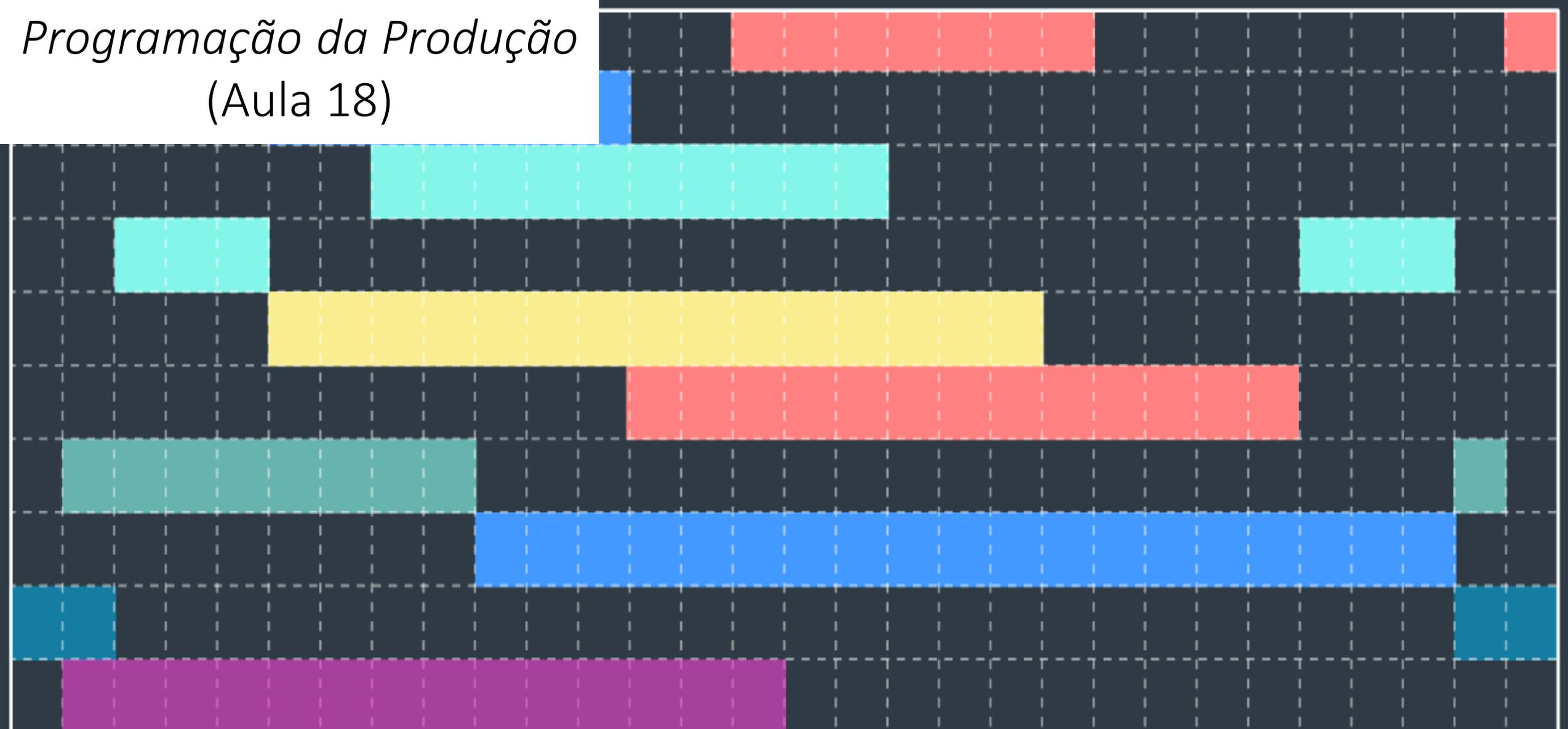


# Programação da Produção (Aula 18)



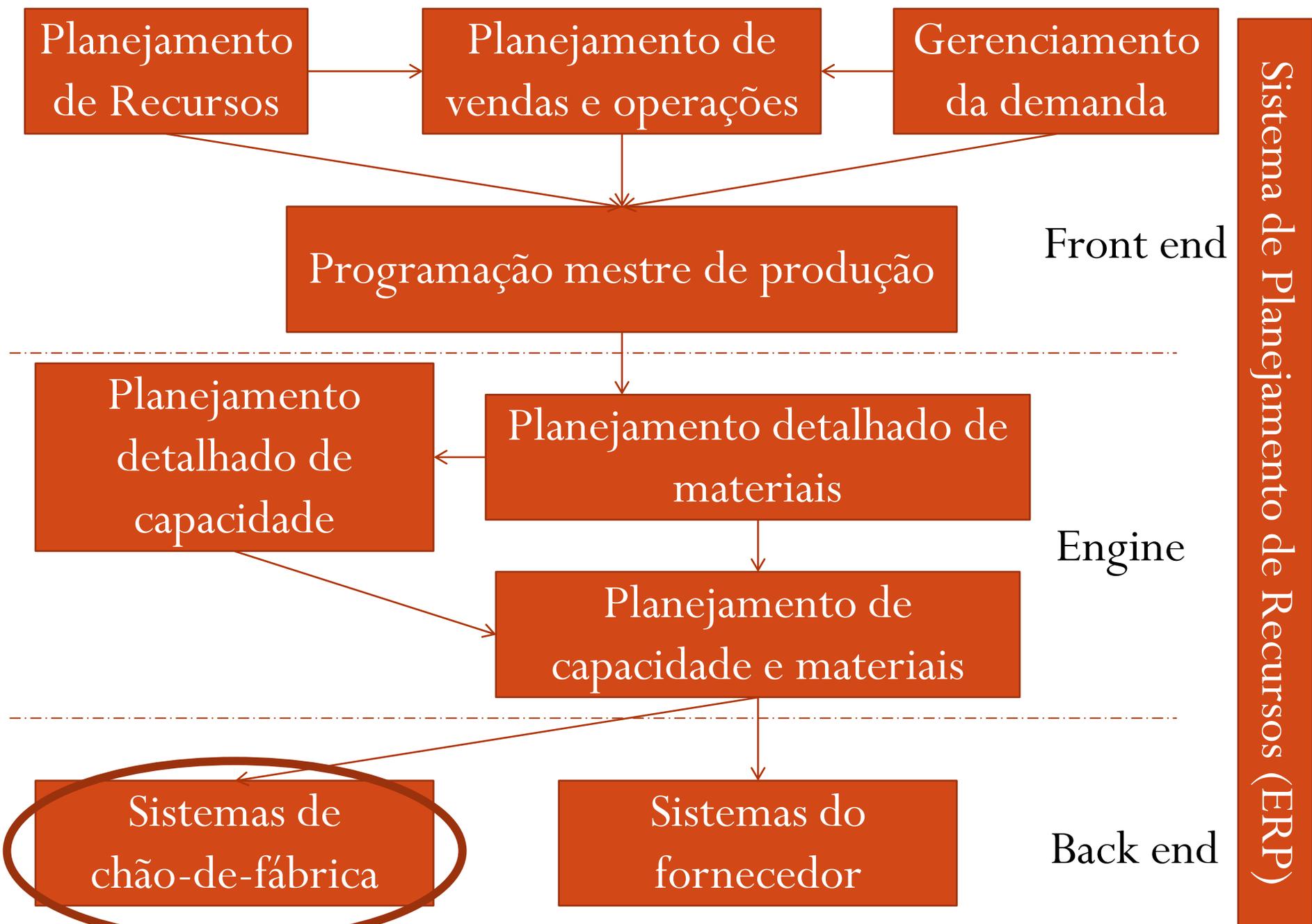
## Programação e Controle da Produção

Prof. Daniel de Oliveira Mota  
Dep. Engenharia de Produção



# Agenda

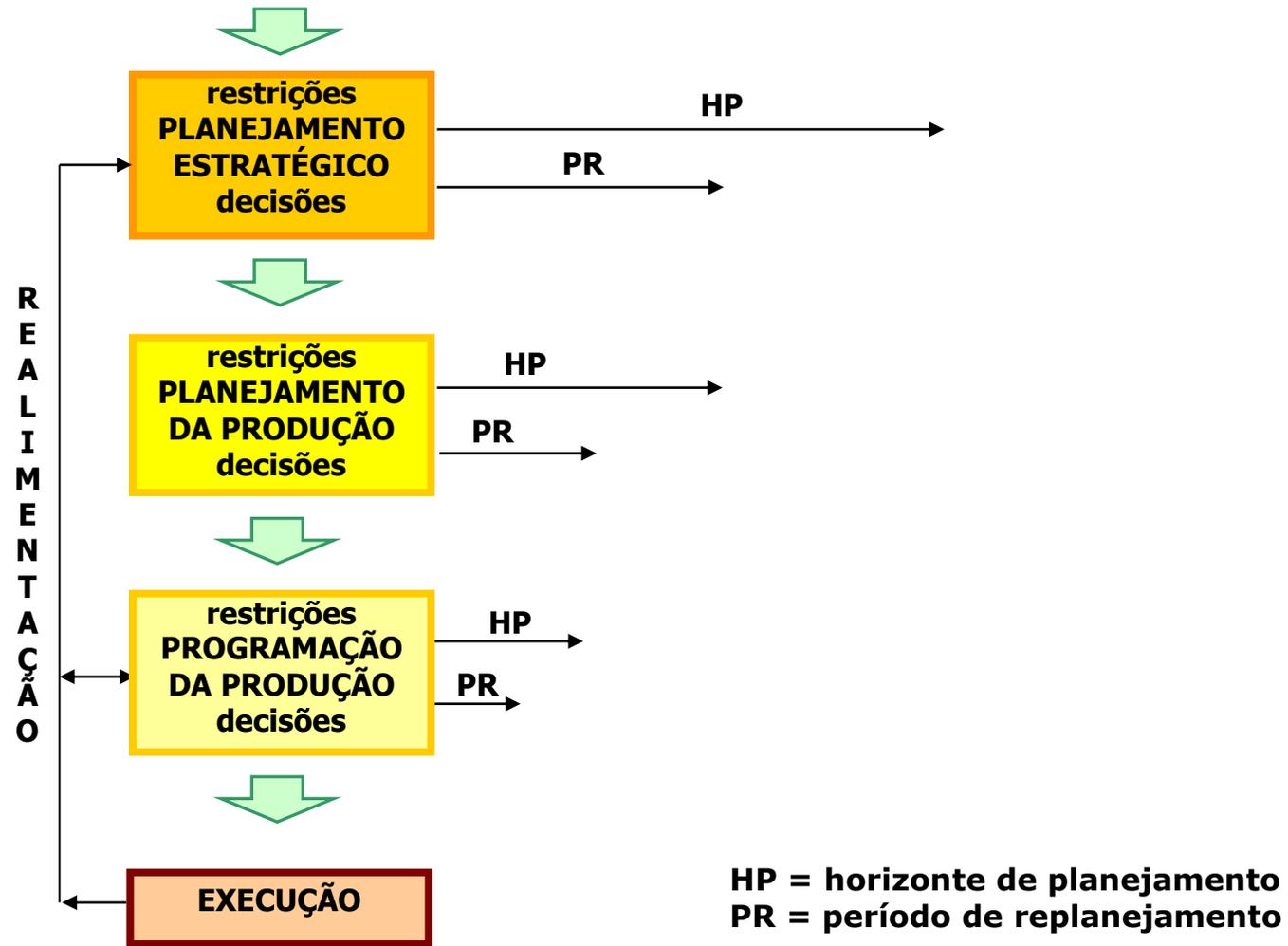
- Programação da Produção





## Introdução

- O problema de programação da produção em produção contínua consiste, em essência, do ajuste de velocidade da linha de produção e é chamado teoricamente de **problema de balanceamento de linha**. A hierarquia