



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
GERÊNCIA DE PRODUÇÃO

Sequenciamento e Emissão de Ordens

2023

Organização da Apresentação

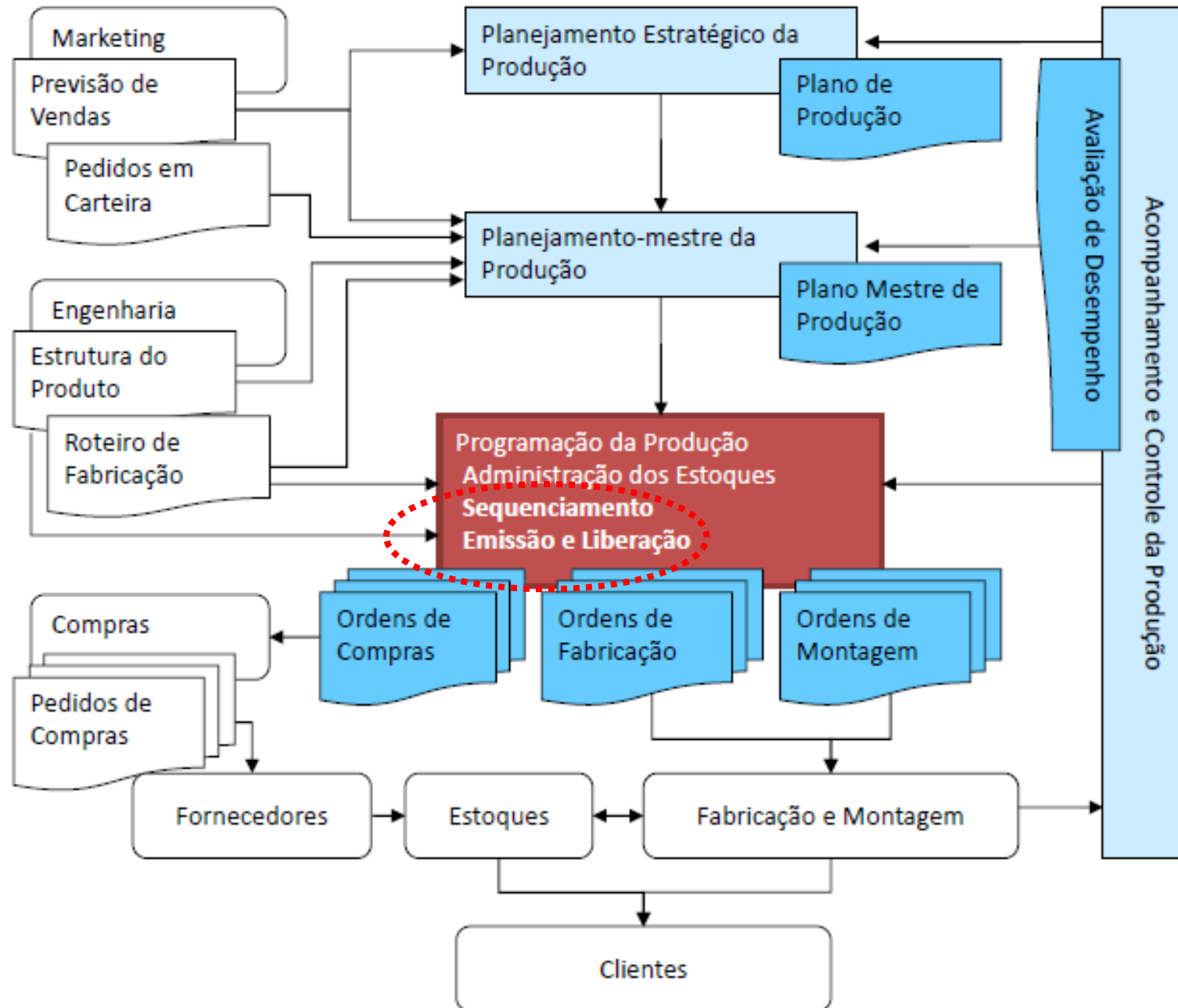
- Introdução
- Sequenciamento nos processos contínuos
- Sequenciamento nos processos repetitivos em massa
- Sequenciamento nos processos repetitivos em lotes
- Sequenciamento nos processos por projeto
- Emissão e liberação de ordens
- Referências

Introdução

Introdução

- Como já discutimos as atividades de curto prazo da programação da produção buscam implementar um programa de produção que atenda ao PMP gerado para os produtos acabados.

Introdução



Introdução

- Escolhida uma sistemática de administração dos estoques, serão geradas, de forma direta ou indireta, as necessidades de compras, fabricação e montagem dos itens para atender o PMP.
- Normalmente, depois de geradas as ordens de compra, estas vão para o setor de compras, saindo da responsabilidade do PCP.

Introdução

- As necessidades de fabricação e montagem, por sua vez, normalmente precisam passar por um sistema produtivo com limitação de capacidade.
- A adequação do programa gerado aos recursos (máquinas, homens, instalações) é função do sequenciamento, que é objeto deste tópico.
- Com a especificação do item, tamanho de lote, data de início e conclusão de atividades, a sequência e o local onde as mesmas serão executadas, a programação da produção realiza a emissão e liberação de ordens.

Introdução

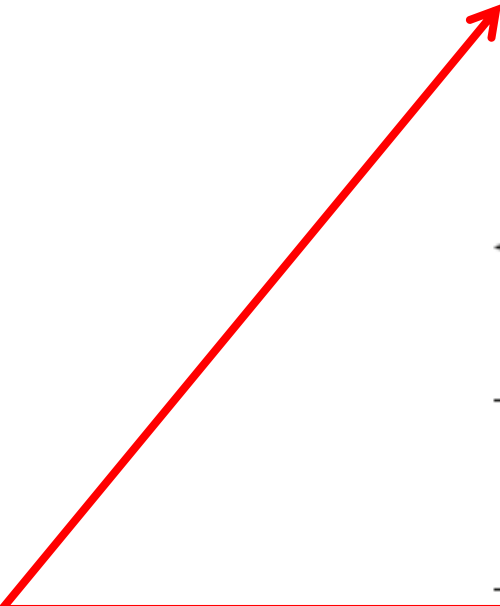
- Vale lembrar que essas atividades de programação da produção são diferentes entre os sistemas de produção puxada e empurrada.
- Neste tópico vamos tratar o sequenciamento e emissão de ordens sob a ótica convencional (empurrada).

Introdução

- Em tese, o sequenciamento e a emissão de ordens deveria ser uma tarefa simples, já que o programa é suportado por planos de longo e médio prazo, onde as necessidades de capacidade de produção foram analisadas e equacionadas em tempo hábil.
- Na prática, há instabilidades de curto prazo:
 - Cancelamentos;
 - Adiamentos ou acréscimos de pedidos dos clientes;
 - Deficiências na qualidade e no ritmo de trabalho.

Introdução

- Essas instabilidades variam de acordo com o sistema produtivo:



	Contínuos Massa	Repetitivos em Lotes	Sob Encomenda
Alta		Demanda/Volume de Produção	Baixa
Baixa		Flexibilidade/Variedade de Itens	Alta
Baixo		<i>Detalhamento da Programação e Sequenciamento</i>	Alto

As opções de produtos e processos são bastante limitadas, restando à programação da produção apenas definir os volumes de cada item.

Introdução

- Essas instabilidades variam de acordo com o sistema produtivo:

Contínuos Massa	Repetitivos em Lotes	Sob Encomenda
Alta	Demanda/Volume de Produção	Baixa
Baixa	Flexibilidade/Variedade de Itens	Alta
Baixo	Detalhamento da Programação e Sequenciamento	Alto

A cada novo pedido toda a sequencia de ordens de produção deve ser refeita, mudando as prioridades e ordens já emitidas.

Sequenciamento nos Processos Contínuos

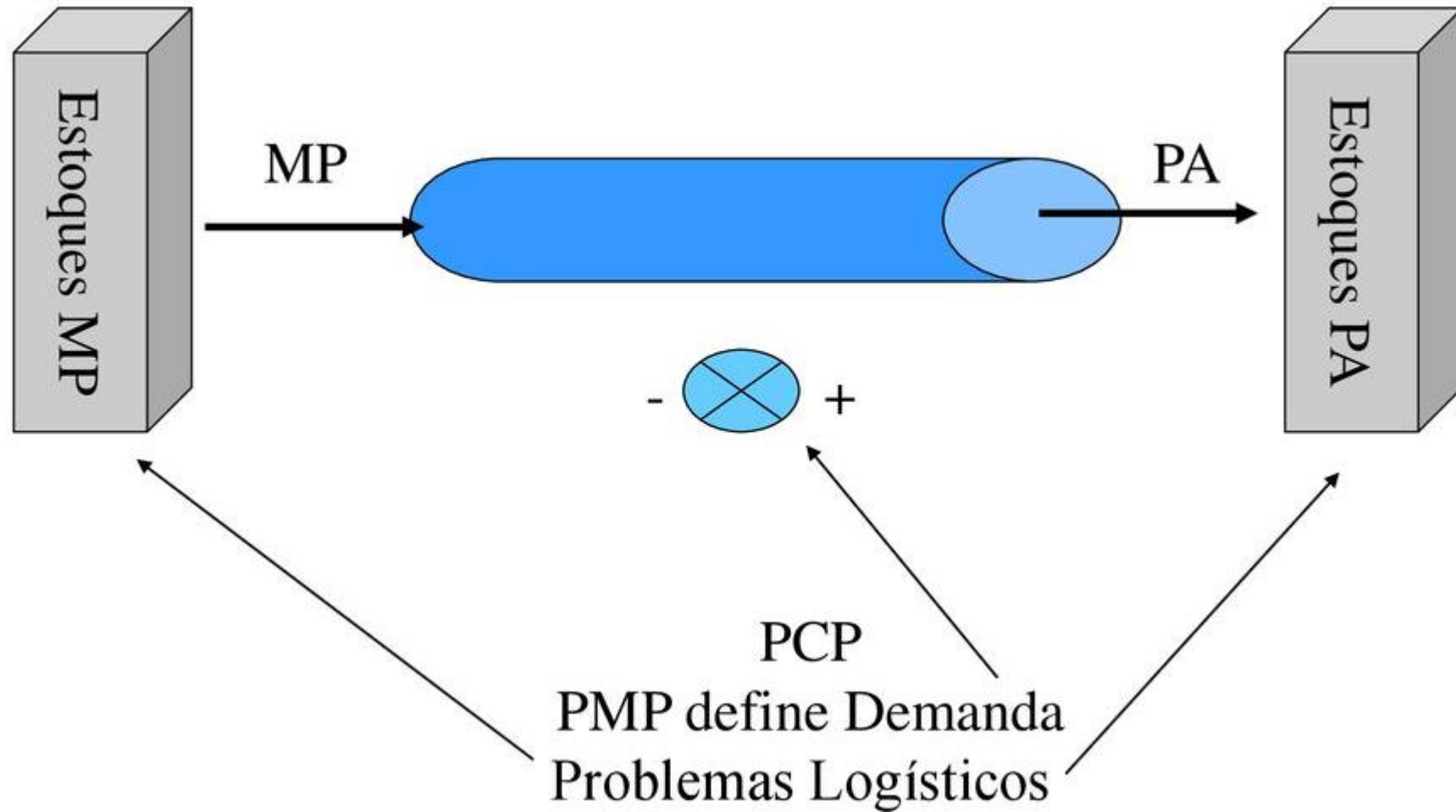
Processos contínuos

- Têm volumes maiores e, geralmente, menores variedades do que os processos de produção em massa.
- Usualmente, operam por períodos de tempo mais longos.
- Ex: centrais de tratamento de água, refinarias petroquímicas, usinas de eletricidade, siderúrgicas.



Fonte: Slack et al. [2]

Processos contínuos



Sequenciamento nos Processos Contínuos

- Como estes se propõem à produção de poucos itens (normalmente um por instalação), não existem problemas quanto à ordem de execução das atividades.
- Os problemas de programação se resumem à definir a velocidade de produção para atender o PMP.

Sequenciamento nos Processos Contínuos

- Se mais de um produto for produzido na mesma instalação, procura-se atender o PMP com lotes únicos de cada item, devido ao alto custo dos equipamentos produtivos.
- Além disso, para evitar a parada do sistema produtivo, deve-se garantir um fluxo de chegada de matéria-prima e manutenção das instalações produtivas.

Sequenciamento nos Processos Repetitivos em Massa

Processos de produção em massa

- Alto volume.
- Variedade relativamente baixa (baixa em termos dos seus aspectos fundamentais).
- Capacidade de produção ~ demanda média.
- Ex: a produção de alimentos congelados, as linhas de embalagem automáticas, as montadoras de automóveis, as fábricas de televisão.



Fonte: Slack et al. [2]

Processos Repetitivos em Massa

- O trabalho da programação da produção nos processos repetitivos em massa consiste em buscar **um ritmo equilibrado entre os vários postos de trabalho**, principalmente, nas linhas de montagem (balanceamento de linha), para atender economicamente uma taxa de demanda, expressa em termos de “tempo de ciclo” de trabalho.

Processos Repetitivos em Massa

- O balanceamento de linha visa definir conjuntos de atividades que serão executados por homens e máquinas de forma a garantir um tempo de processamento aproximadamente igual (tempo de ciclo) entre os postos de trabalho.
- Com isso, tira-se o máximo de produtividade e sincronismo dos recursos investidos no processo produtivo.

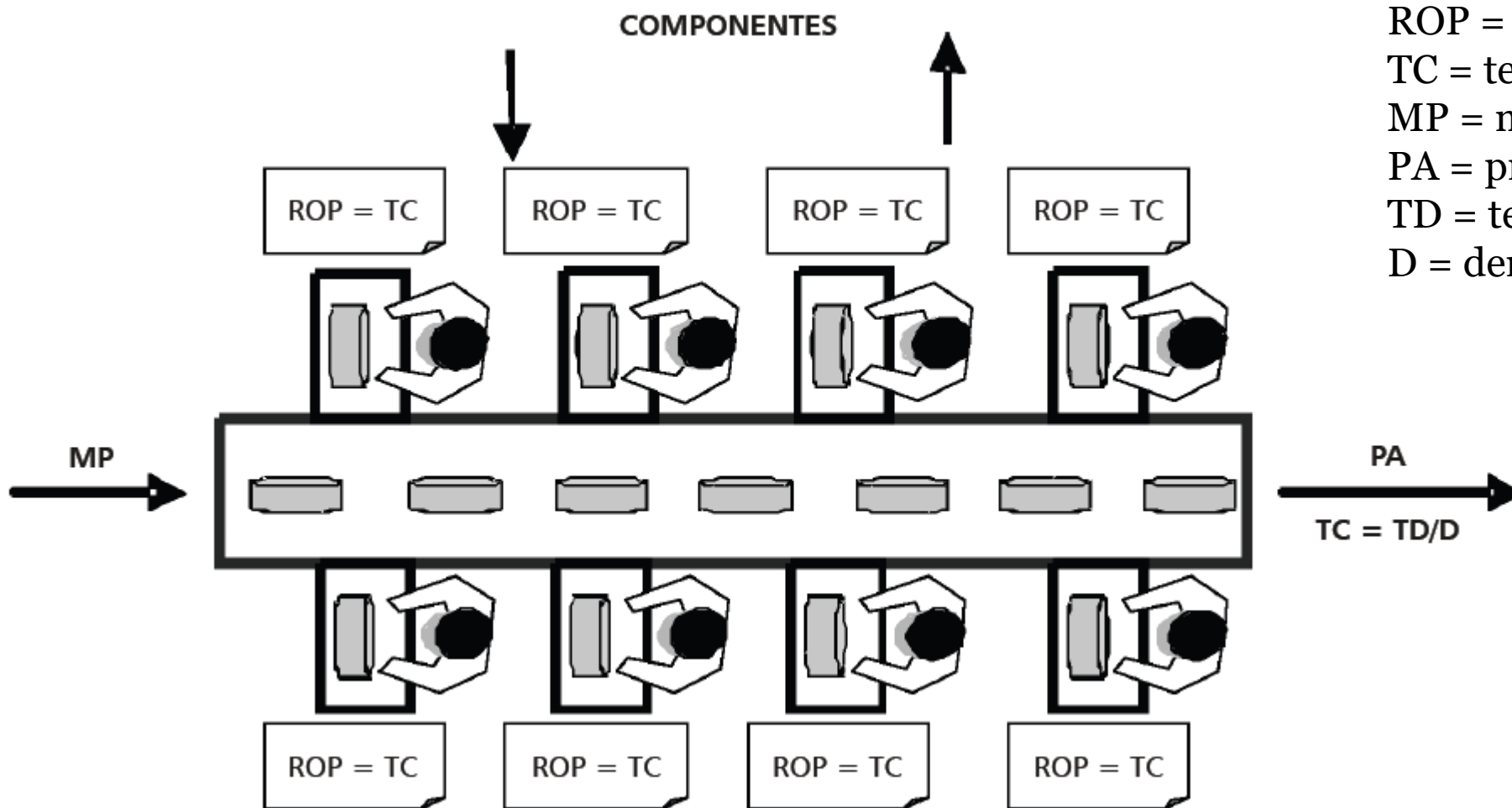
Processos Repetitivos em Massa

- Uma linha de produção pode ser composta de vários centros de trabalho (CT), que podem ser responsáveis por submontagens ou até mesmo compostos por máquinas para operações específicas, como, por exemplo, uma estação de pintura ou uma prensa, encarregados de montar ou fabricar partes do produto.

