> |
| 1  |
| 2  |

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - Método COMSOAL
    - Passo 3: Selecionar aleatoriamente um dos elementos da lista B (por exemplo, elemento “1”), e movê-lo para a estação (cuidando para que o somatório do tempo na estação não seja superior ao tempo de ciclo)



# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - Método COMSOAL

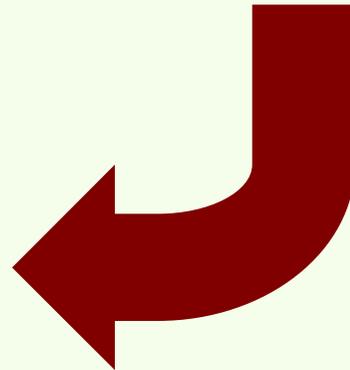
- Passo 4: Eliminar o elemento selecionado no passo 3 das listas A e B, e atualizar as duas listas, se necessário.

| <i>Elementos sem predecessores imediatos</i> |
|--|
| 2  |
| 3  |

| <i>Elemento</i> | <i>Número de predecessores imediatos</i> |
|-----------------|--|
| 2               | 0  |
| 3               | 0  |
| 4               | 1  |
| 5               | 1  |
| 6               | 1  |
| 7               | 1  |
| 8               | 2  |
| 9               | 3  |
| 10              | 2  |
| 11              | 2  |
| 12              | 1  |

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - Método COMSOAL
    - Passo 5: Vá para o passo 3.



# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - Método COMSOAL

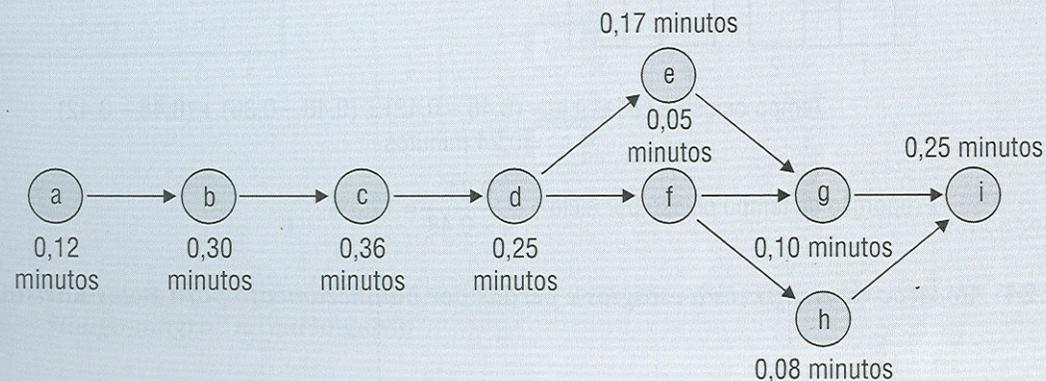
| <i>Estação</i> | <i>Elemento</i> | <i>Te (minutos)</i> | <i>Ts (minutos)</i> |
|----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 1              | 1               | 0,2                 | 1,0                 |
|                | 2               | 0,4                 |                     |
|                | 5               | 0,3                 |                     |
|                | 4               | 0,1                 |                     |
| 2              | 3               | 0,7                 | 0,81                |
|                | 6               | 0,11                |                     |
| 3              | 8               | 0,6                 | 0,98                |
|                | 10              | 0,38                |                     |
| 4              | 7               | 0,32                | 0,59                |
|                | 9               | 0,27                |                     |
| 5              | 11              | 0,5                 | 0,62                |
|                | 12              | 0,12                |                     |

# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Outro exemplo*

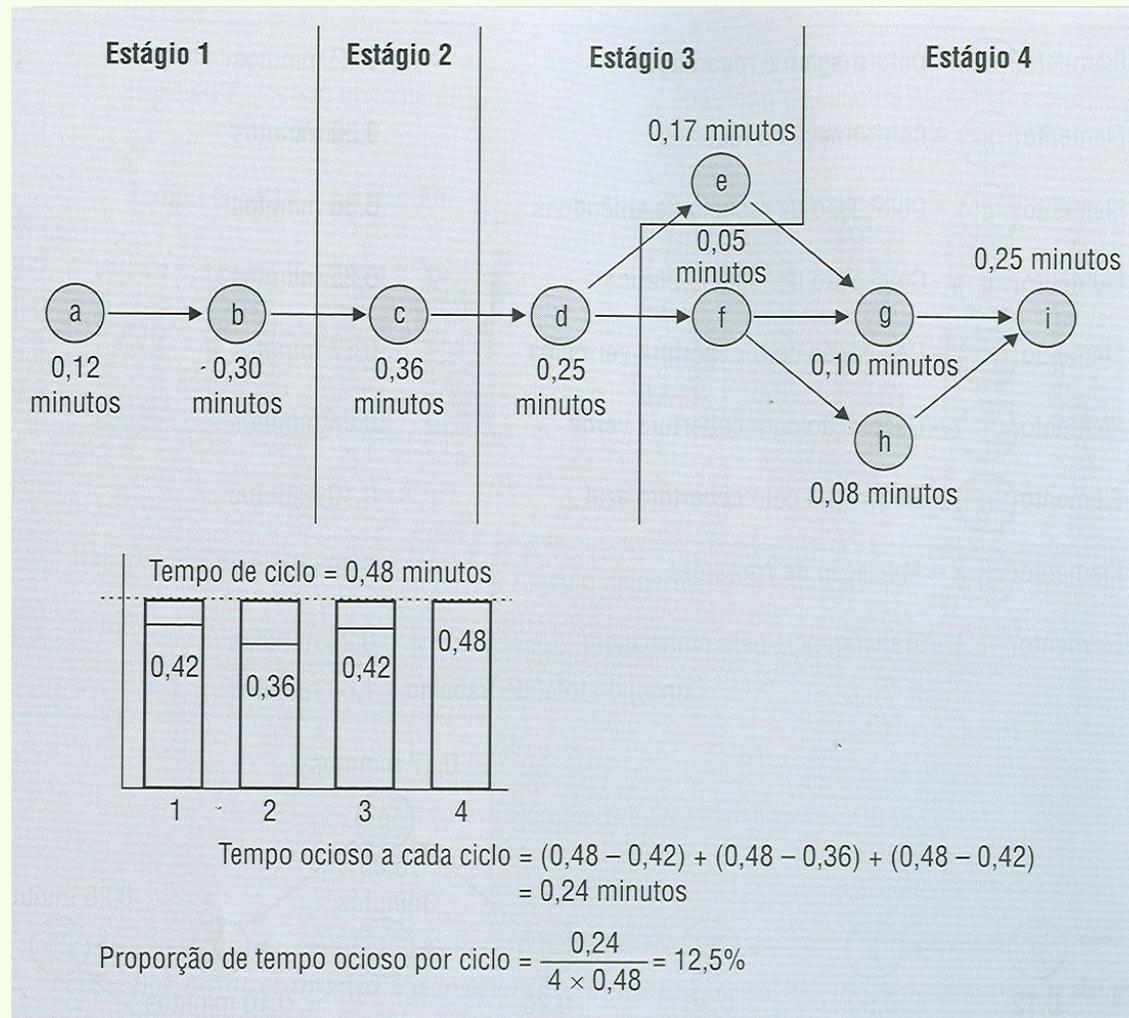
|              |                                    |                     |
|--------------|------------------------------------|---------------------|
| Elemento (a) | – Deformagem e rebarbação          | 0,12 minutos        |
| Elemento (b) | – Conformação e recortes           | 0,30 minutos        |
| Elemento (c) | – Colocação de recheio de amêndoas | 0,36 minutos        |
| Elemento (d) | – Colocação de recheio branco      | 0,25 minutos        |
| Elemento (e) | – Decoração com cobertura vermelha | 0,17 minutos        |
| Elemento (f) | – Decoração com cobertura verde    | 0,05 minutos        |
| Elemento (g) | – Decoração com cobertura azul     | 0,10 minutos        |
| Elemento (h) | – Aplicação de <i>transfers</i>    | 0,08 minutos        |
| Elemento (i) | – Transferência para embalagem     | <u>0,25 minutos</u> |

Concluído total de trabalho = 1,68 minutos



# BALANCEAMENTO DE LINHA

- Métodos de Balanceamento de Linha
  - *Outro exemplo*



# BALANCEAMENTO DE LINHA

*Applet para determinar o balanceamento de uma linha:*

**[www.grima.ufsc.br/software/Balance/Balance.html](http://www.grima.ufsc.br/software/Balance/Balance.html)**