de planejamento desenhada a seguir permite posicionar melhor o problema de programação nesse tipo de produção.

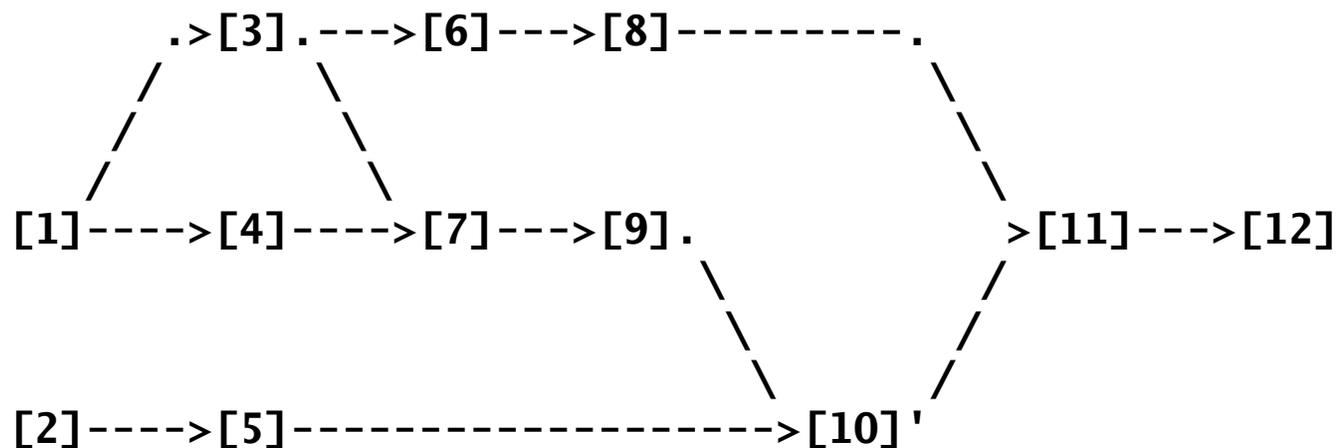


- A produção contínua se dá em Linhas de Fabricação e/ou Montagem que podem ser formadas predominantemente por máquinas ou por homens.
- Numa produção contínua característica, o sistema produtivo se constitui de uma linha de produção que é a disposição física dos recursos produtivos de acordo com o(s) roteiro(s) de produção do(s) produto(s) a ser(em) produzido(s), a qual pode ser visualizada agregadamente como uma macro-máquina que produz produtos continuamente.
- Em maior detalhe, a linha é subdividida em estações de trabalho ordenadas pelas quais cada produto passa durante sua produção, cada uma dessas estações possuindo um ou mais recursos produtivos (humanos e máquinas) e sendo responsável pela execução de uma ou mais operações do roteiro.
- A sequência de processamento nas estações de trabalho é a primeira a chegar é a primeira a ser atendida (FIFO), não havendo nenhum interesse em alterá-la.