Processos Repetitivos em Massa

- Materiais componentes dos produtos fabricados abastecem a linha principal por meio de estoques de borda de linha.
- Logo, o balanceamento de uma linha de montagem deve:
 - Sincronizar os ritmos (TC) dos diferentes centros de trabalho na execução de suas ROP
 - Dimensionar os estoques de borda de linha

Processos de produção em massa



ROP = rotina de operações padrão
TC = tempo de ciclo
MP = matéria-prima
PA = produto acabado
TD = tempo disponível
D = demanda

Processos Repetitivos em Massa

- A ROP é o conjunto de atividades que um posto de trabalho deve seguir dentro do TC planejado no sentido de executar a lista de operações padrão para montar ou fabricar um item, que incluem:
 - Atividades manuais: são aquelas atividades que exigem que o operador esteja presente em contato com o item montado ou fabricado, como, por exemplo, a colocação de uma peça em um torno e o acionamento do mesmo, ou ainda, a retirada da peça da máquina (normalmente essa atividade pode ser automatizada por gravidade, liberando o operador);

Processos Repetitivos em Massa

- A ROP é o conjunto de atividades que um posto de trabalho deve seguir dentro do TC planejado no sentido de executar a lista de operações padrão para montar ou fabricar um item, que incluem:
 - Atividades mecânicas: são aquelas atividades que não exigem que o operador esteja em contato com o item montado ou fabricado, como, por exemplo, o que ocorre durante uma operação de usinagem automática;
 - Deslocamentos: são os movimentos que o operador precisa fazer para ir de um ponto ao outro do posto de trabalho para a execução das operações padrão e depende do layout da linha de montagem ou da célula de fabricação, como, por exemplo, buscar peças e deslocar-se entre máquinas.

Processos Repetitivos em Massa

- Para promover o balanceamento da linha, Tubino [2] cita 3 passos:
 - 1º passo - Definir os limites técnicos da capacidade de produção (CP) em termos de tempo de ciclo.
 - 2º passo - definir o tempo de ciclo (TC) que desejamos operar.
 - 3º passo - calcular o número mínimo de postos para atender uma determinada D ou TC.

Exemplo 1

- Vamos admitir um produto montado em uma linha que trabalha 480 min por dia (8h) a partir de 6 operações sequenciais com os seguintes tempos unitários:

Tempo (min)					
Operação 1	Operação 2	Operação 3	Operação 4	Operação 5	Operação 6
0,8	1,0	0,5	1,0	0,5	0,7

Exemplo 1

- 1º passo - Definir os limites técnicos da capacidade de produção (CP) em termos de tempo de ciclo.

$$CP = \frac{TD}{TC}$$

- Onde:
 - CP = capacidade de produção por dia;
 - TD = Tempo disponível para a produção por dia;
 - TC = Tempo de ciclo em minutos por unidade de produto.

Exemplo 1

- O limite superior da capacidade considera o maior tempo unitário de operação, e o inferior a soma dos tempos de todas as operações.

Com 1 posto de trabalho fazendo todas as atividades.

$$CP_{inferior} = \frac{TD}{TC} = \frac{480 \text{ min/dia}}{4,5 \text{ min/unid}} = 106,6 \sim 106 \text{ unid/dia}$$

$$CP_{superior} = \frac{TD}{TC} = \frac{480 \text{ min/dia}}{1,0 \text{ min/unid}} = 480 \text{ unid/dia}$$

Com 6 postos cada um fazendo uma atividade.

Exemplo 1

- 2º passo - definir o tempo de ciclo (TC) que desejamos operar.

$$TC = \frac{TD}{D}$$

- Onde:
 - D = demanda diária.
- Admitindo D = 240 unid/dia, temos:

$$TC = \frac{TD}{D} = \frac{480 \text{ min/dia}}{240 \text{ unid/dia}} = 2 \text{ min/unid}$$

Exemplo 1

- 3º passo - calcular o número mínimo de postos para atender uma determinada D ou TC.

$$N_{\text{mínimo}} = \frac{\sum t}{TC}$$

- Onde:
 - $N_{\text{mínimo}}$ = N° mínimo de postos de trabalho;
 - t = Tempo de cada operação.

Exemplo 1

- Para o exemplo 1, temos:

$$N_{\text{mínimo}} = \frac{4,5 \text{ min/unid}}{2 \text{ min/unid}} = 2,25 \text{ postos} \sim 3 \text{ postos}$$

- Uma alternativa de composição desses postos seria:
 - Posto 1 = operação 1 + operação 2 = 0,8 + 1,0 = 1,8 min;
 - Posto 2 = operação 3 + operação 4 = 0,5 + 1,0 = 1,5 min;
 - Posto 3 = operação 5 + operação 6 = 0,5 + 0,7 = 1,2 min.

Processos Repetitivos em Massa

- Podem ser procuradas outras alternativas para compor estes postos de trabalho.
- Na prática, a situação é mais complexa, havendo:
 - Mais atividades;
 - Limitações físicas associadas ao layout e equipamentos;
 - Incompatibilidade entre operações e fatores humanos.

Processos Repetitivos em Massa

- Teoricamente, esse processo pode ser resolvido com um pacote computacional de programação dinâmica, mas normalmente as empresa optam por soluções mais simples e rápidas.

Processos Repetitivos em Massa

- Uma das regras mais simples empregadas consiste em iniciar com a 1ª operação e adicionar novas tanto quanto possível, até atingir o limite do tempo de ciclo.
- Uma vez fechada uma estação, passamos para a próxima.
- Logicamente, quanto maior a possibilidade de combinar tarefas distintas, mais perto do tempo de ciclo chegaremos.

Processos Repetitivos em Massa

- A eficiência de um sequenciamento é avaliada em função do seu tempo livre.

$$I_{eficiência} = 1 - \frac{\sum tempo livre}{N.TC}$$

- Onde:
 - $I_{eficiência}$ = índice de eficiência da alternativa de sequenciamento;
 - Tempo livre = tempo de ciclo menos o tempo de cada posto;
 - $N = N^{\circ}$ de postos de trabalho.

Processos Repetitivos em Massa

- Para o Exemplo 1, temos:

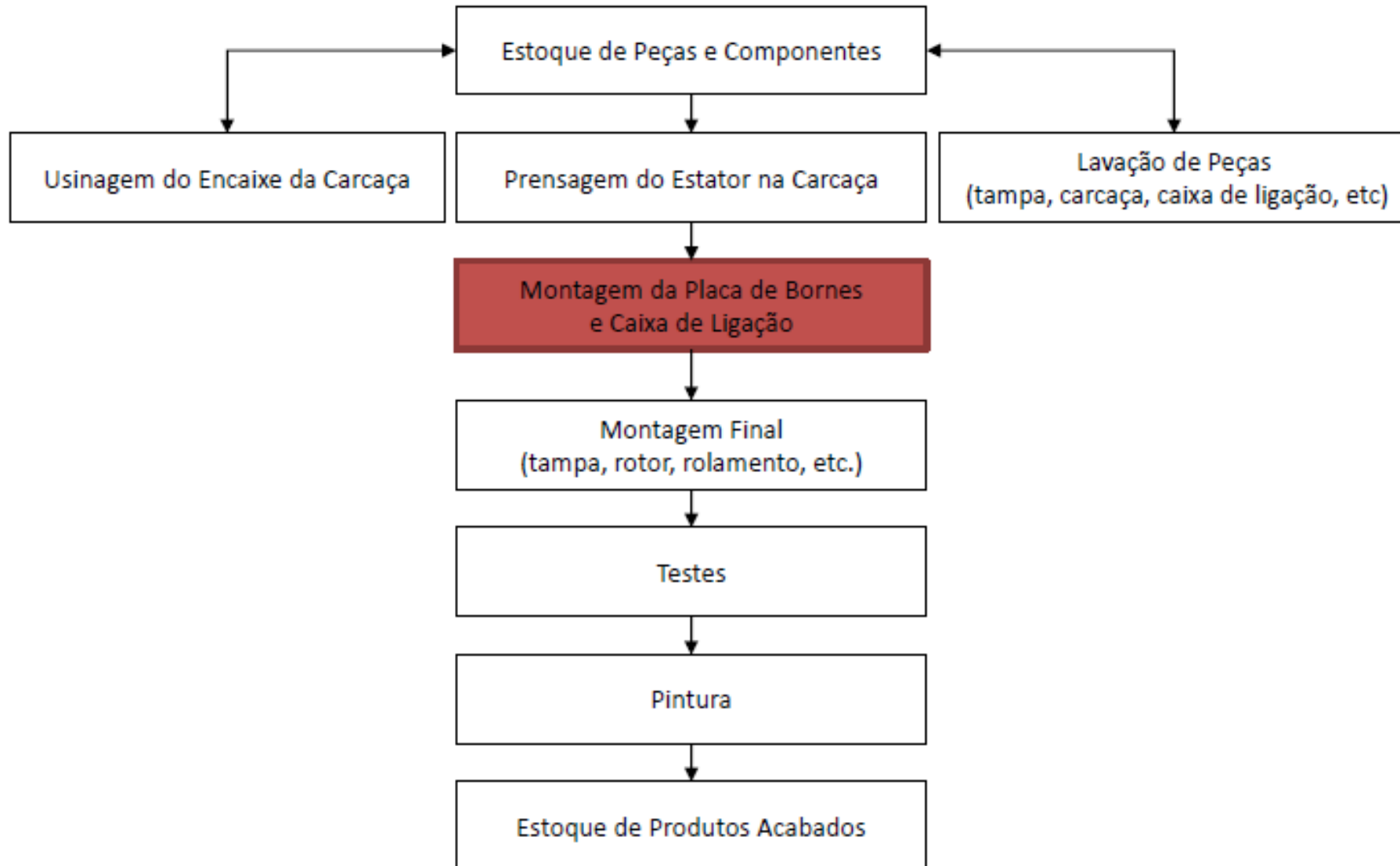
$$I_{eficiência} = 1 - \frac{(2 - 1,8) + (2 - 1,5) + (2 - 1,2)}{3 \times 2} = 0,75 \text{ ou } 75\%$$

- Ou seja, em média os postos estarão ocupados 75% do tempo.

Processos Repetitivos em Massa

- Como a programação dos processos repetitivos em massa sofre poucas alterações, buscamos trabalhar dentro da máxima capacidade de produção, ou seja, com o mínimo tempo de ciclo.
- Mudanças na demanda são absorvidas pelos estoques de produtos acabados no nível do PMP.
- A programação atua então no mix de modelos que serão produzidos em uma linha para atender determinado PMP.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha



Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

Montagem da Placa de Bornes e Caixa de Ligação – operações-padrão



Ordem	Operações-padrão	Tempo (min)
1	Soltar cabos	0,132
2	Fazer ligação na placa de bornes	0,648
3	Colocar ponte de ligação e porcas com arruelas	0,527
4	Pegar parafusadeira e fixar porcas na placa de bornes	0,156
5	Dobrar cabos com terminais	0,196
6	Pegar caixa de ligação e posicionar na bancada	0,102
7	Posicionar e prensar aterramento na caixa de ligação	0,074
8	Posicionar parafusos na caixa de ligação	0,351
9	Pegar caixa de ligação e posicionar sobre o motor	0,345
10	Pegar parafusadeira e fixar caixa de ligação	0,370
11	Enrolar duas pontas do cabo da resistência	0,207
12	Pegar estanhador e estanhar cabo da resistência	0,415
13	Cortar conector e retirar rebarba	0,593
14	Conectar cabos da resistência no conector	0,611
15	Parafusar conector na caixa de ligação	0,590
16	Conectar cabos do termostato no conector	1,030
Tempo Total		6,347

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

$$CP = \frac{TD}{TC} \quad CP = \frac{480 \text{ min/dia}}{1,130 \text{ min/unid}} \approx 424 \text{ unid/dia}$$

CP = Capacidade de produção em unidades por dia

TC = Tempo de ciclo em minutos por unidade

TD = Tempo disponível para produção em minutos por dia

Operação-padrão gargalo = 1,030 minutos

Deslocamentos = 0,100 minutos

TC = 1,130 minutos por unidade

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

$$TC = \frac{TD}{D} \quad TC = \frac{480 \text{ min/dia}}{200 \text{ unid/dia}} = 2,40 \text{ min/unid}$$

$$TX = \frac{D}{TD} \quad TX = \frac{200 \text{ unid/dia}}{480 \text{ min/dia}} \approx 0,416 \text{ unid/min}$$

TC = Tempo de ciclo em minutos por unidade

TX = Taxa de produção em unidades por minuto

TD = Tempo disponível para produção em minutos por dia

D = Demanda média em unidades por dia

Admitindo-se que a demanda média esperada por dia seja de 200 unidades desses motores, a linha de montagem tem que ser balanceada para um TC de 2,40 minutos por unidade, o que equivale a uma TX de 0,416 unidades por minutos.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

- Definida a demanda do período a ser atendida, e o correspondente TC, o próximo passo no balanceamento da linha consiste em determinar o número de postos de trabalho e a correspondente rotina de operações-padrão (ROP) para cada um desses postos.
- Na montagem da ROP para cada um desses postos deve-se levar em conta a chamada matriz de polivalência.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

Nome	Conectar Placa de Bornes					Posicionar Caixa de Ligação					Conectar Caixa de Ligação					
	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	OP8	OP9	OP10	OP11	OP12	OP13	OP14	OP15	OP16
Oper.1																
Oper.2																
Oper.3																
Oper.4																
Oper.5																
Oper.6																
Oper.7																



Domina e Treina



Domina



Em Treinamento



Sem Treinamento

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

$$N_{\text{mínimo}} = \frac{\sum t}{TC} = \frac{6,347 \text{ min/unid}}{2,4 \text{ min/unid}} = 2,64 \sim 3 \text{ postos}$$

- Onde:
 - $N_{\text{mínimo}}$ = N° mínimo de postos de trabalho;
 - t = Tempo de cada operação.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

- Iniciando com a 1ª operação e adicionando novas tanto quanto possível, temos:

Ordem	Operações-padrão	Tempo (min)
1	Soltar cabos	0,132
2	Fazer ligação na placa de bornes	0,648
3	Colocar ponte de ligação e porcas com arruelas	0,527
4	Pegar parafusadeira e fixar porcas na placa de bornes	0,156
5	Dobrar cabos com terminais	0,196
6	Pegar caixa de ligação e posicionar na bancada	0,102
7	Posicionar e prensar aterramento na caixa de ligação	0,074
8	Posicionar parafusos na caixa de ligação	0,351
9	Pegar caixa de ligação e posicionar sobre o motor	0,345
10	Pegar parafusadeira e fixar caixa de ligação	0,370
11	Enrolar duas pontas do cabo da resistência	0,207
12	Pegar estanhador e estanhar cabo da resistência	0,415
13	Cortar conector e retirar rebarba	0,593
14	Conectar cabos da resistência no conector	0,611
15	Parafusar conector na caixa de ligação	0,590
16	Conectar cabos do termostato no conector	1,030
Tempo Total		6,347

Posto 1: 2,186 min +
0,1 min = 2,286 min

Tempo de movimentação em
cada posto.

