

Planejamento e Controle de Estoque

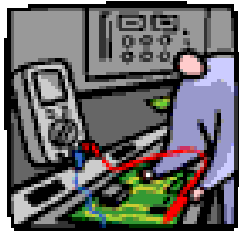
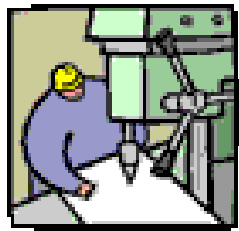
Depto. de Engenharia de Produção
Escola Politécnica da USP
Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

2023

Cadeia de produção e distribuição de bens

Fornecimento de produtos

Demanda de produtos



*Recursos de
Produção*

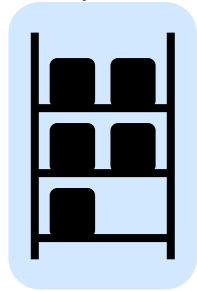
*Consumidores
da operação
produtiva*

Ritmo de
fornecimento

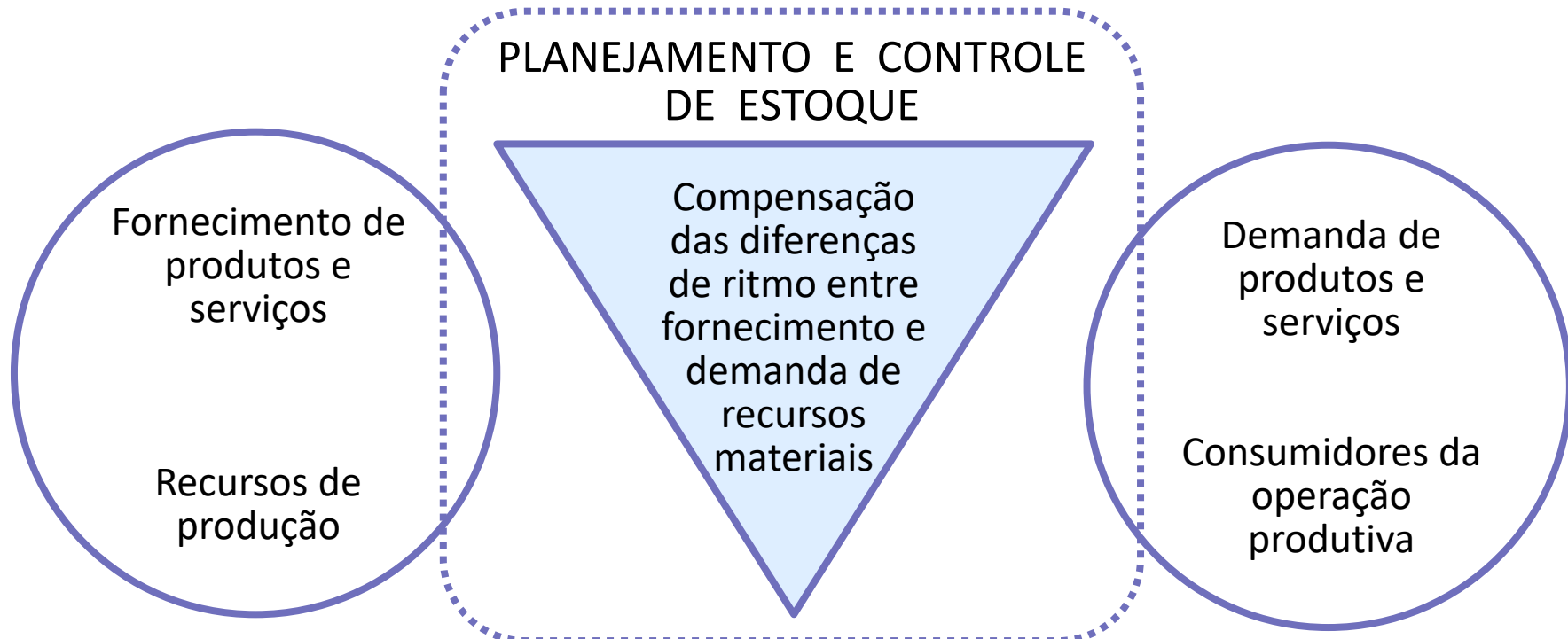
Ritmo da
demanda

Definição de Planejamento e Controle de Estoque

Estoque de itens comprados



Estoque de produto acabado



Fonte: Adaptada da Fig. 12.1 de Nigel Slack et al. (1999) Administração da produção - Edição compacta.