- Nas linhas formadas predominantemente por máquinas o balanceamento tem como função importante dimensionar as máquinas e os estoques intermediários necessários, considerando os problemas de quebras e manutenções, de forma a maximizar as saídas de produtos no tempo. Os modelos de balanceamento normalmente utilizam modelos probabilísticos de filas e de simulação para obter a configuração ideal da linha. É preciso considerar parâmetros de manutenção como distribuições de tempos entre falhas e tempos de reparo e capacidade dos estoques entre as máquina ou estações.
- Nas linhas formadas predominantemente por homens, a disponibilidade de máquinas e equipamentos é normalmente alta e quebras e outros fatores probabilísticos normalmente são desconsiderados no balanceamento. O problema que surge é o de atribuição de operações aos homens ou estações de trabalho de forma a se minimizar a ociosidade de recursos principalmente.
- Esse é o problema conhecido na literatura como de balanceamento de linhas.

# Caracterização do Problema de Balanceamento

- Para o problema de balanceamento o roteiro de produção de um produto deve ser representado simbolicamente por uma **rede de precedências**. Nela, as setas indicam as precedências obrigatórias de execução da operação que se situa na origem com relação à colocada na ponta da seta. Uma rede de precedências pode ser colocada sob **forma matricial** ou sob **forma de tabela**, representações normalmente utilizadas para facilitar informatização dos algoritmos na modelagem. A seguir exemplificamos as tres representações citadas.

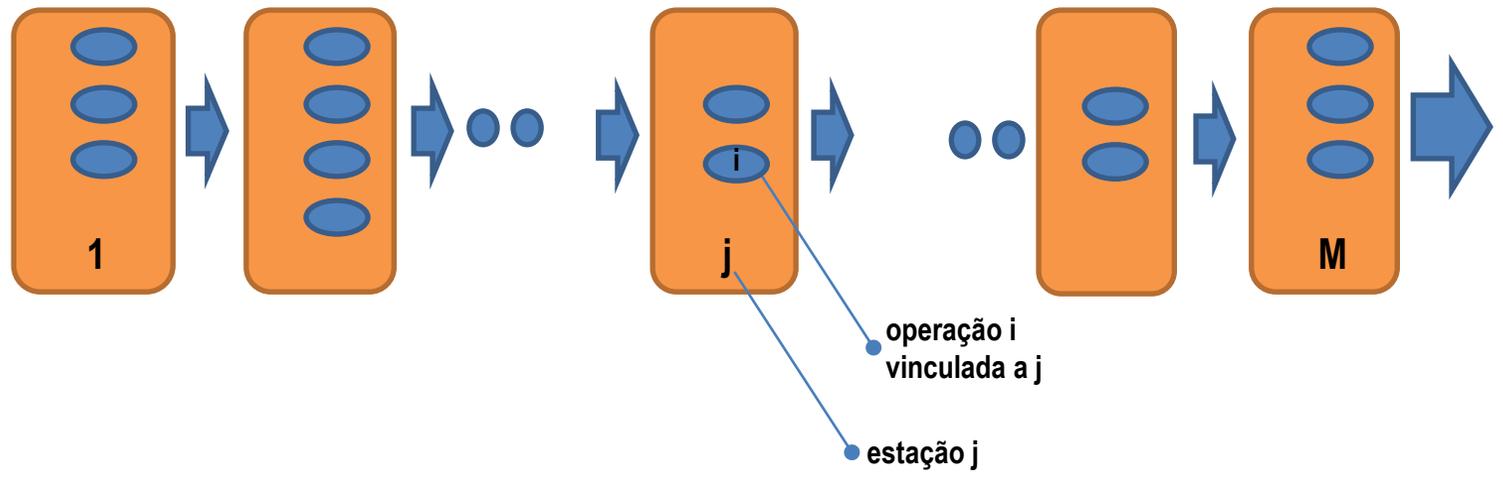


- À cada operação  $i$  está associado um tempo de execução  $t_i$  e um ou mais recursos para sua execução.
- O problema básico de balanceamento de linhas é o de atribuir as operações do roteiro à um conjunto ordenado de estações de trabalho de tal forma que as relações de precedência sejam satisfeitas e alguma medida de eficácia seja otimizada.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Opers	Sucessoras
1	3;4
2	5
3	6;7
4	7
5	10
6	8
7	9
8	11
9	10
10	11
11	12
12	

Matriz de Precedências e Tabela de Precedências



## Nomenclatura Adicional

**Comprimento de uma linha** é o número (**M**) de estações de trabalho e indica o número de itens em paralelo sendo processados num instante.