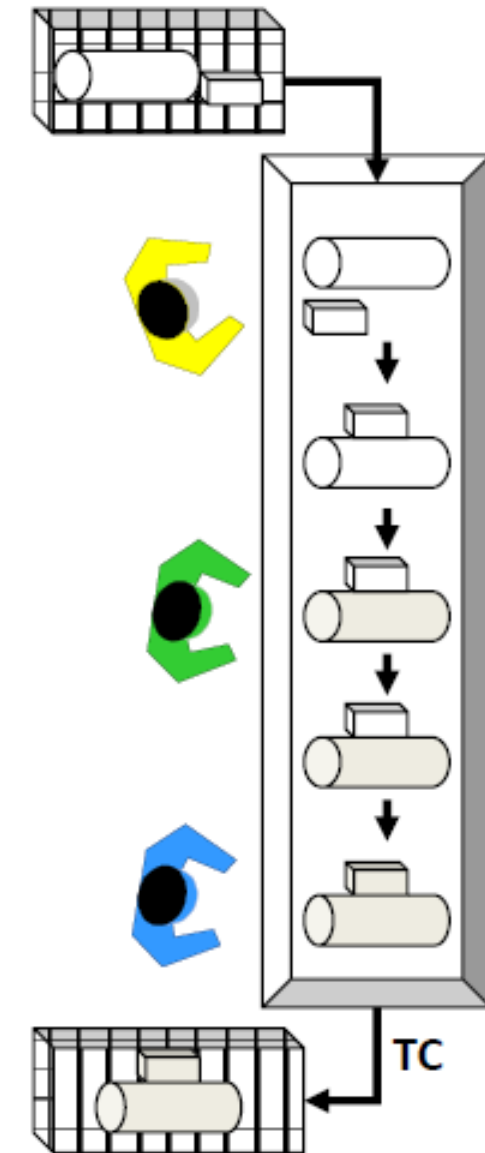
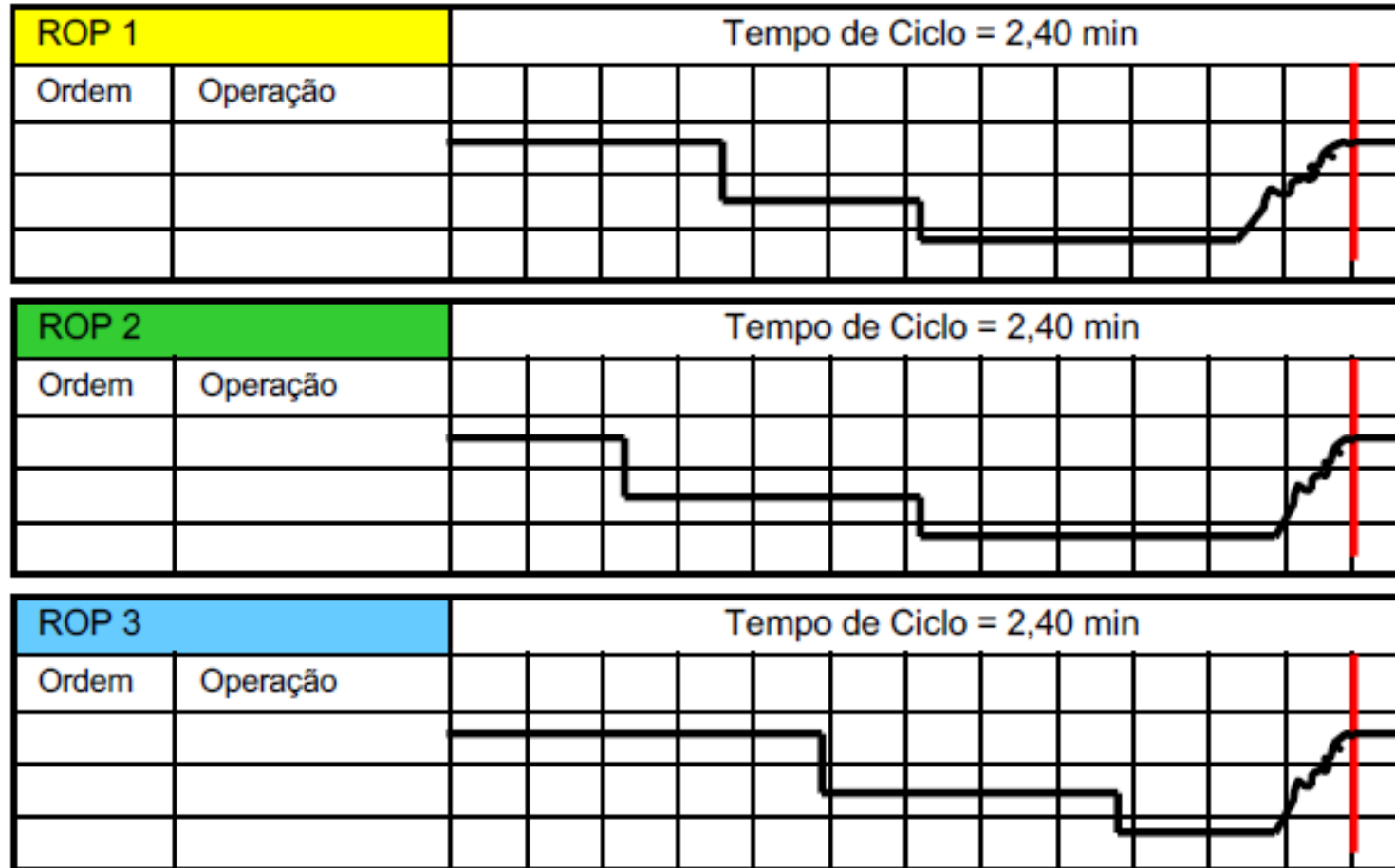
Posto 2: 1,93 min +
0,1 min = 2,03 min

Posto 3: 2,231 min +
0,1 min = 2,331 min

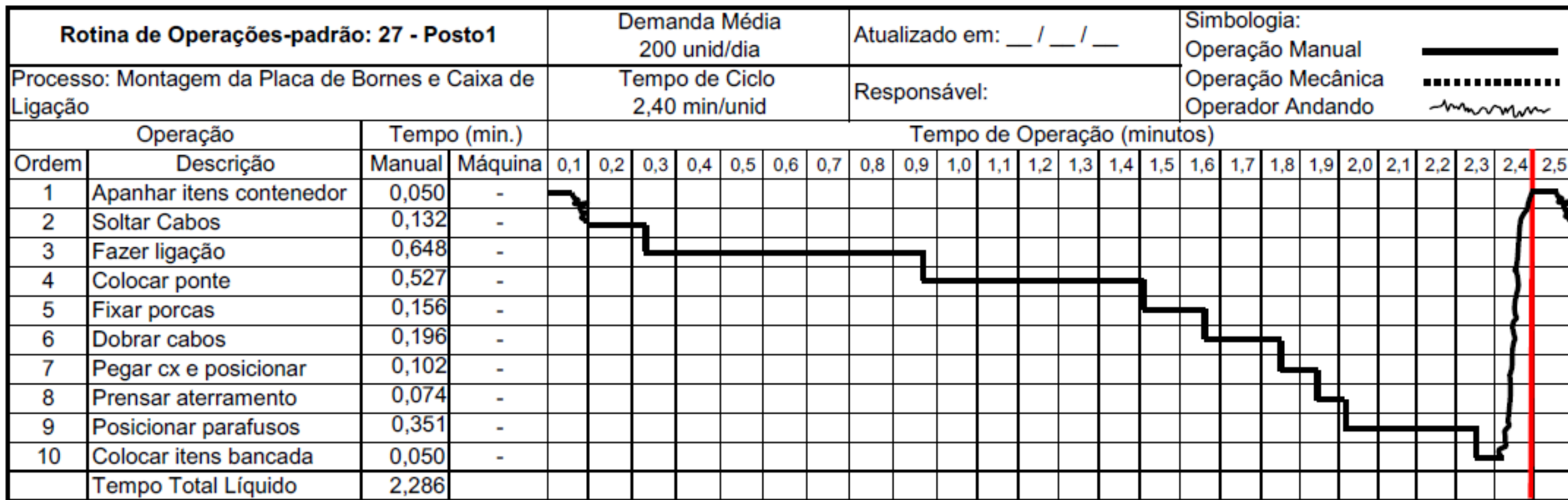
Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

- A lista de operações-padrão para a montagem possui apenas operações manuais, que exigem a presença do operador para sua execução - além disso, como o layout da linha é retilíneo, a sequência de operações-padrão dentro das três rotinas deve seguir a ordem sequencial da lista de operações-padrão.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

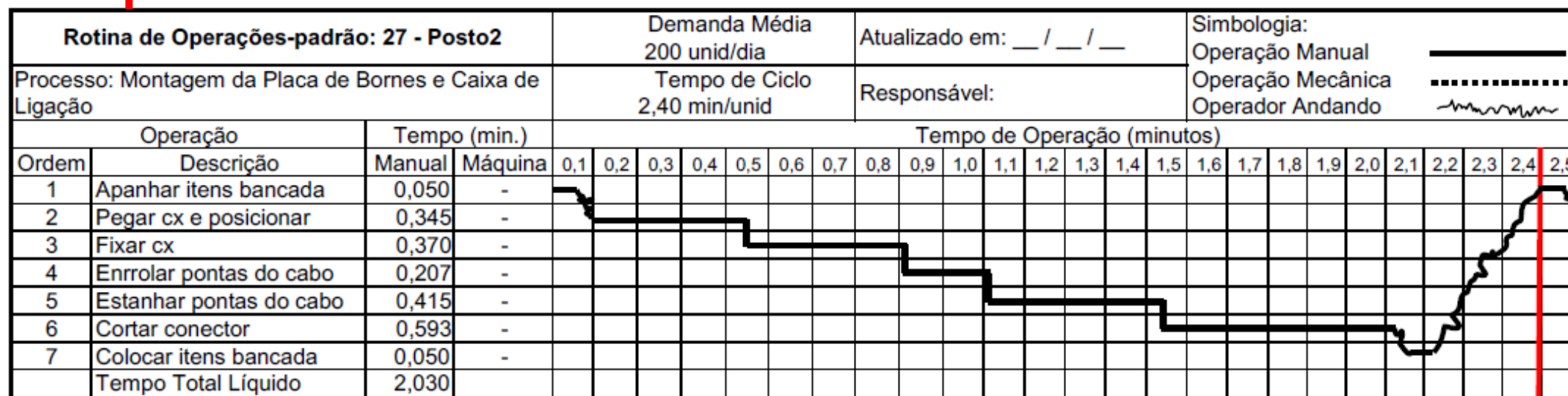


Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

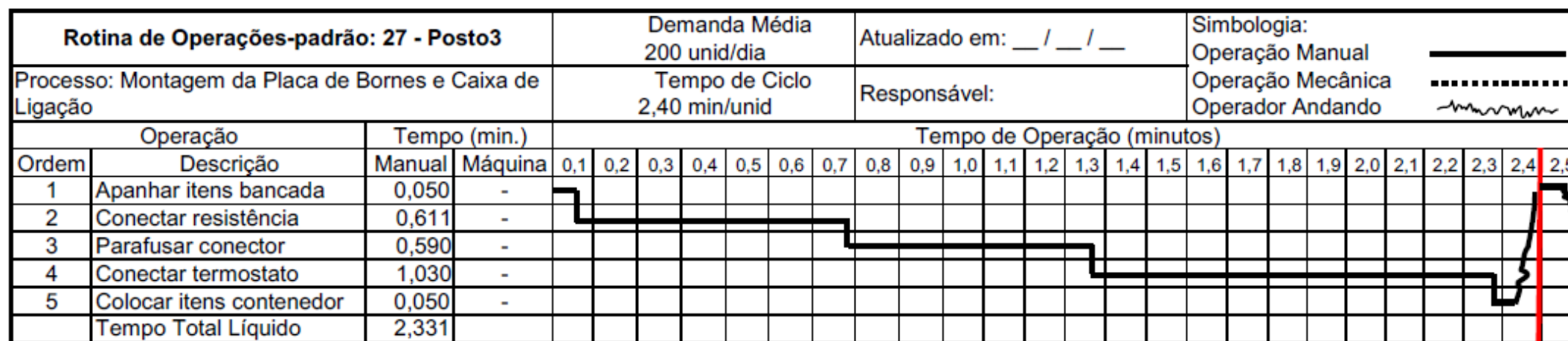


Rotina de operações-padrão: Posto 1

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha



Rotina de operações-padrão: Posto 2



Rotina de operações-padrão: Posto 3

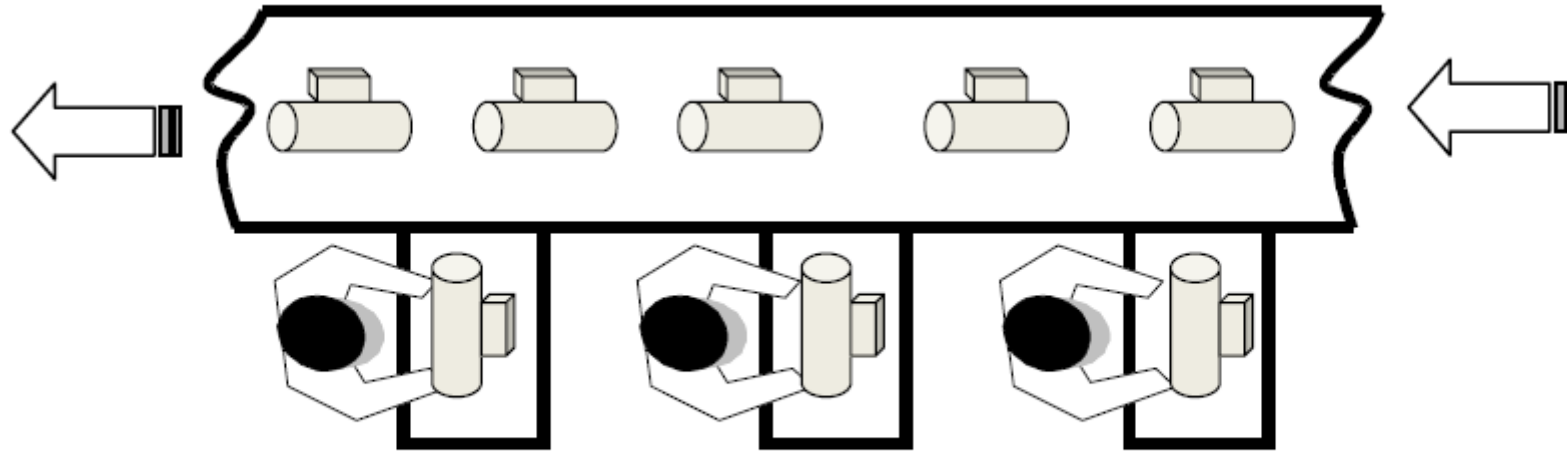
Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

- Dentro do conceito de gerenciamento visual da fábrica é importante que o conjunto de ROP esteja fixado junto às linhas de montagem ou células de fabricação. Com isso:
 - Cada operador ao assumir seu posto de trabalho dentro do rodízio de atividades, que pode chegar a ser feito a cada meia hora, tem um documento para se guiar;
 - Nesse documento junto ao chão de fábrica podem ser incluídas outras informações úteis como pontos de atenção com a segurança, quantidade padrão de material permitida dentro do posto (WIP - Work in Process) e ferramentas necessárias, por exemplo.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha

- Definidas as ROP para cada posto de trabalho, o **último passo** para se obter o balanceamento dos centros de trabalhos consiste em **analisar qual a quantidade padrão de material que deve ser colocada dentro do centro de trabalho**, chamada de **Work in Process (WIP)**, de forma a permitir que os operadores sincronizem e cumpram as suas ROP dentro do TC estabelecido.
- A definição da quantidade de **WIP** entre os postos de trabalho **depende da forma como esses postos estão interligados e do acionamento da linha**, que pode ser de acionamento contínuo ou de velocidade controlada (stop-and-go)

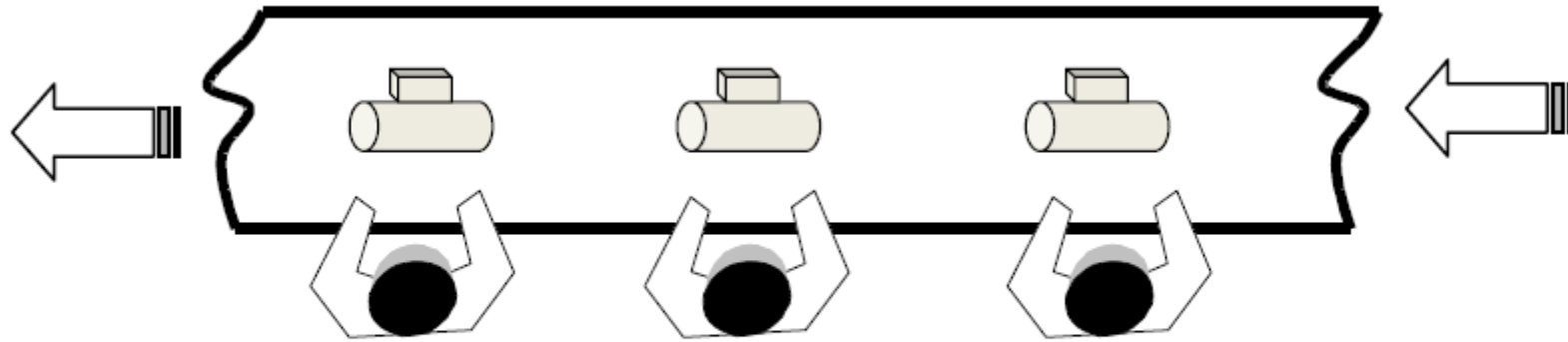
Exemplo 2 - Balanceamento de Linha



Linha de acionamento contínuo

- Busca um incremento de produtividade pelo isolamento e multiplicação da ação individual dos operadores- ou seja, os operadores são dispostos “fora” da linha de montagem que, por sua vez, segue um ritmo contínuo de acordo com o TC necessário para atender a demanda do produto que está sendo montado.