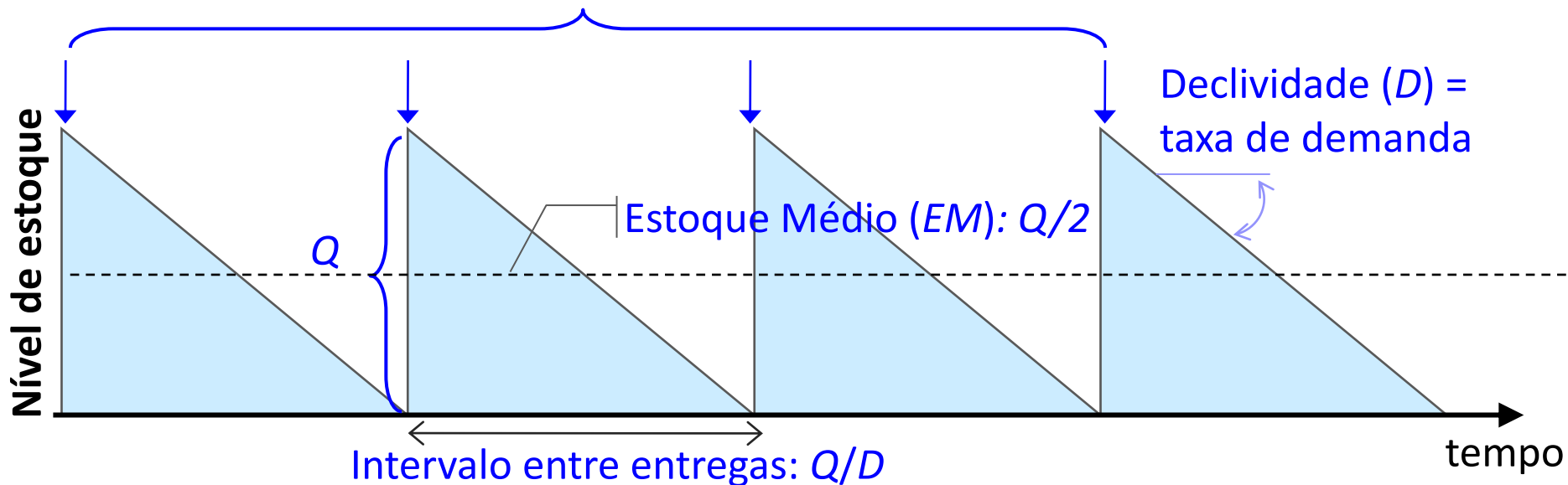
Perfil de Estoque

Representação visual do nível de estoque ao longo do tempo

Premissas do modelo simplificado do Gráfico “Dente de Serra”:

- Demanda é previsível e constante no tempo: D unidades/período
- Tempo para reabastecimento desprezível: atendimento “imediatos”
- Reabastecimentos em lotes de tamanho fixo: Q