**Tempo do ciclo (tc)** é o intervalo entre saídas de dois itens consecutivos ou o inverso da frequência de saída de itens da linha.

**Folga da estação j (fj)** é a diferença entre a disponibilidade de trabalho da estação em cada ciclo e o conteúdo de trabalho necessário para produzir totalmente um produto nela.

**Folga do balanceamento (fj)** é a soma das folgas de todas as estações de trabalho.

**Tempo de fluxo (tf)** é o tempo que o item permanece na linha sendo atendido nas estações.

As equações a seguir ilustram o relacionamento entre esses elementos:

$$f_j = tc - \text{SOMA}_{i \in j}(t_i) \text{ (folga da estação } j \text{)}$$

$$f = M \cdot tc - \text{SOMA}(t_i) \text{ (folga do balanceamento)}$$

$$tf = M \cdot tc \text{ (tempo de fluxo se estações com um só recurso)}$$

## PROBLEMAS DE BALANCEAMENTO

Existem tres problemas de otimização tratados na teoria de balanceamento de linhas e que são relacionados entre si:

- 1 Dado o tempo do ciclo, deve-se encontrar o balanceamento que **minimiza o número de estações** de trabalho sem ultrapassar o tempo de ciclo dado.
- 2.Dado o número de estações, deve-se encontrar o balanceamento que **minimiza o tempo do ciclo** sem ultrapassar o número de estações dado.
- 3.Caso não sejam impostos nem o tempo do ciclo, nem o número de estações, deve-se determinar o par desses valores que **minimiza a folga** de balanceamento.

Como nos dois primeiros problemas a solução ótima também minimiza a folga de balanceamento, podemos afirmar que neles o objetivo considerado é a minimização da folga de balanceamento. No último problema a folga também é um critério para a definição do tempo do ciclo e do número de estações de trabalho.

Embora relacionados, a dificuldade de solução desses problemas não é a mesma, podendo-se dizer que aumenta bastante de acordo com a ordem em que foram citados. Provavelmente por isso, a maioria dos modelos propostos para resolver esses problemas tratam do primeiro deles, e propõem resolver os outros dois através de procedimento iterativo, cada iteração resolvendo efetivamente somente o primeiro.

# Objetivos e Restrições do Balanceamento

- Citamos anteriormente que o objetivo primordial dos modelos de balanceamento é o de minimizar a folga de balanceamento, que numa linha humana correspondente à ociosidade em homens.minuto por tempo de ciclo ou por cada produto produzido na linha. No caso de existirem soluções de balanceamento alternativas de igual folga, como objetivo secundário prefere-se adotar a que melhor distribua essa folga total entre as estações de trabalho.
- É interessante observar que o objetivo de minimizar folga é equivalente ao de maximizar a utilização dos recursos, e que os objetivos referentes a atendimento de datas e minimização de estoques ou redução de "lead times" não aparecem nos modelos de balanceamento. Esse último fato se justifica se lembrarmos que, numa hierarquia de planejamento adequada a esse tipo de produção, o atendimento de datas e a minimização de estoques acabados já foram considerados em nível de planejamento e na desagregação do plano, e que o balanceamento deverá gerar uma solução executável sem estoques intermediários desnecessários e, portanto com "lead time" produtivo aliviado de esperas.

As **restrições** normais nos balanceamentos são:

1 As estações de trabalho são fixas.

2 Aceita-se a aditividade dos tempos no grupamento das operações para formação das estações de trabalho.

3 Não existe retrocesso do produto para estações já percorridas, ou seja numa estação só podem coexistir operações sucessivas ou paralelas na rede de precedência do produto.

4 Não existem deslocamentos de operários ou recursos produtivos.

Caso não existam outras restrições os problemas são chamados de **problemas simples**, caso outras restrições sejam adicionadas são chamados de **problemas gerais**. As principais restrições de problemas gerais serão consideradas no final desse texto.