Exemplo 2 - Balanceamento de Linha



Linha de velocidade controlada

- A linha de velocidade controlada posiciona os operadores dentro da linha, obrigando-os a trabalharem suas ROP em sincronia com o TC da linha - caso a demanda (e o TC) pelo produto montado se altere, acelera-se, ou reduz-se, a velocidade da linha pela adição, ou redução, do número de operadores que passarão a executar novas ROP dentro do novo TC estabelecido (o que limita o tamanho da linha).

Sequenciamento nos Processos Repetitivos em Lote

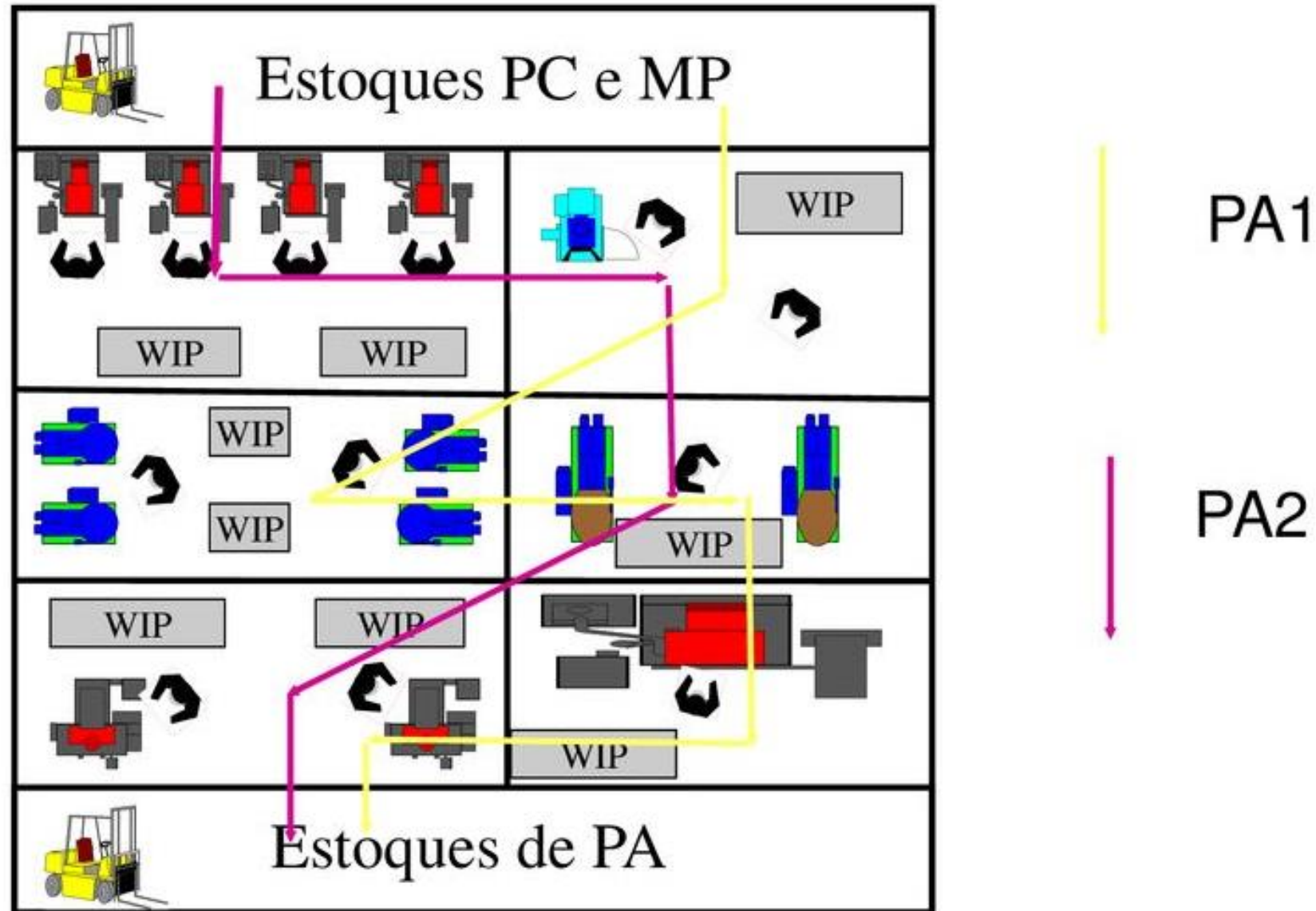
Processos em lotes

- Produção em lotes.
- Estes estão entre os processos em massa e da produção sob projeto.
- O volume e o grau de variedade dependem do tamanho dos lotes.
- Ex: fabricação de máquinas-ferramentas, a fabricação da maioria das peças componentes que entram em uma linha de montagem de produção em massa, como automóveis.



Fonte: Slack et al. [2]

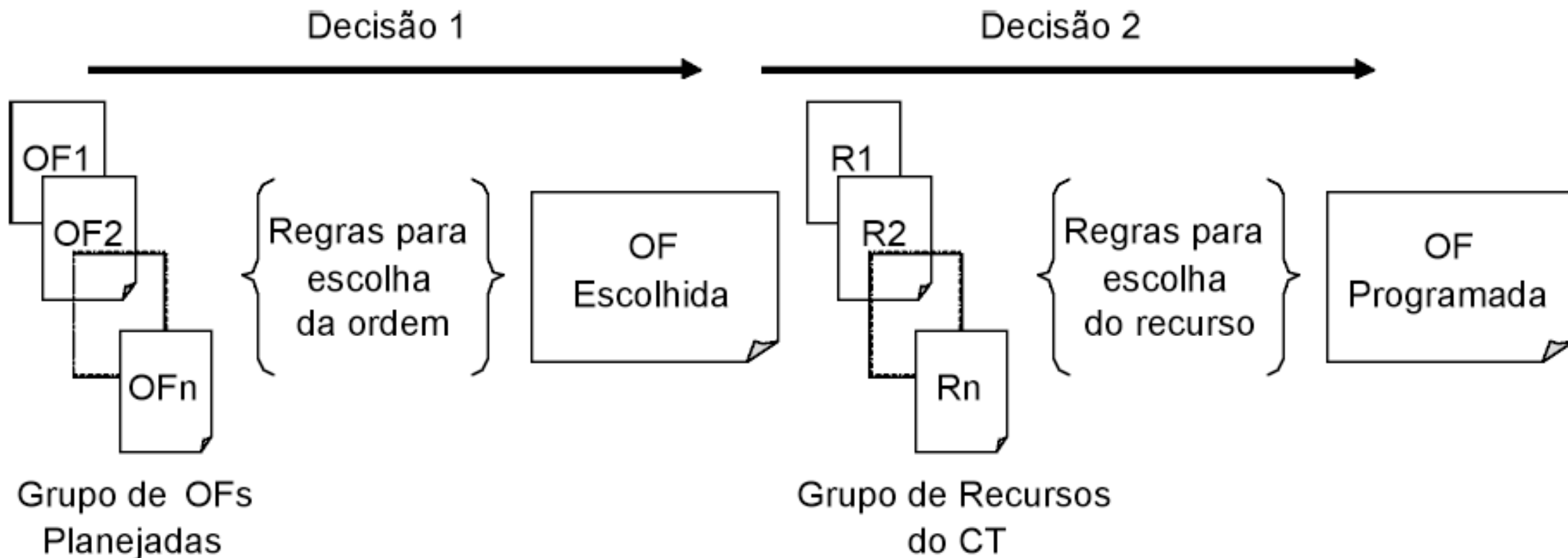
Processos em lotes



Processos Repetitivos em Lote

- Nesses sistemas produtivos o sequenciamento é analisado sob dois aspectos:
 - Decisão 1 - Escolha da ordem a ser processada dentre uma lista de ordens.
 - **Regras normalmente baseadas nas características do item ou lote a ser produzido**, como, por exemplo, tempo da operação-padrão, cobertura do estoque e importância do cliente, dentre outros.
 - Decisão 2 - Escolha do recurso a ser usado dentre uma lista de recursos disponíveis.
 - **O foco das regras de sequenciamento é o recurso**, como, por exemplo, tempo de setup, taxa de produção e capacidade disponível, dentre outros

Processos Repetitivos em Lote



Exemplos: tempo da operação-padrão, cobertura do estoque, importância do cliente etc.

Exemplos: tempo de *setup*, taxa de produção, capacidade disponível etc.

Processos Repetitivos em Lote

- Para entender a importância de sequenciamento nesse sistema produtivo, deve-se entender como o lead time dessa cadeia de valor é formado.

Lead time

1. Tempo de espera - é o tempo consumido pelos lotes para aguardarem sua vez para serem processados no centro de trabalho;
2. Tempo de processamento - é o tempo gasto com a transformação do item, sendo aquele que agrega valor ao produto;
3. Tempo de inspeção - é o tempo para verificar se o item está de acordo com as especificações exigidas, podendo ser realizado em sistemas convencionais apenas uma vez ao final;
4. Tempo de transporte - é o tempo para movimentar o item de acordo com o seu roteiro de fabricação até o próximo centro de trabalho.

Lead time

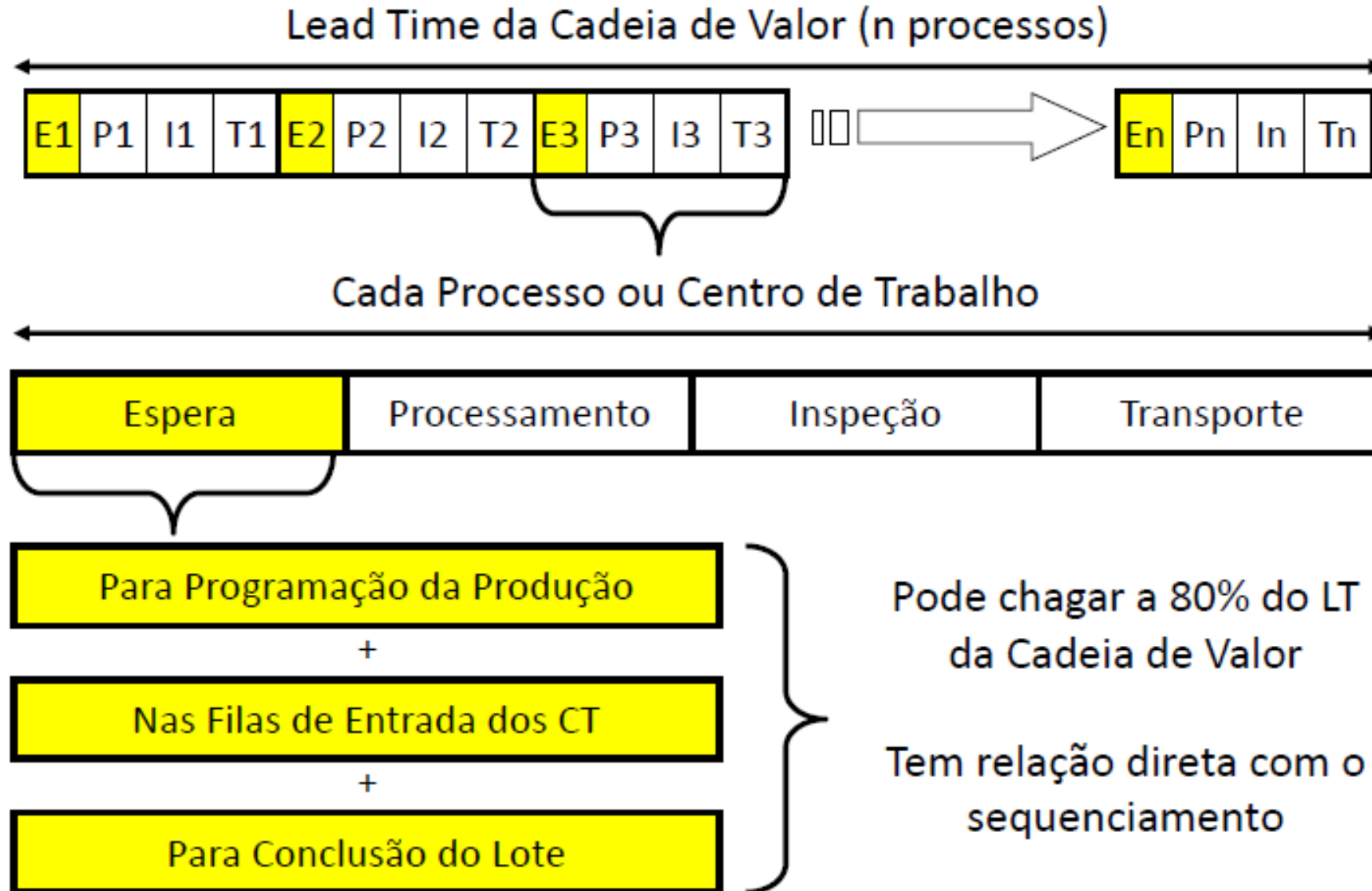
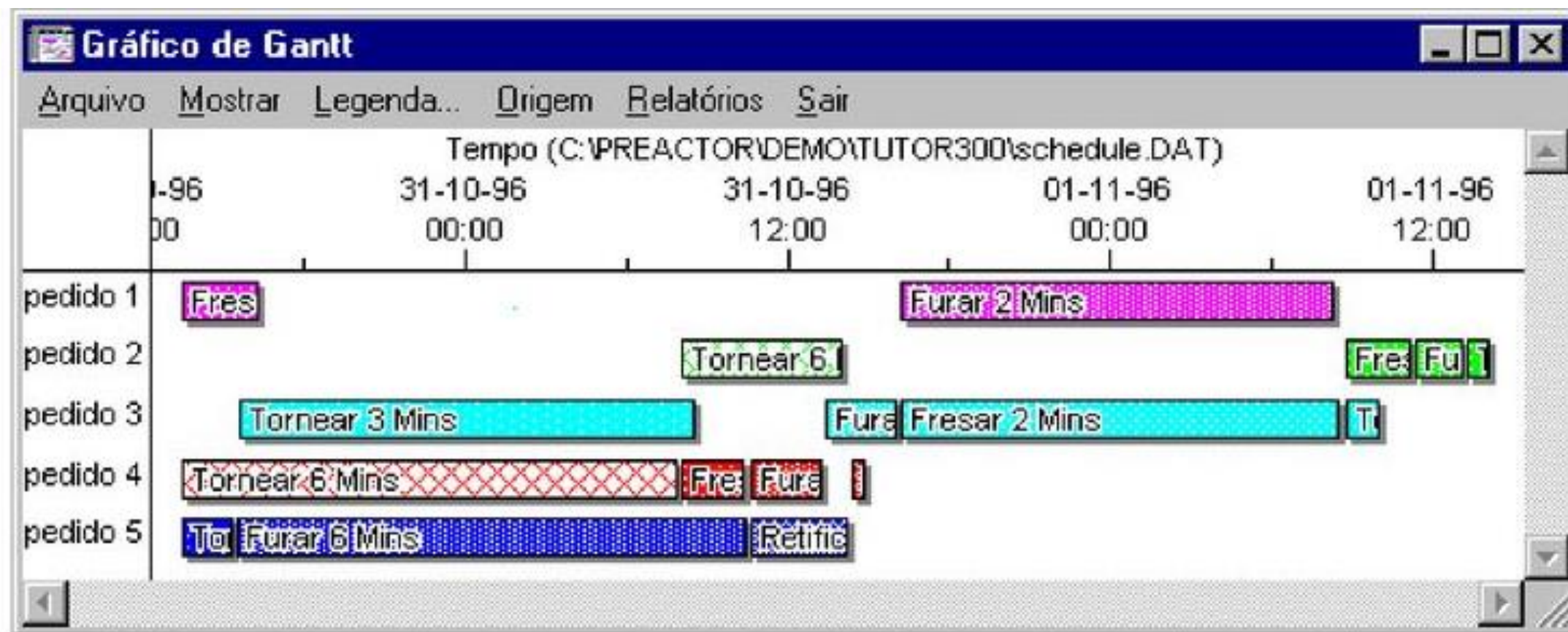


Gráfico de Gantt

- Antes de falar sobre as regras de sequenciamento mais usadas, vale apresentar o instrumento de visualização para a programação da produção: o Gráfico de Gantt.
- Normalmente, essa ferramenta exibe as ordens programadas no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal.

Gráfico de Gantt



Regras de sequenciamento

- Diferentes regras podem ser usadas para selecionar a ordem bem como o recurso que terão prioridade, considerando informações sobre os lotes e/ou sobre o estado do sistema produtivo.
- Não existem regras que sejam eficientes em todas as situações. Geralmente, a eficiência de um sequenciamento é medida em termos de 3 fatores: o lead time médio, o atraso médio, e o estoque em processo médio.
- Há possibilidade de adotar uma regra principal e outra secundária como critério de desempate.
- Porém, nada substitui um bom PMP e o uso equilibrado dos recursos produtivos.