Frequência de entregas: D/Q por período



Perfil de Estoque

Representação visual do nível de estoque ao longo do tempo

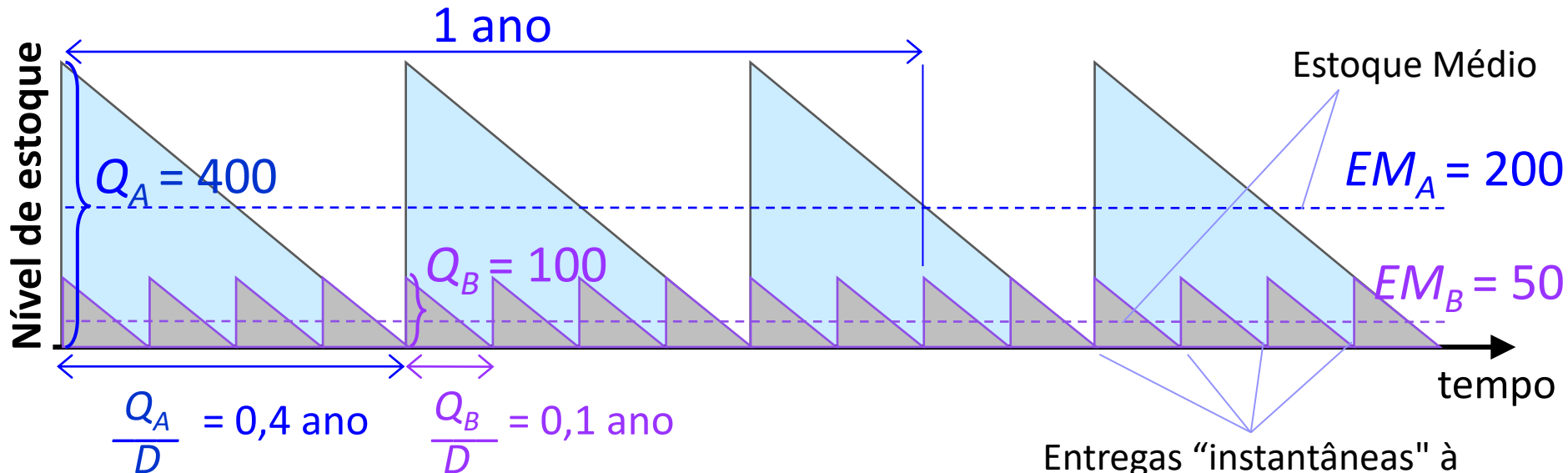
Comparação de 2 políticas de estoque para atender a demanda D

Política A: $Q_A = 400$ unid.

Política B: $Q_B = 100$ unid. (reposição em lotes menores)

Qual é a melhor política?

Demanda (D) = 1.000 unid. por ano



Custos relacionados a estoques

$$\text{Custo Total (CT) de Estoque} = \text{Custo de Manutenção de Estoque (C}_e\text{)} + \text{Custo de Pedidos (C}_p\text{)}$$

Custo de Manutenção de Estoque (C_e) depende de:

- Custo do capital empatado (juros ou custo de oportunidade sobre o capital de giro requerido para manter os estoques)
- Custo de armazenagem (inclui espaço físico, climatização, iluminação, equipamentos e mão de obra, segurança, controle)
- Custo de obsolescência (ou de deterioração)

Custo de Pedidos (C_p) depende de:

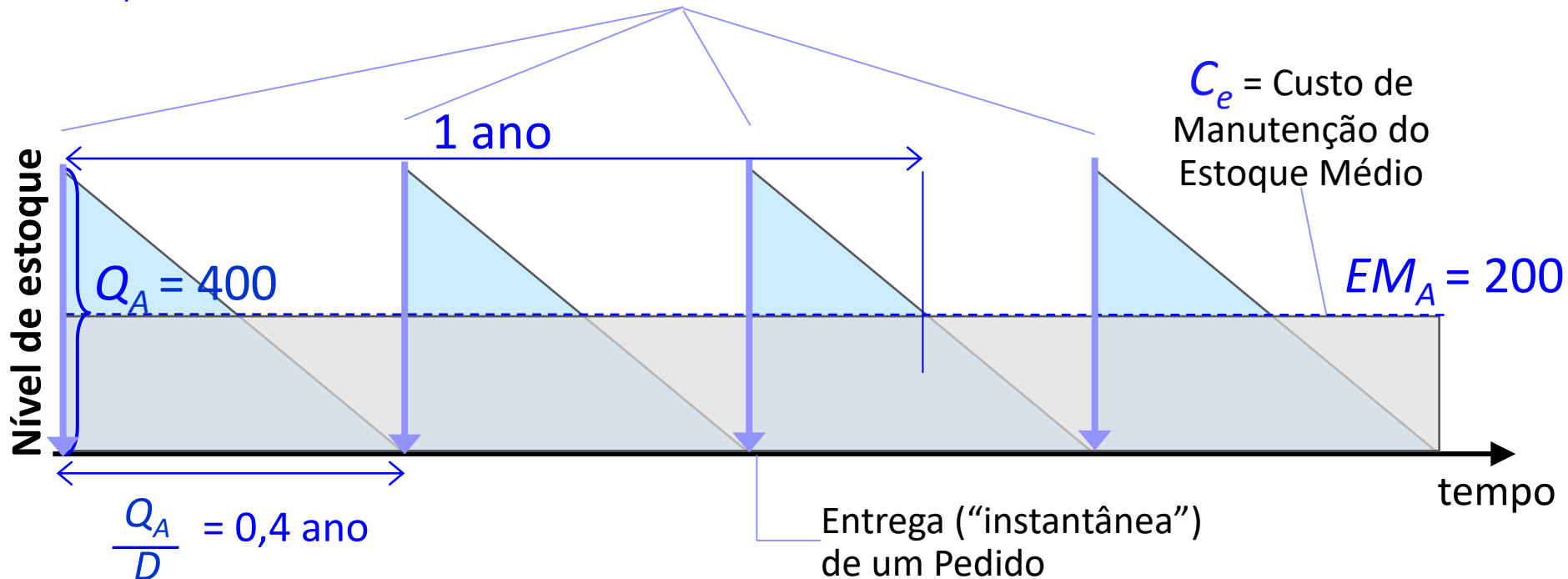
- Custo de colocação do pedido (inclui transações administrativas, emissão de documentação, custo de transporte se for o caso)
- Desconto no preço (ex. desconto sobre o preço normal para compra em grande quantidade)