A relação entre o tempo do ciclo e a distribuição dos tempos das operações deve influir na folga de balanceamento, embora não tenhamos conhecimento de publicações que tenham analisado essa influência. Mesmo sendo possível imaginar exceções uma vez que o problema é combinatório, acreditamos que como tendência e no caso de pequena dispersão dos tempos das operações:

a) Se  $(t_{\text{médio}}/t_c)$  tende a zero então  $M$  tende a  $M_{\text{min}}$  e  $f$  tende a  $f_{\text{min}}$

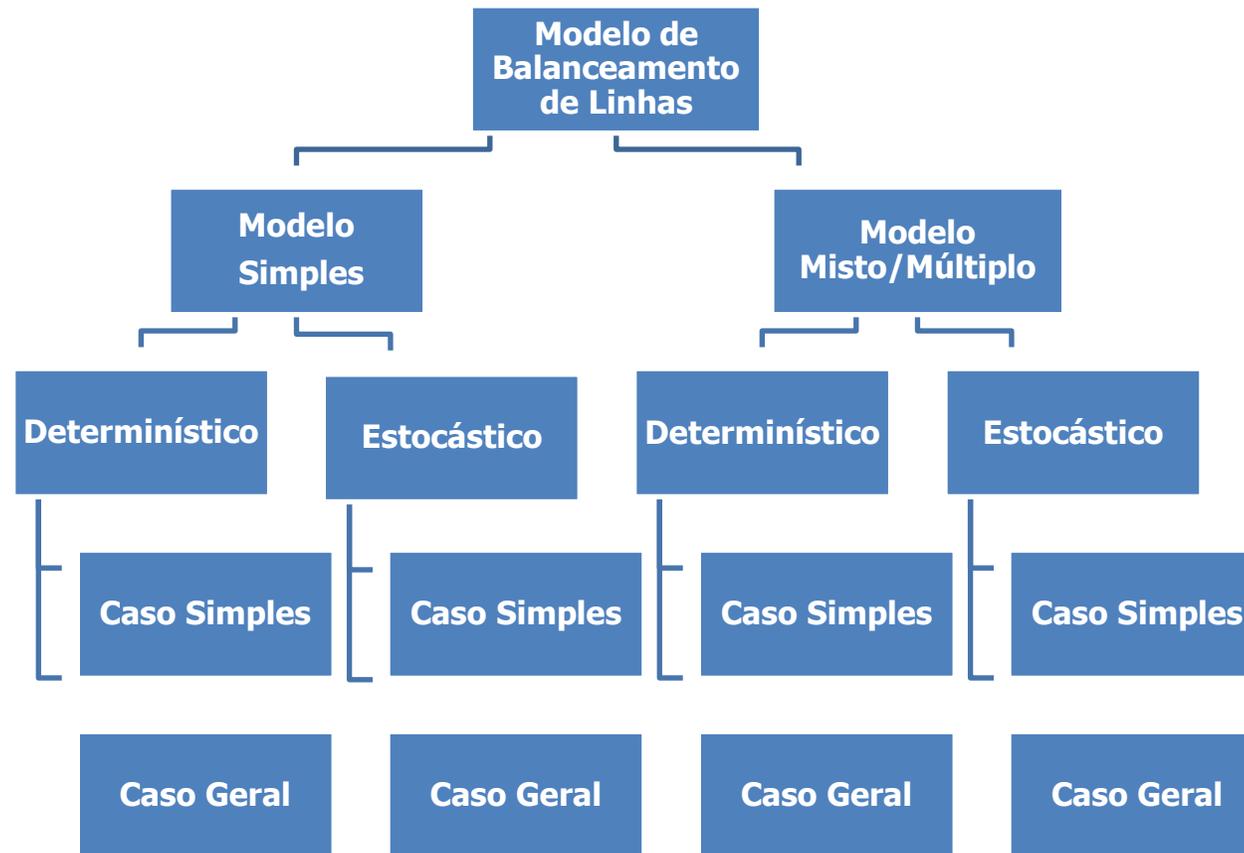
b) Se  $(t_{\text{médio}}/t_c)$  tende a 1 então  $M$  tende a  $M_{\text{max}}$  e  $f$  tende a  $f_{\text{max}}$

c) Se  $t_c$  diminui muito (a velocidade da linha cresce muito) a folga tende a crescer, podendo se tornar interessante a duplicação da linha com  $t_c$  duplicado para cada linha.

d) Se  $t_c$  varia muito no tempo e a linha é rebalanceada, e conseqüentemente alterada, a cada variação, deverão surgir dificuldades de operação pelo problema do treinamento. Por isso prefere-se, na prática, utilizar-se de poucos balanceamentos para cada produto variando-se o tempo de atividade da linha em cada balanceamento.

# Classificação dos Problemas de Balanceamento

- A Figura a seguir mostra uma classificação para o problema de balanceamento de linhas apresentada por Ghosh e Gagnon (1989). Para os autores o problema pode ser classificado em quatro categorias:
  - Modelo Simples Determinístico
  - Modelo Simples Estocástico
  - Modelo Múltiplo/Misto Determinístico
  - Modelo Múltiplo/Misto Estocástico.
- O Modelo Simples Determinístico considera o modelo de balanceamento de linhas com um único produto e tempos de duração das tarefas conhecidos deterministicamente. O problema Estocástico considera os tempos das tarefas variáveis probabilísticas e o Modelo Múltiplo/Misto trata de linhas de produção com múltiplos produtos. Todos estes modelos podem ainda ser classificados como Caso Simples e Caso Geral, que diferem conforme a complexidade das restrições consideradas.