Regras de sequenciamento

Sigla	Especificação	Definição
PEPS	Primeira que entra primeira que sai	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada no recurso.
MTP	Menor tempo de processamento	Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso.
MDE	Menor data de entrega	Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega.
IPI	Índice de prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto.
ICR	Índice crítico	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $(\text{data de entrega} - \text{data atual}) / \text{tempo de processamento}$
IFO	Índice de folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $\frac{\text{data de entrega} - \sum \text{tempo de processamento restante}}{\text{numero de operacoes restante}}$
IFA	Índice de falta	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: quantidade em estoque / taxa de demanda

Regras de Johnson

- Além destas, outra opção é a regra de Johnson, que minimiza o lead time total de um conjunto de ordens processadas em dois recursos sucessivos (Máquina A e Máquina B).

Regras de Johnson

- É válida apenas quando as seguintes condições são satisfeitas:
 1. Os tempos de processamento das ordens (incluindo setups) devem ser conhecidos e constantes, bem como independentes da sequência de processamento escolhida;
 2. Todas as ordens são processadas na mesma direção, da máquina A para a máquina B;
 3. Não existem prioridades;
 4. As ordens são transferidas de uma máquina p/ outra apenas depois de completas.

Regras de Johnson

- Passos para implementar:
 1. Selecionar o menor tempo entre todos os tempos de processamento da lista de ordens a serem programadas nas máquinas A e B. Em caso de empate, escolha qualquer um;
 2. Se o tempo escolhido for na máquina A, programa esta ordem no início. Se o tempo escolhido for em B, programe esta ordem para o final;
 3. Elimine a ordem escolhida da lista de ordens a serem programadas e retorne ao passo 1 até programar todas as ordens.

Exemplo 3

- 5 ordens de fabricação precisam ser estampadas na máquina A e, em seguida, usinadas na máquina B. Os tempos de processamento (incluindo os setups), as datas de entrega (em horas a partir da programação) e as prioridades atribuídas a cada ordem são dadas abaixo. Para aplicar PEPS, considerar sentido de entrada da OF1 à OF5.

Ordens	Processamento (h)		Entrega (h)	Prioridade
	Máquina A	Máquina B		
OF1	5	5	15	4
OF2	8	6	20	1
OF3	4	5	13	3
OF4	2	4	10	2
OF5	4	3	9	5

Exemplo 3

Regras	Sequências
PEPS	OF1-OF2-OF3-OF4-OF5
MTP	OF4-OF5-OF3-OF1-OF2
MDE	OF5-OF4-OF3-OF1-OF2
IPI	OF2-OF4-OF3-OF1-OF5
ICR	OF5-OF2-OF3-OF1-OF5
IFO	OF5-OF3-OF4-OF1-OF2
Johnson	OF4-OF3-OF1-OF2-OF5

Exemplo 3

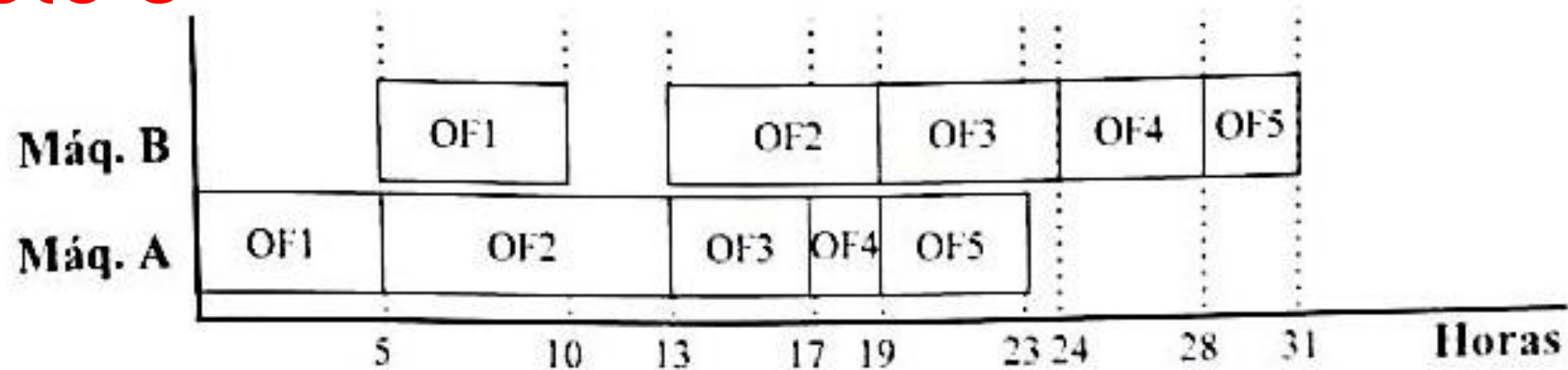


Figura 6.5 Gráfico de Gantt para a regra PEPS.

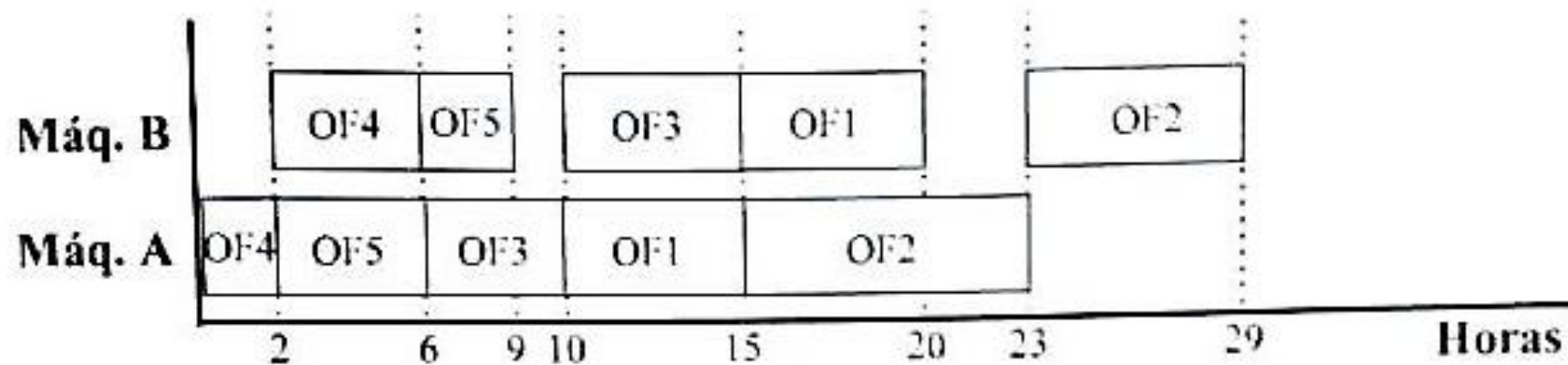


Figura 6.6 Gráfico de Gantt para a regra MTP.

Exemplo 3

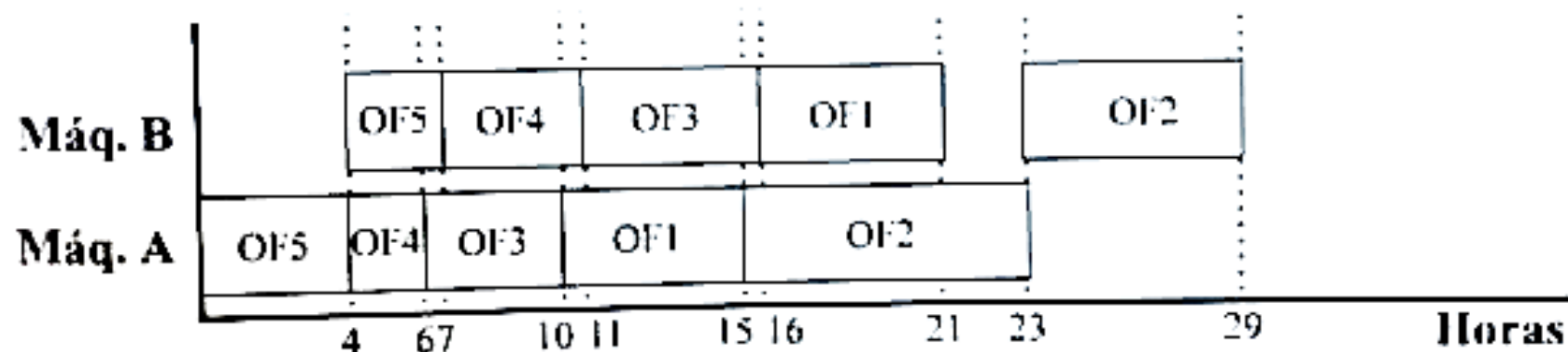


Figura 6.7 Gráfico de Gantt para a regra MDE.

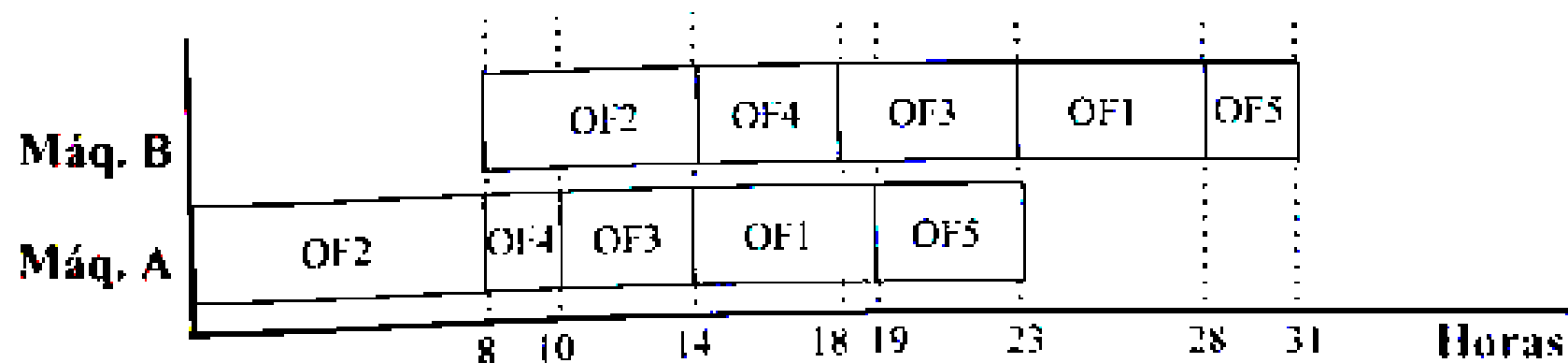


Figura 6.8 Gráfico de Gantt para a regra IPI.

Exemplo 3

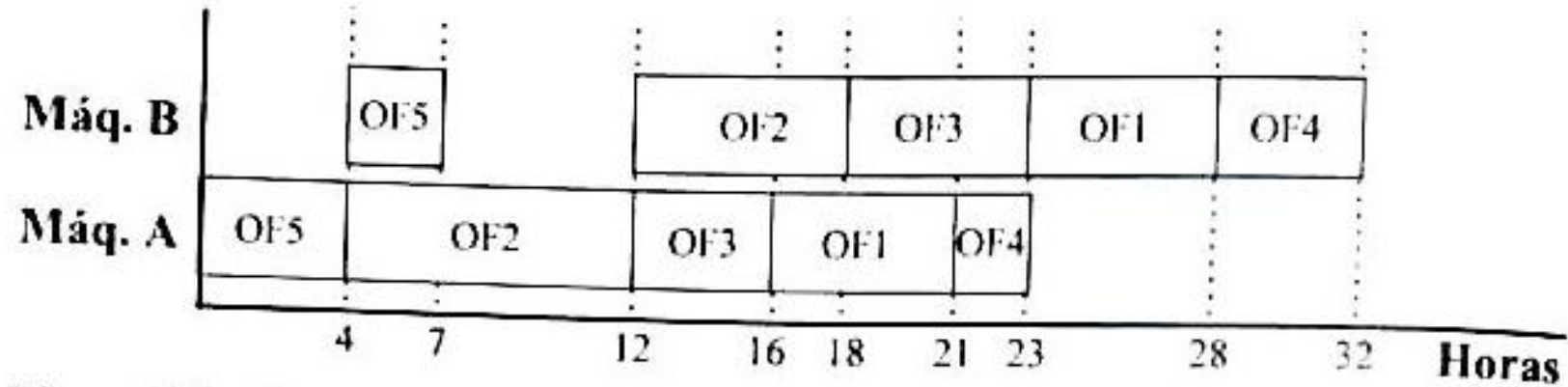


Figura 6.9 Gráfico de Gantt para a regra ICR.

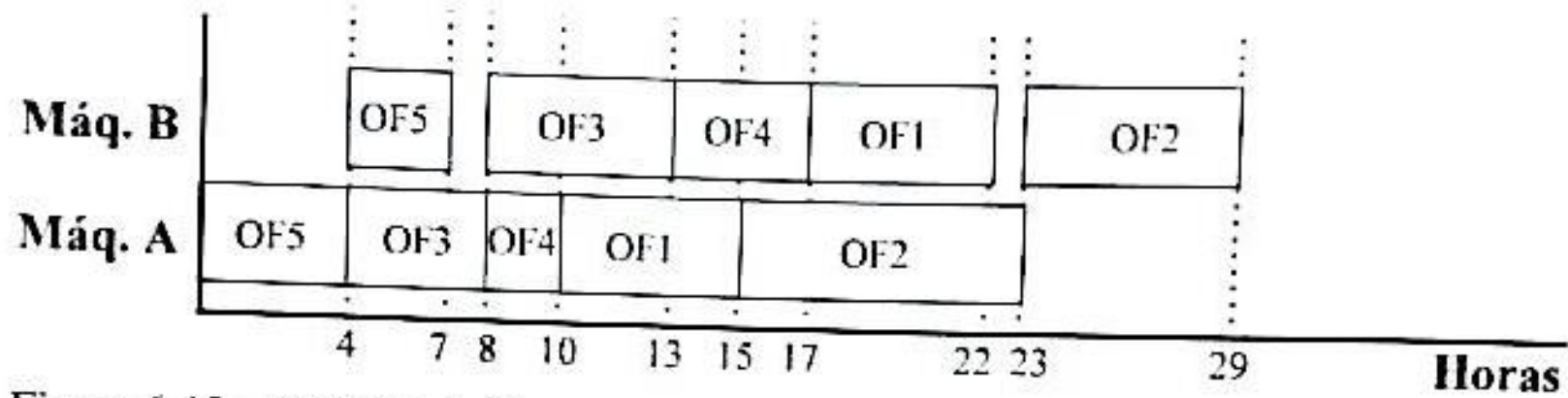


Figura 6.10 Gráfico de Gantt para a regra IFO.

Exemplo 3

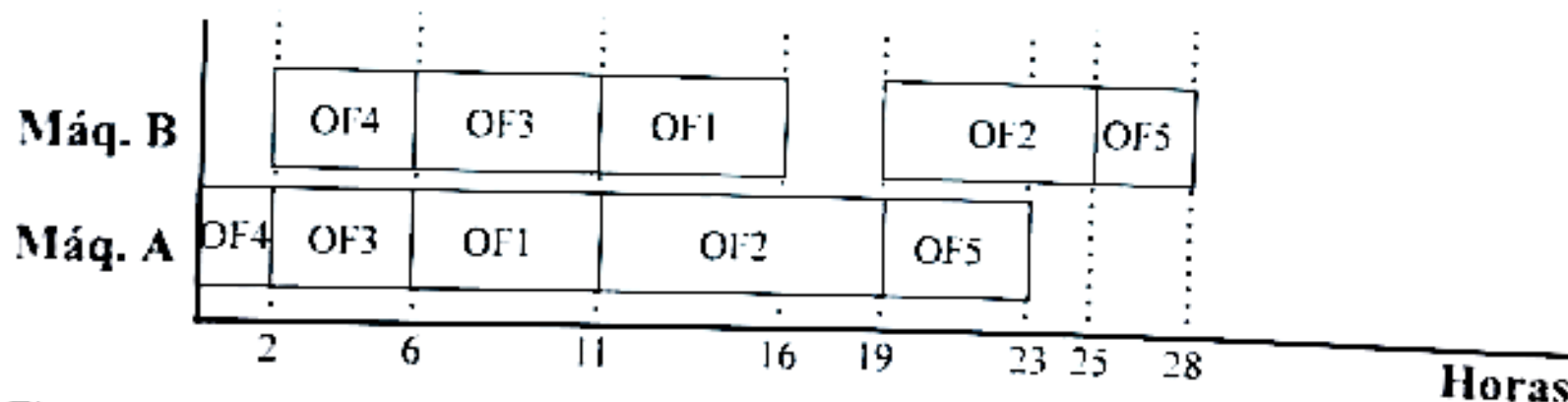


Figura 6.11 Gráfico de Gantt para a regra de Johnson.