Perfil de Estoque

Representação visual do nível de estoque ao longo do tempo

Custos da **Política A** para atender uma Demanda (D) de 1.000 unid. por ano produzindo em lotes de tamanho $Q_A = 400$ unid.

C_p = Custo de Preparação/Entrega de Pedidos em intervalos de tempo de Q_A/D



Decisões na Gestão de Estoques

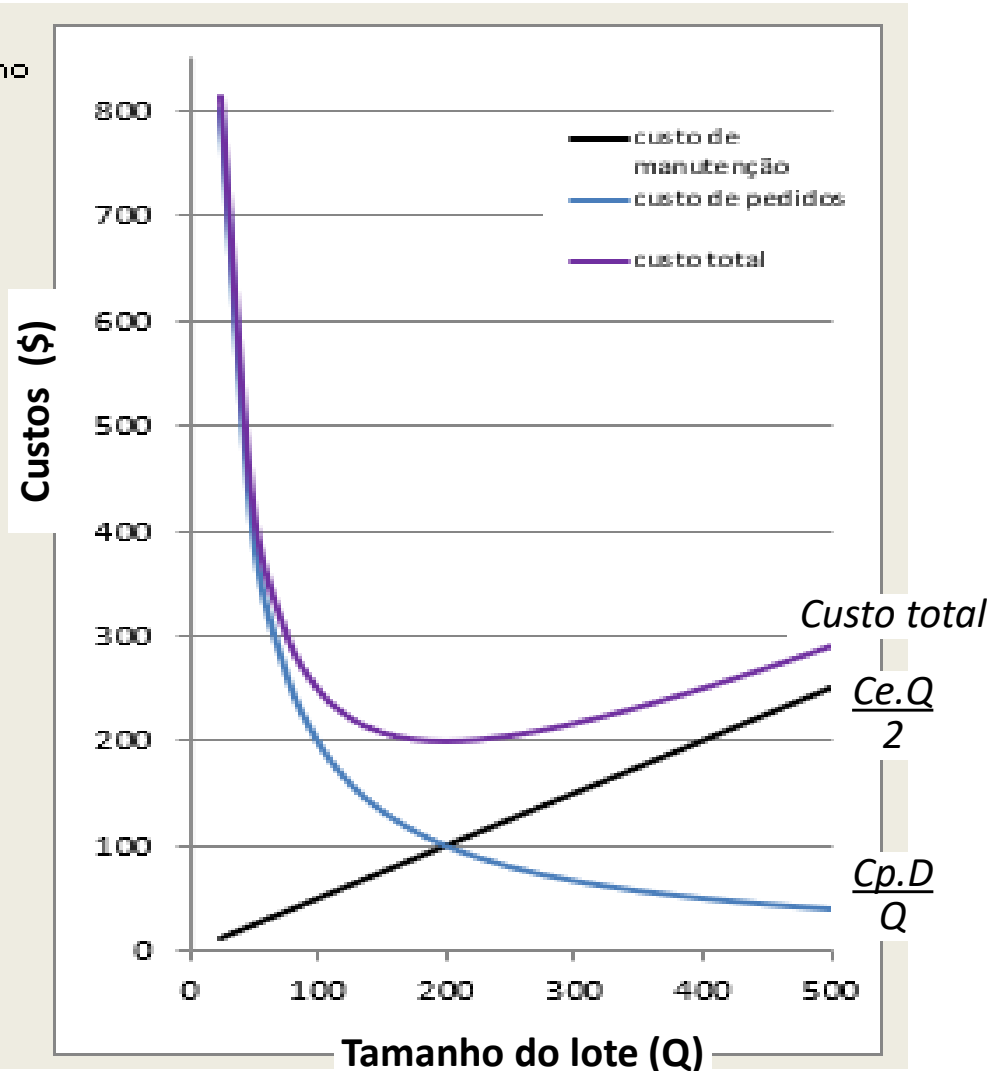
- ▶ Decisão de Volume de Ressuprimento:
Quanto Pedir?
- ▶ Decisão de Momento de Reposição:
Quando Pedir?
- ▶ Decisão quanto ao Modo de Controle:
Que procedimentos implantar?
Como atribuir prioridades?