**Classificação do Problema de Balanceamento de Linhas (Ghosh e Gagnon, 1989).**

Para cada classe de problemas existem modelos otimizantes e heurísticos, os últimos possuindo regras de formação de estações determinísticas ou estocásticas (probabilísticas).

# APLICAÇÃO DO BALANCEAMENTO DE LINHA

- Supondo uma empresa de fabricação de bolas de gude, que produza 320 bolinhas por dia;
- Cada dia possui 8 horas produtivas de trabalho;

Uma determinada bolinha depende de 4 processos para que esteja pronta e cada tarefa demanda um tempo mínimo:

- LISTA DE PROCESSOS e TEMPO DE EXECUÇÃO

- A) Corte do material (1,0 min);



- B) Raspagem do material (0,7 min);



- C) Estufa de molde (0,5 min);



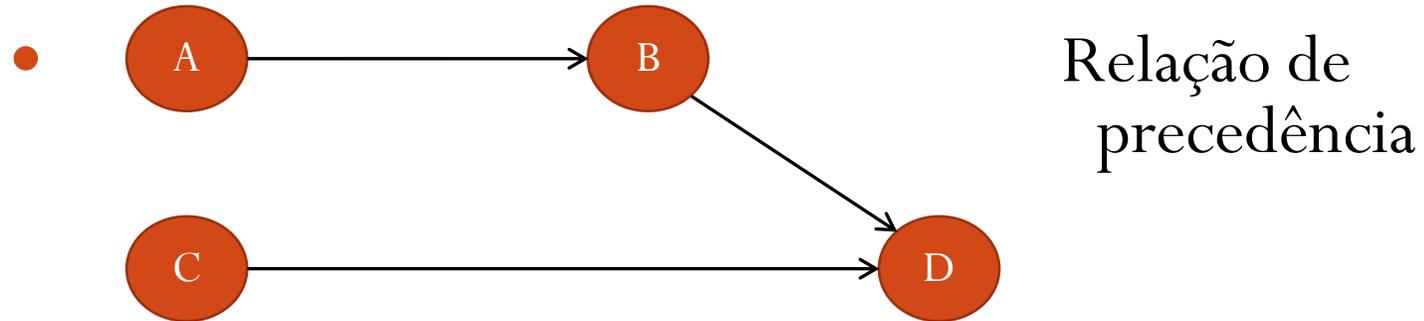
- D) Polimento (0,2 min).



# Diagrama de Precedência

- É a representação do ordenamento dos elementos que compõem o conteúdo do trabalho total do produto (Slack, 1997);
- Cada etapa é independente ou dependente de uma ou mais etapas anteriores;
- As etapas dependentes são conectadas por setas; (nunca devem ser no sentido vertical)

# Diagrama de precedências



Tarefa	Tempo (min)	Depende
A	1,0	-
B	0,7	A
C	0,5	-
D	0,2	C,D
	2,4	

# Tempo de Ciclo

- Calculando o Tempo de Ciclo ou TC;
- Tempo de ciclo é o tempo necessário para a execução de uma peça ou de um processo, ou seja, o tempo transcorrido entre a repetição, do início ao fim da operação

# Tempo de Ciclo

- Tempo de ciclo = 
$$\frac{\text{Tempo total disponível}}{\text{Número de produtos produzidos}}$$

- Tempo de ciclo = 
$$\frac{(8 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos})}{320 \text{ bolinhas}}$$

- Tempo de ciclo = 
$$\frac{480 \text{ minutos}}{320 \text{ bolinhas}} = 1,5 \text{ minuto por bolinha}$$

# Número Mínimo de Estações de Trabalho

- Mínimo número de estações de trabalho, depende do tempo de ciclo envolvido e da quantidade de trabalho necessária para completar um produto, processo ou serviço (Slack, 1997);
- Quanto maior o conteúdo de trabalho e menor o tempo de ciclo = Teremos necessidade de mais Estações de Trabalho