Regras	Leadtime Total (h)	Leadtime Médio (h)	Atraso Médio (h)	Tempo de Espera Médio (h)
PEPS	31	$31/5 = 6,2$	$(0+0+11+18+22)/5 = 10,2$	$(0+0+2+5+5)/5 = 2,4$
MTP	29	$29/5 = 5,8$	$(0+0+2+5+9)/5 = 3,2$	$(0+0+0+0+0)/5 = 0$
MDE	29	$29/5 = 5,8$	$(0+1+3+6+9)/5 = 3,8$	$(0+1+1+1+0)/5 = 0,6$
IPI	31	$31/5 = 6,2$	$(0+8+10+13+22)/5 = 10,6$	$(0+4+4+4+5)/5 = 4,2$
ICR	32	$32/5 = 6,4$	$(0+0+10+13+22)/5 = 9,0$	$(0+0+2+2+5)/5 = 1,8$
IFO	29	$29/5 = 5,8$	$(0+0+7+7+9)/5 = 4,6$	$(0+0+3+2+0)/5 = 1,0$
Johnson	28	$28/5 = 5,6$	$(0+0+1+5+19)/5 = 5,0$	$(0+0+0+0+2)/5 = 0,4$

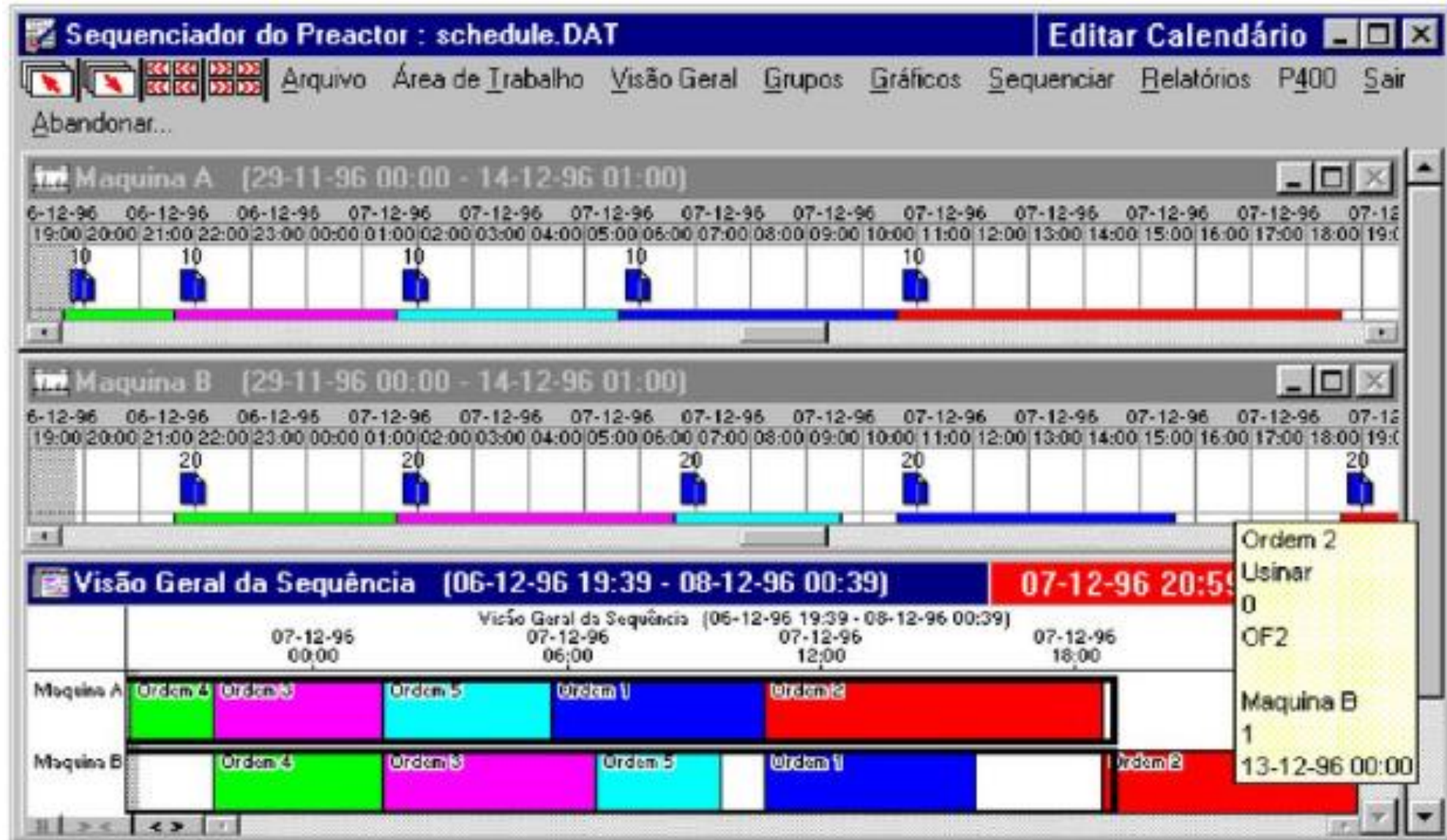
Planejamento fino da produção

- Existem softwares que procuram sequenciar dinamicamente um programa de produção dentro de um horizonte limitado pelo PMP (normalmente com periodicidade semanal), conforme as ordens são concluídas e problemas e/ou oportunidades surgem no dia a dia.
- Um exemplo é o software PREACTOR que sequencia as operações das ordens, uma de cada vez, através da análise de todas as operações aguardando na fila de processamento de um grupo de recursos e da aplicação de regras definidas (para a fila e para os recursos).

Planejamento fino da produção

- A seguir é ilustrada a solução do Exemplo 3 com esse software usando a regra “MTP” com desempate pela prioridade.
- Nesse caso, o lead time total foi de 29h, o atraso médio de 2,1 h e o tempo de espera médio foi igual a 0,2 h, melhorando os resultados obtidos previamente.

Planejamento fino da produção



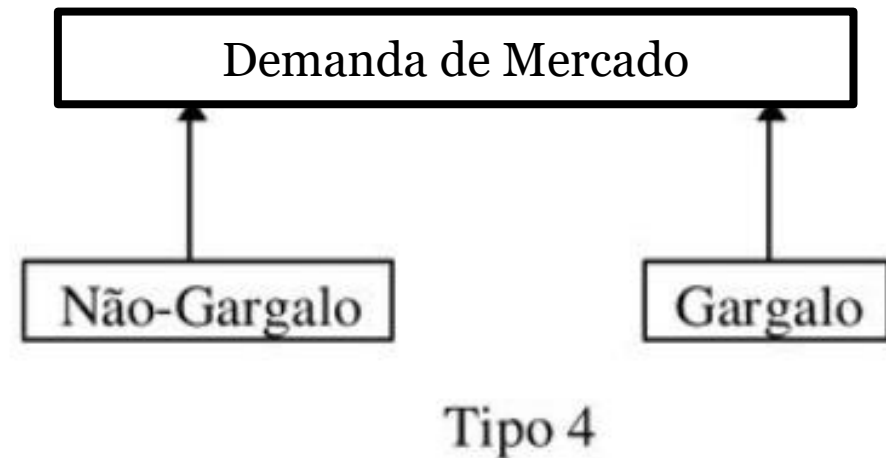
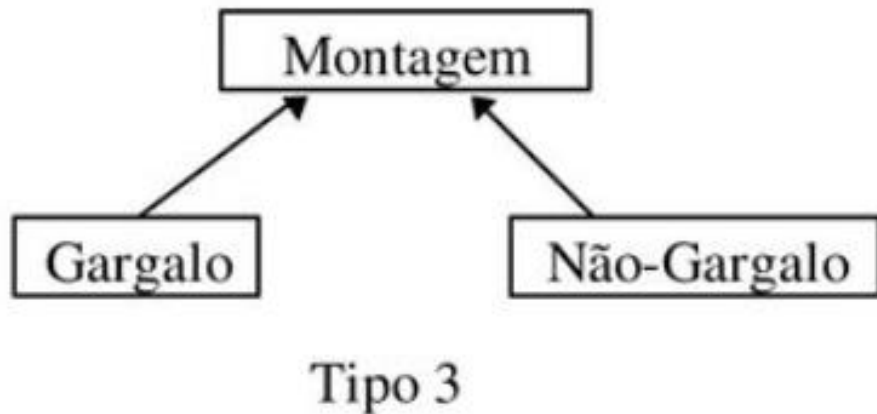
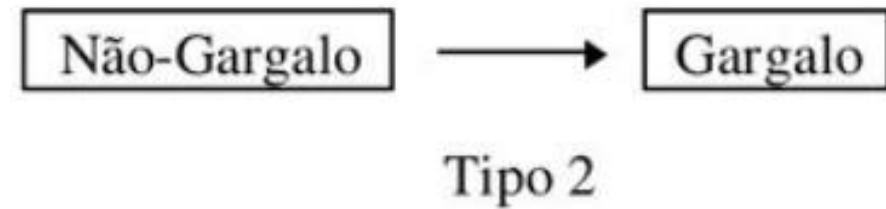
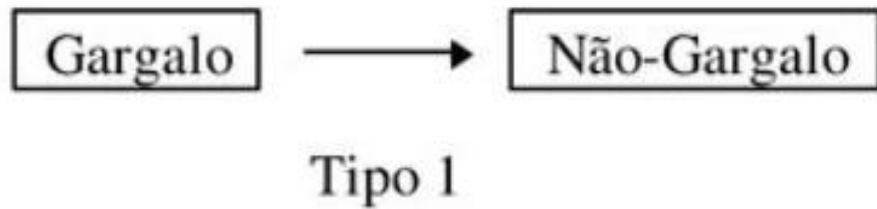
Características importante em termos das regras

- Simplicidade: as regras devem ser **simples e rápidas** de entender e aplicar;
- Transparência: a **lógica** deve estar **clara**, do contrário o usuário não verá sentido em aplicá-la;
- Interatividade: **facilitar a comunicação** entre os agentes do processo produtivo;
- Gerar prioridades palpáveis: as regras devem gerar **prioridades de fácil interpretação**;
- Facilitar o processo de avaliação: as regras de sequenciamento devem **promover, simultaneamente à programação, a avaliação de desempenho de utilização dos recursos produtivos**.

Teoria das restrições

- Segundo Tubino [2], a Teoria das restrições consiste em um conjunto de regras que têm por base o princípio de “gargalo”.
- Gargalo é um ponto do sistema produtivo (máquina, transporte, espaço, homens, demanda) que limita o fluxo de itens no sistema.
- Quatro tipos de relações podem ser estabelecidas entre recursos gargalos e não-gargalos.

Teoria das restrições



Teoria das restrições

- Esse conjunto de regras usado para direcionar as questões relativas ao sequenciamento de um programa de produção pode ser resumido da seguinte forma:

Teoria das restrições

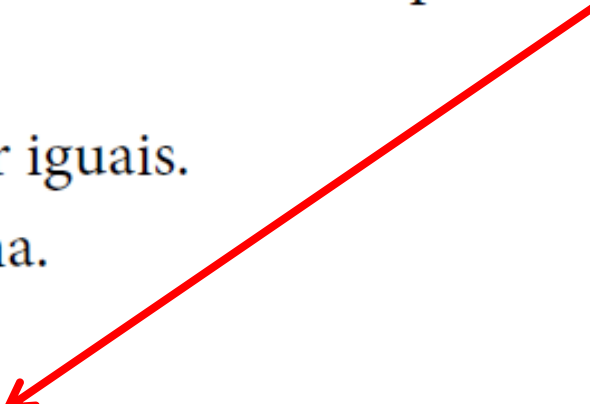
- A taxa de utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua capacidade de produção, mas sim por alguma outra restrição do sistema.
- Uma hora perdida num recurso-gargalo é uma hora perdida em todo o sistema produtivo.
- Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos.
- Os lotes de processamento e de transferência não necessitam ser iguais.
- Os gargalos governam tanto o fluxo como os estoques do sistema.



Ou seja, em função dos gargalos.

Teoria das restrições


- A taxa de utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua capacidade de produção, mas sim por alguma outra restrição do sistema.
- Uma hora perdida num recurso-gargalo é uma hora perdida em todo o sistema produtivo.
- Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos.
- Os lotes de processamento e de transferência não necessitam ser iguais.
- Os gargalos governam tanto o fluxo como os estoques do sistema.



Como não há folga (tempo ocioso), um atraso repercute em todo o sistema produtivo.

Teoria das restrições


- A taxa de utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua capacidade de produção, mas sim por alguma outra restrição do sistema.
- Uma hora perdida num recurso-gargalo é uma hora perdida em todo o sistema produtivo.
- Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos.
- Os lotes de processamento e de transferência não necessitam ser iguais.
- Os gargalos governam tanto o fluxo como os estoques do sistema.



Devem variar com o tipo de recurso. Se gargalo, lotes grandes p/ reduzir tempo de preparação. Se não-gargalo, lotes pequenos p/ reduzir custos de estoques.

Teoria das restrições

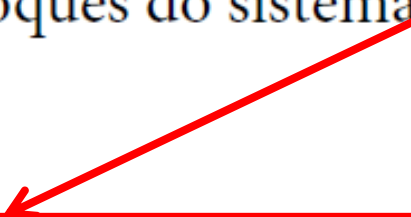
- A taxa de utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua capacidade de produção, mas sim por alguma outra restrição do sistema.
- Uma hora perdida num recurso-gargalo é uma hora perdida em todo o sistema produtivo.
- Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos.
- Os lotes de processamento e de transferência não necessitam ser iguais.
- Os gargalos governam tanto o fluxo como os estoques do sistema.



Se iguais, o lead time médio dos itens aumenta. Então, os lotes de transferência devem seguir a ótica do fluxo, e os lotes de processamento a ótica do recurso no qual ocorrerá o processamento.

Teoria das restrições

- A taxa de utilização de um recurso não gargalo não é determinada por sua capacidade de produção, mas sim por alguma outra restrição do sistema.
- Uma hora perdida num recurso-gargalo é uma hora perdida em todo o sistema produtivo.
- Os lotes de processamento devem ser variáveis e não fixos.
- Os lotes de processamento e de transferência não necessitam ser iguais.
- Os gargalos governam tanto o fluxo como os estoques do sistema.

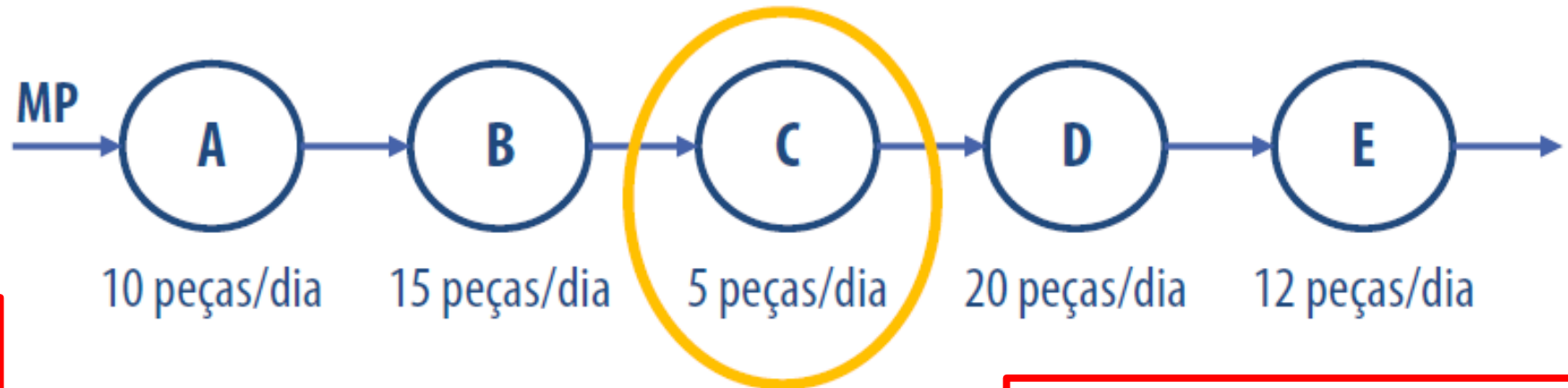


No sentido de que, além de sequenciar o programa de acordo com os gargalos, deve-se projetar estoques de segurança antes dos mesmos para evitar interrupções no fluxo.

Teoria das restrições

- Existindo uma certa constância dos pontos limitantes do sistema, podemos empregar cinco passos como forma de direcionar as ações da programação da produção:
 - Identificar os gargalos restritivos do sistema.
 - Programar esses gargalos de forma a obter o máximo de benefícios (lucro, atendimento de entrega, redução dos WIP etc.).
 - Programar os demais recursos em função da programação anterior.
 - Investir prioritariamente no aumento da capacidade dos gargalos restritivos do sistema.
 - Alterando-se os pontos gargalos restritivos, voltar ao passo 1.