Lote Econômico de Compra (LEC)

Variação dos custos em função do tamanho do lote de reposição

Exemplo: $D = 1.000$ unid./ano
 $C_e = \$1$ por unid./ano
 $C_p = \$20$ por pedido

tamanho do lote	custo de manutenção	custo de pedidos	custo total
Q	$C_e \cdot Q/2$	$C_p \cdot (D/Q)$	C_t
25	12,5	800,0	812,5
50	25,0	400,0	425,0
75	37,5	266,7	304,2
100	50,0	200,0	250,0
125	62,5	160,0	222,5
150	75,0	133,3	208,3
175	87,5	114,3	201,8
200	100,0	100,0	200,0
225	112,5	88,9	201,4
250	125,0	80,0	205,0
275	137,5	72,7	210,2
300	150,0	66,7	216,7
325	162,5	61,5	224,0
350	175,0	57,1	232,1
375	187,5	53,3	240,8
400	200,0	50,0	250,0
425	212,5	47,1	259,6
450	225,0	44,4	269,4
475	237,5	42,1	279,6
500	250,0	40,0	290,0

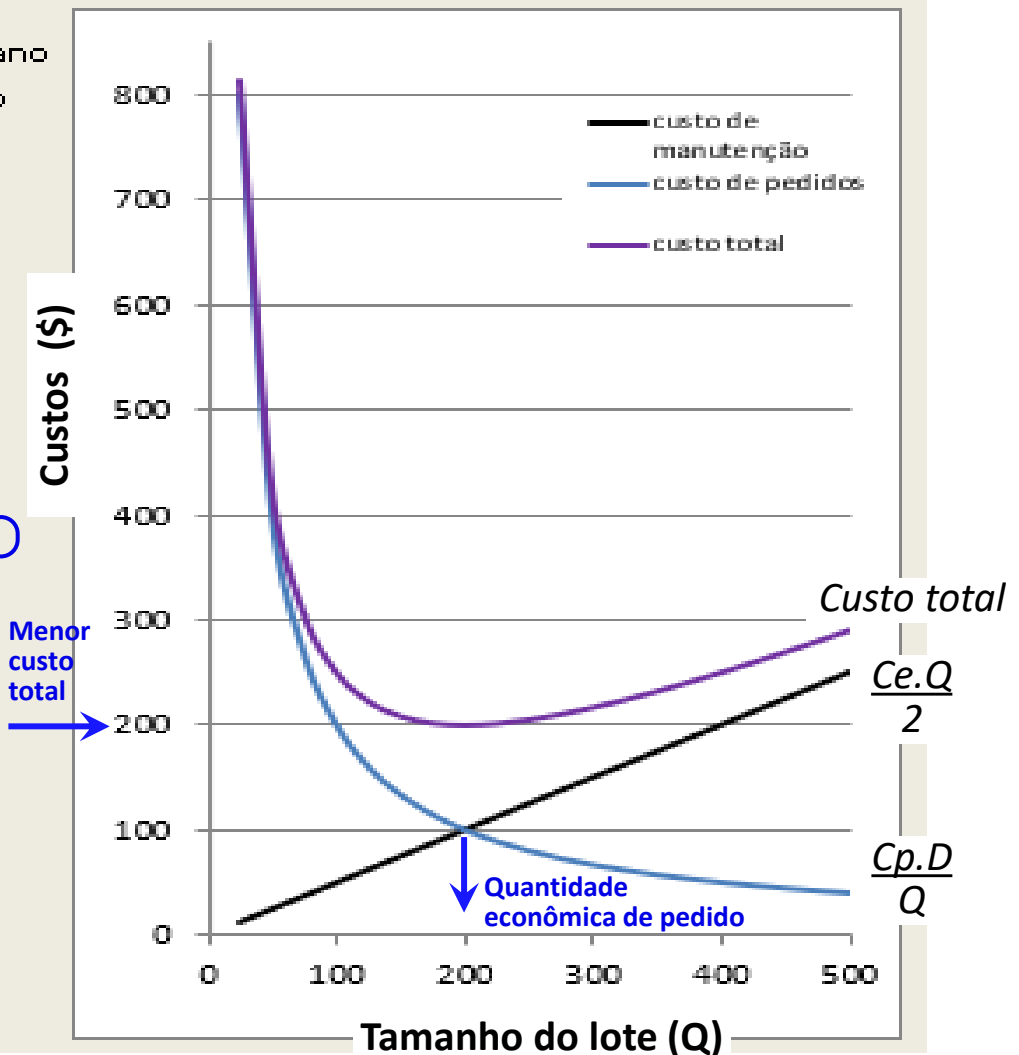


Lote Econômico de Compra (LEC)

Variação dos custos em função do tamanho do lote de reposição

Exemplo: $D = 1.000$ unid./ano
 $C_e = \$1$ por unid./ano
 $C_p = \$20$ por pedido

tamanho do lote	custo de manutenção	custo de pedidos	custo total
Q	$C_e \cdot Q/2$	$C_p \cdot (D/Q)$	C_t
25	12,5	800,0	812,5
50	25,0	400,0	425,0
75	37,5	266,7	304,2
100	50,0	200,0	250,0
125	62,5	160,0	222,5
150	75,0	133,3	208,3
175	87,5	114,3	201,8
200	100,0	100,0	200,0
225	112,5	88,9	201,4
250	125,0	80,0	205,0
275	137,5	72,7	210,2
300	150,0	66,7	216,7
325	162,5	61,5	224,0
350	175,0	57,1	232,1
375	187,5	53,3	240,8
400	200,0	50,0	250,0
425	212,5	47,1	259,6
450	225,0	44,4	269,4
475	237,5	42,1	279,6
500	250,0	40,0	290,0



Fonte: Adaptada da Tab. 12.3 e Fig. 12.7 de Nigel Slack et al. (1999)