# Número Mínimo de Estações de Trabalho

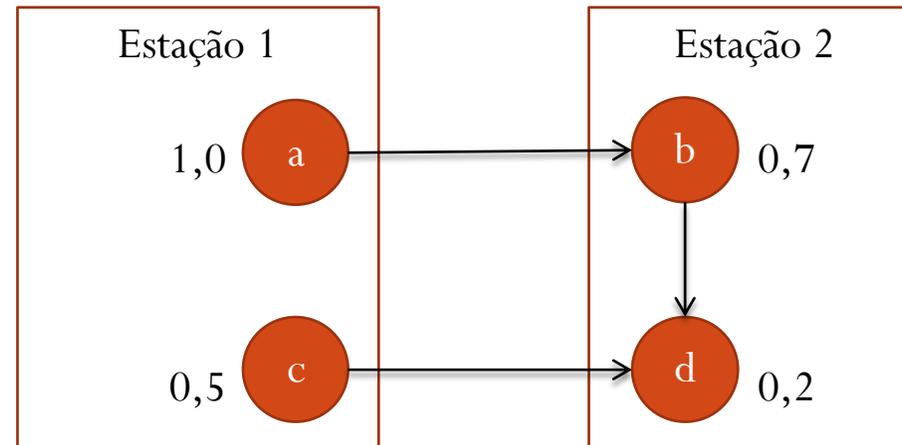
- Número Mín. de Estações de Trabalho =  $\frac{\text{Tempo total do processo}}{\text{Tempo de ciclo}}$
- Número Mín. de Estações de Trabalho =  $\frac{2,4}{1,5} = 1,6$
- **Número Mín. de Estações de Trabalho = 1,6 ≈ 2 estações de trabalho**
- \*O arredondamento sempre será feito para maior, caso contrário não será possível concluir todos processos no tempo de ciclo apresentado.

# Alocação de Tarefas

- Alocação das tarefas nas estações de trabalho:
- Neste caso, duas regras Heurísticas serão aplicadas (Slack, 1997):
  1. Simplesmente escolha a maior tarefa que caiba no tempo remanescente daquela estação;
  2. Escolha a tarefa com maior número de atividades subsequentes, ou seja, aquela tarefa com maior número de tarefas que só poderão ser alocadas depois dela.

# Alternativa 1 de alocação de tarefas a estações de produção

- Alternativa 1



- Tempo de processo na estação

1,5 min

0,9 min

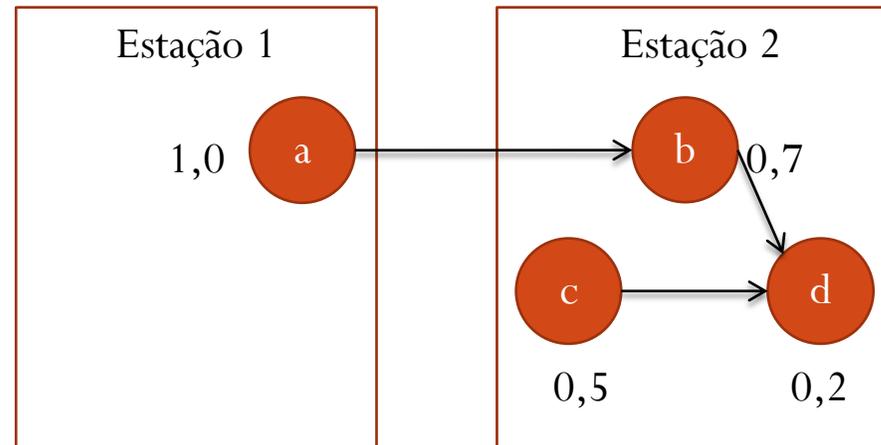
- Tempo ocioso

0,0 min

0,6 min

# Alternativa 2 de alocação de tarefas a estações de produção

- Alternativa 2



- Tempo de processo na estação

1,0 min

1,4 min

- Tempo ocioso

0,5 min

0,1 min

## Melhor Balanceamento de Linha

Alternativa 1: Tempo de ciclo = 1,5 min

Alternativa 2: Tempo de ciclo revisado = 1,4 min

**A alternativa melhor balanceada, é aquela que apresenta menor tempo ocioso:**

# Tempo Ocioso

- % Tempo ocioso = 
$$\frac{\text{Tempo ocioso total por ciclo}}{\text{Número de estações x tempo de ciclo}}$$
- T. O. Alternativa 1 = 
$$\frac{(0 + 0,6)}{2 \times 1,5} = 0,2 = 20\%$$
- T. O. Alternativa 2 = 
$$\frac{(0,5 + 0,1)}{2 \times 1,4} = 0,14 = 14\%$$

## Exercício proposto

- Suponha uma empresa de fabricação de carrinhos de bebê, que trabalha 8 horas por dia, produzindo 400 carrinhos por dia;
- Layout ou arranjo físico por produto;
- Devem ser executadas 5 tarefas ao longo de seu processo de montagem:

<b>Atividade</b>	<b>Tempo (minutos)</b>	<b>Dependência</b>
<b>Montagem da Almofada</b>	1,5	-
<b>Acoplagem da almofada</b>	0,5	A
<b>Montagem das rodinhas</b>	1,0	-
<b>Verificação de Segurança</b>	0,5	C
<b>Calibragem do Carrinho</b>	1,0	B,D

- Calcule:
  - Tempo de Ciclo;
  - Número Mínimo de Estações;
  - Tempo ocioso da operação.