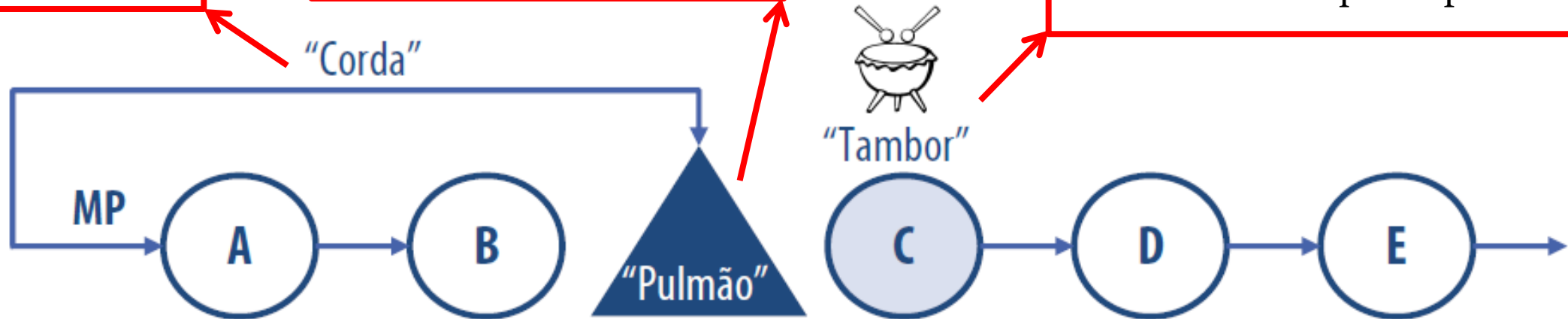
Teoria das restrições



- A comunicação controla as atividades anteriores.

- Estoque de segurança.

- Define o ritmo de produção.
- PMP tem que respeitar.



Sequenciamento nos Processos por Projeto

Processos por projeto

- Baixo volume.
- Alta variedade.
- Produtos muito específicos.
- Normalmente, bastante customizados.
- Ex: software, produção de filme, a maioria das empresas construtoras e operações de fabricação de grandes obras.



Fonte: Slack et al. [2]

Processos por projeto

- Devido a variedade produtos, o projeto a ser executado exige a criação de um estrutura própria de PCP que, ao final do mesmo, desloca-se para o próximo projeto.
- Nesses processos a principal questão a ser resolvida pelo PCP, em particular pelo sequenciamento das tarefas, está ligada a alocação dos recursos disponíveis no sentido de garantir a data de conclusão do projeto.

Processos por projeto

- Desta forma, o PCP de processos por projeto busca sequenciar as diferentes atividades do projeto, de forma que cada uma delas tenha seu início e conclusão encadeados com as demais atividades que estarão ocorrendo em sequência e/ou em paralelo com a mesma.
- A técnica mais empregada para planejar, sequenciar e acompanhar projetos é a técnica conhecida como PERT/CPM.

PERT-CPM

- O PERT (Program Evaluation and Review Technique) e o CPM (Critical Path Method) são duas técnicas desenvolvidas de forma independente nos anos 50, que buscaram solucionar problemas de PCP em grandes projetos.
- Devido às soluções semelhantes encontradas, hoje são conhecidas simplesmente como PERT/CPM.

PERT-CPM

- Esta técnica permite:
 - Visão gráfica das atividades que compõem o projeto;
 - Estimativas de quanto tempo o projeto consumirá;
 - Visão de quais atividades são críticas para atender o prazo de conclusão;
 - Visão de quanto tempo de folga dispomos nas atividades não críticas.

PERT/CPM

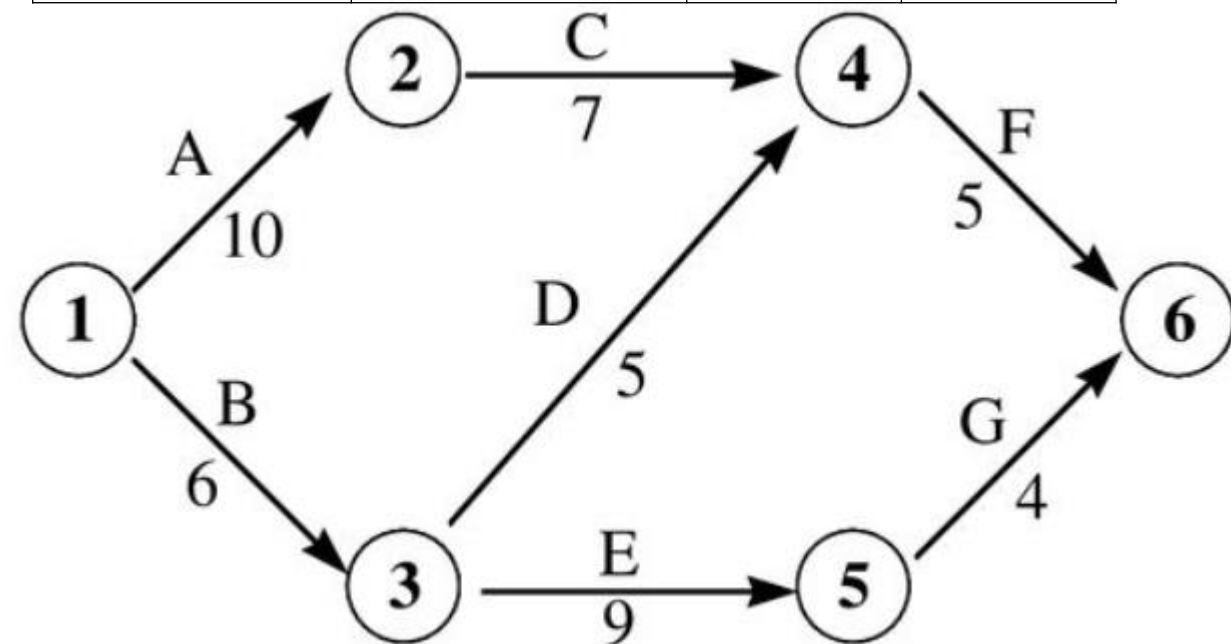
- Uma rede é formada por:
 - Setas - representam as atividades do projeto que consomem determinados recursos (mão de obra, máquinas) e/ou tempo;
 - Nós - representam o momento de início e fim das atividades, que são chamados de eventos. Os eventos são pontos que demarcam o projeto e, diferente das atividades, não consomem recursos ou tempo;
 - Atividades fantasmas (flecha tracejada) - que visam indicar a interdependência entre tarefas, de forma a não sobrecarregar a rede; a atividade fantasma não possui um valor de tempo.

PERT/CPM

- Vale destacar que:
 - Os nós são numerados da esquerda para direita e de cima para baixo;
 - O nome da atividade aparece sobre a seta e sua duração sob a seta;
 - Os sentidos das setas indicam o fluxo de execução das atividades;
 - Existem outras possibilidades de montar a rede (métodos francês), mas, para simplificar, vamos ficar com a apresentada por Tubino [1-2].

PERT/CPM

Atividade	Dependência	Duração	Nós
A	-	10	1-2
B	-	6	1-3
C	A	7	2-4
D	B	5	3-4
E	B	9	3-5
F	C e D	5	4-6
G	E	4	5-6



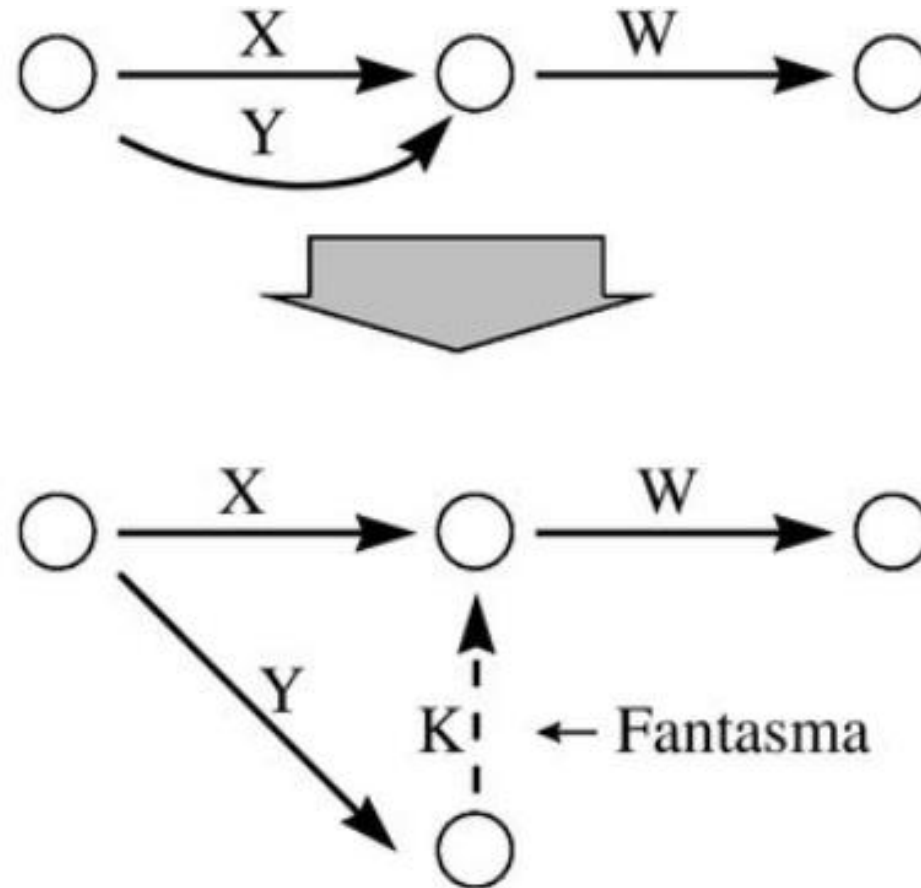
- Cada ligação entre o nó inicial e o final é chamada de caminho.

- Caminhos:

- **1-2-4-6 = 22 h (Crítico).**
- 1-3-4-6 = 11 h.
- 1-3-5-6 = 19 h.

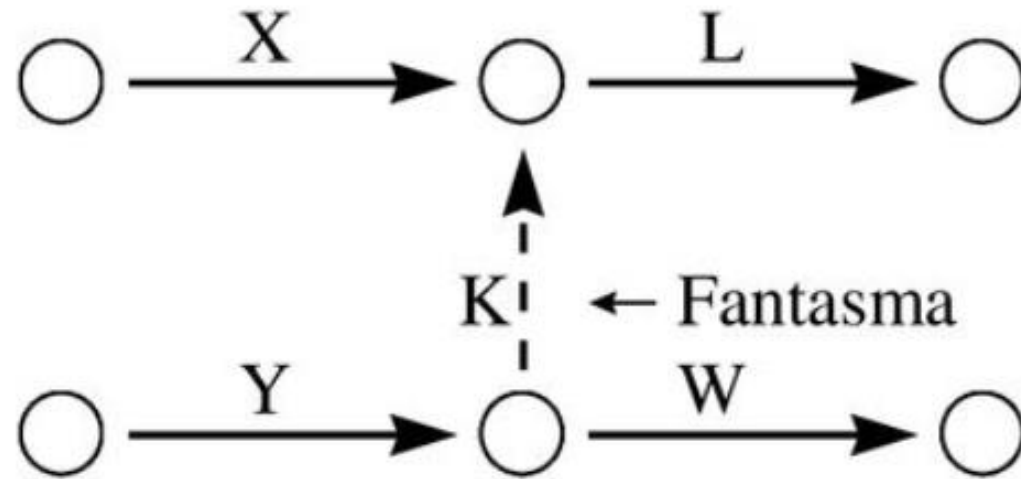
PERT/CPM

- Quando duas atividades têm o mesmo início e fim é impossível identificá-las pelos números de nós. É neste caso que usamos a atividade fantasma.



PERT/CPM

- Outra possibilidade de uso da atividade fantasma ocorre quando uma atividade (L) depende de duas diferentes (X e Y), e uma outra atividade (W) também apresenta dependência de umas das atividades que precisam preceder L.



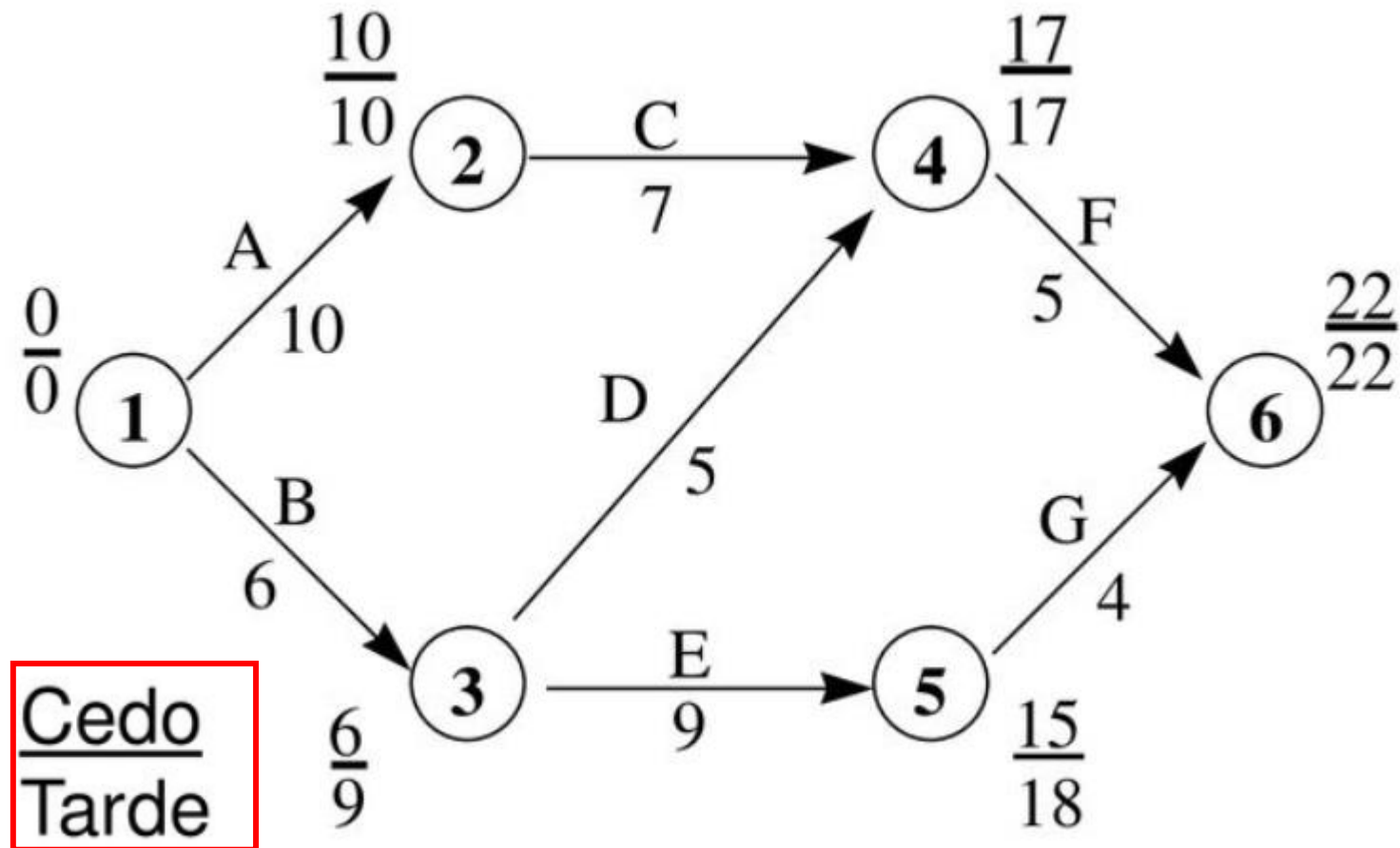
PERT/CPM

- Mais de um caminho crítico podem existir em uma mesma rede.
- As atividades que não fazem parte do caminho crítico apresentam folgas e, um eventual atraso em suas conclusões, desde que não ultrapasse os tempos do caminho crítico, não afetam o tempo total de conclusão do projeto.
- Para identificar a existência ou não de folgas, cálculos da rede PERT/CPM são conduzidos.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

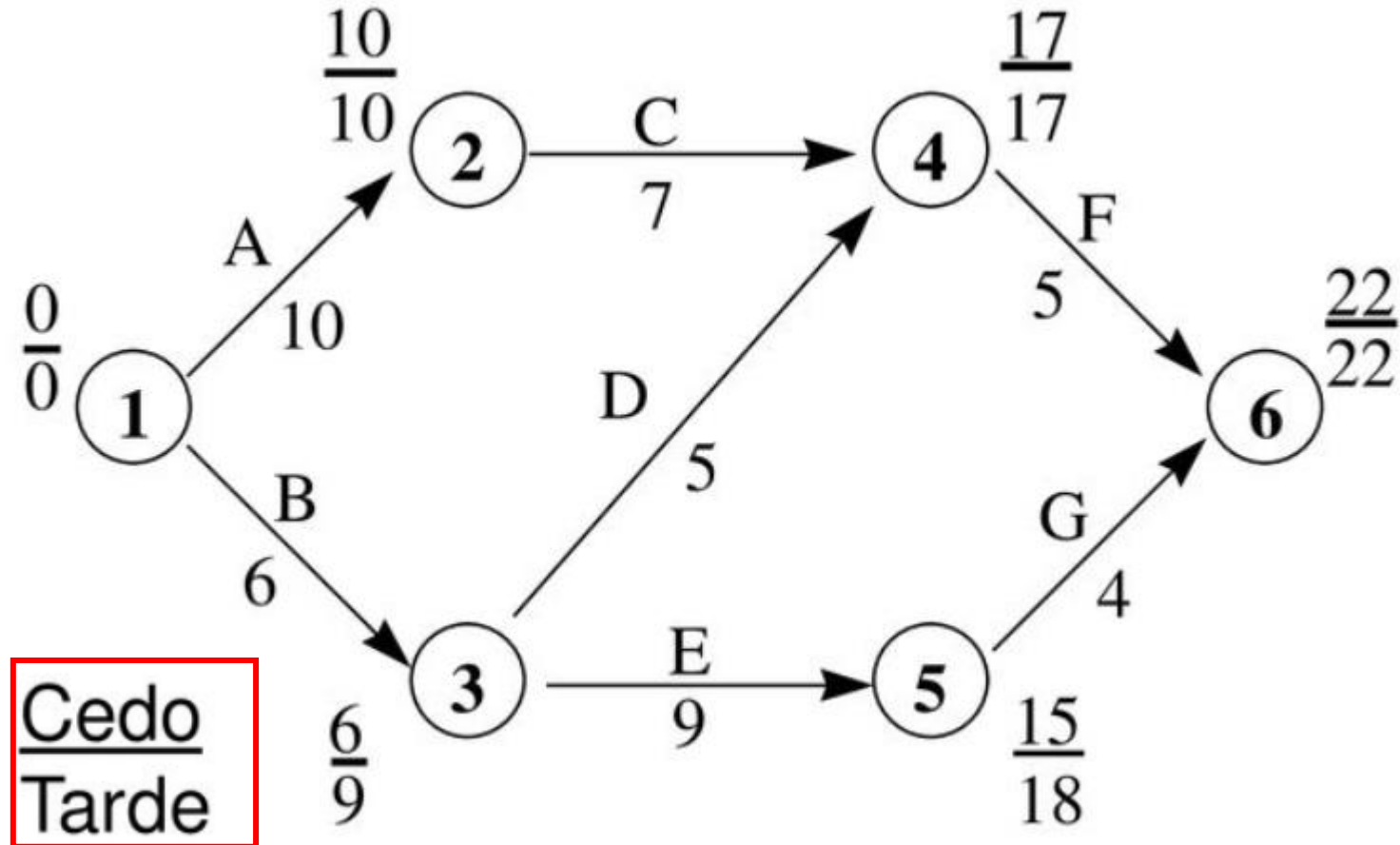
- Para cada nó ou evento de uma rede que representa um projeto podemos calcular dois tempos que definirão os limites no tempo que as atividades que partem deste evento dispõem para serem iniciadas.
 - O *Cedo* de um evento é o tempo necessário para que o evento seja atingido desde que não haja atrasos imprevistos nas atividades antecedentes deste evento.
 - O *Tarde* de um evento é a última data de início das atividades que partem deste evento de forma a não atrasar a conclusão do projeto.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM



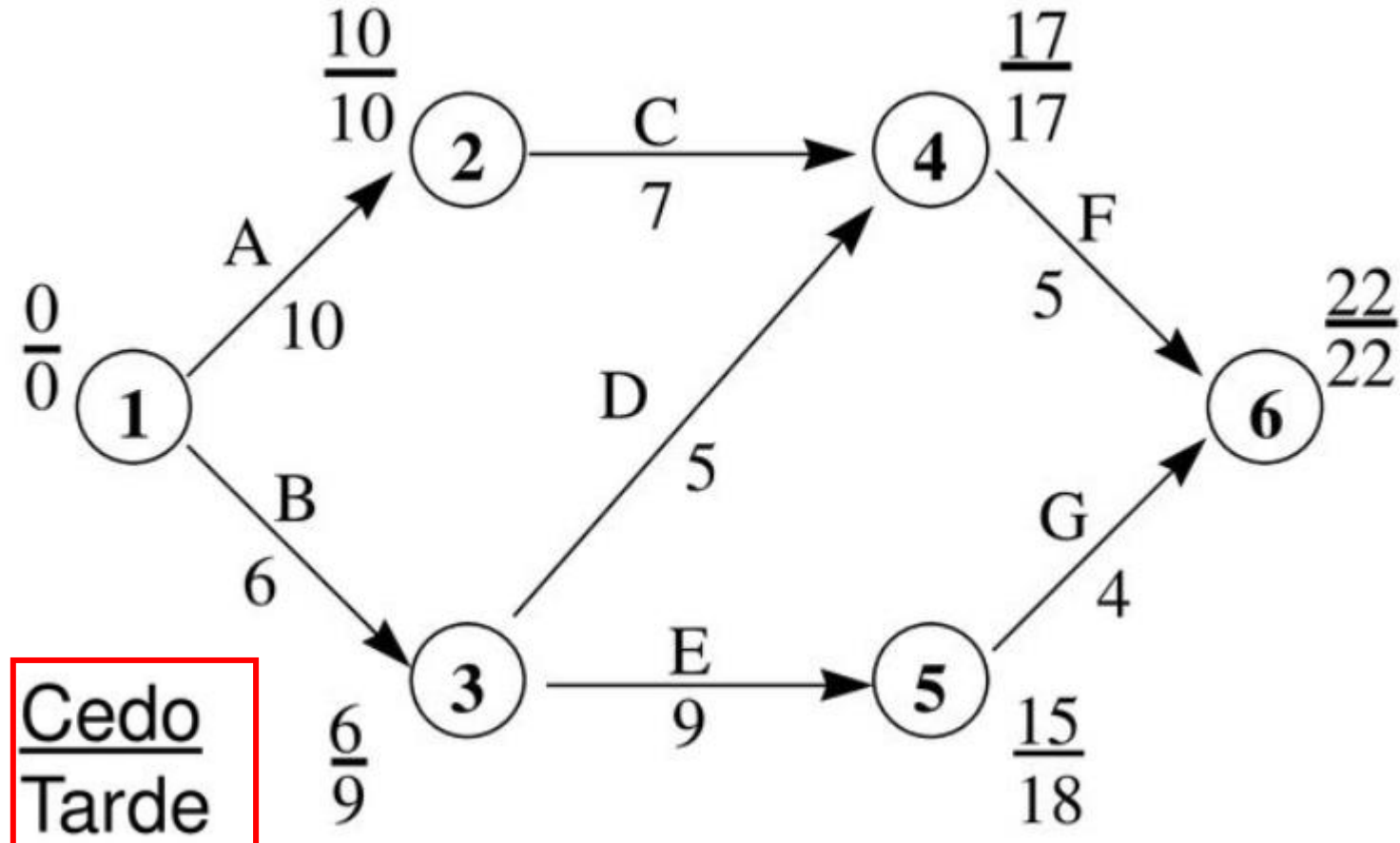
- O 1º nó apresenta Cedo = Tarde.
- Nesse exemplo, o último nó também tem Cedo = Tarde, porque pretende-se terminar o projeto na 1ª oportunidade disponível, sendo que o $\text{Cedo}_{\text{último}} = \text{caminho crítico}$.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM



- O Cedo de um nó é calculado a partir do 1º até o último nó, somando os Cedos anteriores com o tempo da nova atividade.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM



- O Tarde de um nó é calculado a partir do último até o 1º nó, subtraindo os Tardes posteriores do tempo de uma atividade anterior.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- Sob a ótica das atividades, podem ser definidos 4 tempos que se referem às datas de início e término da atividade:
 - Primeira data de início (PDI) - data mais cedo que o projeto pode iniciar, admitindo que as atividades precedentes iniciaram-se nas suas datas previamente;
 - Primeira data de término (PDT) - data mais cedo que uma atividade pode ser concluída;

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- Sob a ótica das atividades, podem ser definidos 4 tempos que se referem às datas de início e término da atividade:
 - Última data de início (UDI) - data mais tarde que uma atividade pode ser iniciada, sem atrasar a conclusão do projeto;
 - Última data de término (UDT) - data mais tarde que uma atividade pode ser concluída, sem atrasar a conclusão do projeto.

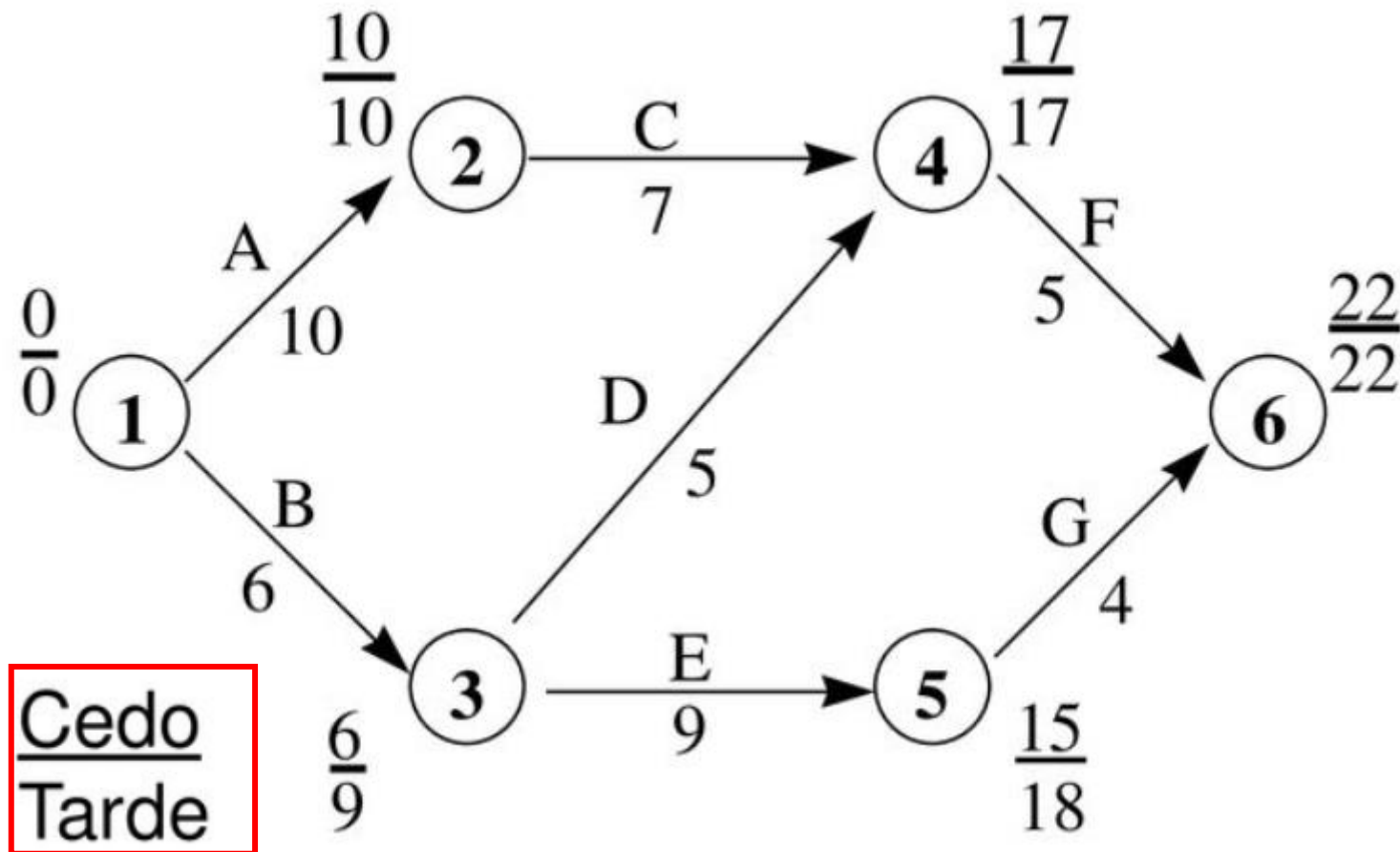
Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- Exemplo para a atividade D:

- $PDI = Cedo_3 = 6$
- $PDT = Cedo_3 + t = 6 + 5 = 11$
- $UDI = Tarde_4 - t = 17 - 5 = 12$
- $UDT = Tarde_4 = 17$

- Podemos ainda calcular o tempo disponível de uma atividade, dado por:

- $TD = UDT - PDI = 17 - 6 = 11 \text{ h}$



Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- Com essas datas podemos calcular as folgas para cada atividade:
 - Folga total ($FT = TD - t$) - atraso máximo sem alterar a data conclusão do projeto;
 - Folga livre ($FL = (Cedo_f - Cedo_i) - t$) - atraso máximo sem alterar a data estabelecida como Cedo do seu evento final;
 - Folga dependente ($FD = (Tarde_f - Tarde_i) - t$) - período para realização da atividade, iniciando-a no Tarde do evento inicial e não ultrapassando o Tarde do evento final;

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- Folga independente ($FI = (Cedo_f - Tarde_i) - t$) - período para realização da atividade, iniciando-a no Tarde do evento inicial e não ultrapassando o Cedo do evento final.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

Ativi.	t (h)	Em horas (h)												
		Cedo		Tarde		PDI	PDT	UDI	UDT	TD	FT	FL	FD	FI
		i	f	i	f									
A	10	0	10	0	10	0	10	0	10	10	0	0	0	0
B	6	0	6	0	9	0	6	0	9	9	3	0	3	0
C	7	10	17	10	17	10	17	10	17	7	0	0	0	0
D	5	6	17	9	17	6	17	9	17	11	6	6	3	3
E	9	6	15	9	18	6	15	9	18	12	3	0	0	-3
F	5	17	22	17	22	17	22	17	22	5	0	0	0	0
G	4	15	22	18	22	15	22	18	22	7	3	3	0	0

Como $FI = (Cedo_f - Tarde_i) - t$, isso indica que se a atividade E for iniciada em $Tarde_i$ o valor de $Cedo_f$ será ultrapassado em 3 h, mas ainda dentro do $Tarde_f$, ou seja, não ocorreria um atraso.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

Ativi.	t (h)	Em horas (h)												
		Cedo		Tarde		PDI	PDT	UDI	UDT	TD	FT	FL	FD	FI
		i	f	i	f									
A	10	0	10	0	10	0	10	0	10	10	0	0	0	0
B	6	0	6	0	9	0	6	0	9	9	3	0	3	0
C	7	10	17	10	17	10	17	10	17	7	0	0	0	0
D	5	6	17	9	17	6	17	9	17	11	6	6	3	3
E	9	6	15	9	18	6	15	9	18	12	3	0	0	-3
F	5	17	22	17	22	17	22	17	22	5	0	0	0	0
G	4	15	22	18	22	15	22	18	22	7	3	3	0	0

Caminho crítico = A-C-F

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- A identificação do caminho crítico é fundamental para o gerenciamento do projeto, pois o PCP pode concentrar seus esforços para que essas atividades tenham prioridade na alocação de recursos.
- As atividades com folga, por sua vez, apresentam margem de manobra. Porém, se uma delas consumir sua folga total, esta resultará em novo caminho crítico que também merecerá atenção.

Cálculo dos tempos da rede PERT/CPM

- Uma análise análoga é conduzida quando $\text{Cedo} > \text{Tarde}$ ou $\text{Cedo} < \text{Tarde}$. Nesse caso, o caminho crítico ocorrerá quando:
 - As folgas forem todas iguais;
 - As folgas forem as menores existentes.

Emissão e liberação de ordens

Emissão e Liberação de Ordens

- A última atividade do PCP antes da produção, consiste na emissão e liberação de ordens de fabricação, montagem e compras (OF, OM e OC, respectivamente).
- Essas ordens permitirão que os diversos setores operacionais da empresa executem suas atividades de forma coordenada para atender um PMP projeto para um dado período.
- Basicamente, as OFs, OMs e OCs contém a especificação do item, o tamanho do lote, a data de início e fim das atividades.
- Nos sistemas repetitivos em lotes e sob encomenda, as OFs e OMs apresentam ainda desenhos e informações técnicas que detalham para os operadores como proceder nas atividades.

Emissão e Liberação de Ordens

- Convencionalmente, as OCs são encaminhadas ao setor de compras, enquanto que as OFs e OMs, antes de liberadas, necessitam ser verificadas quanto a disponibilidade de recursos humanos, materiais e máquinas.
- Essa verificação fica a cargo dos encarregados dos setores, haja vista que seu dimensionamento se deu nos níveis estratégico e tático. Desta forma, considerando que o PCP programou as ordens respeitando a capacidade produtiva projetada, admite que existem máquinas e funcionários treinados para cumprir as ordens emitidas.

Emissão e Liberação de Ordens

- Emitidas e liberadas as ordens, o sistema produtivo passará a etapa de execução do programa, e o PCP iniciará suas atividades de acompanhamento e controle da produção.

Referências

- [1] Tubino, D.F. Planejamento e controle da produção: teoria e prática, 1ª edição, Atlas, 2007.
- [2] Tubino, D.F. Manual de Planejamento e Controle da Produção. 2 ed. Atlas, 2000.
- [3] Fernando Deschamps. Notas de aula. UFPR. 2018

Dúvidas?