 Administração da produção - Edição compacta.

Lote Econômico de Compra (LEC)

Variação dos custos em função do tamanho do lote de reposição

No exemplo, a melhor política de estoque não é nem o Plano A, nem o Plano B.

A política que minimiza o custo total de estoque é definida conforme segue:

C_e = Custo unitário de estocagem [em \$/unidade num dado período de tempo]

C_p = Custo de pedido [em \$ por pedido]

D = Demanda [em unidades num dado período de tempo]

LE = Tamanho do lote econômico (o de menor custo total)

Então temos que:

CT = Custo Total de Estoque = Custo de Manutenção de Estoque + Custo de Pedidos

$$CT = \frac{C_e \cdot Q}{2} + \frac{C_p \cdot D}{Q}$$

A variação dos custos totais é dada pela derivada de C_t conforme segue:

$$\frac{dCT}{dQ} = \frac{C_e}{2} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2}$$

No **ponto de mínimo custo** tem-se que $\frac{dCT}{dQ} = 0$ donde se tem que: $0 = \frac{C_e}{2} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2}$ (1)

Lote Econômico de Compra (LEC)

Fórmula do Lote Econômico de compra

No ponto onde

$$0 = \frac{C_e}{2} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2} \quad (1)$$

Rearranjando a equação 1 e lembrando que $Q = LE$ resulta que:

$$\frac{C_e}{2} = \frac{C_p \cdot D}{Q^2} \rightarrow LE = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_e}}$$

Se o item é comprado, este tamanho de lote (Q) pode ser chamado de **Lote Econômico de Compra** (LEC).

Quando o estoque é controlado usando o LEC temos que:

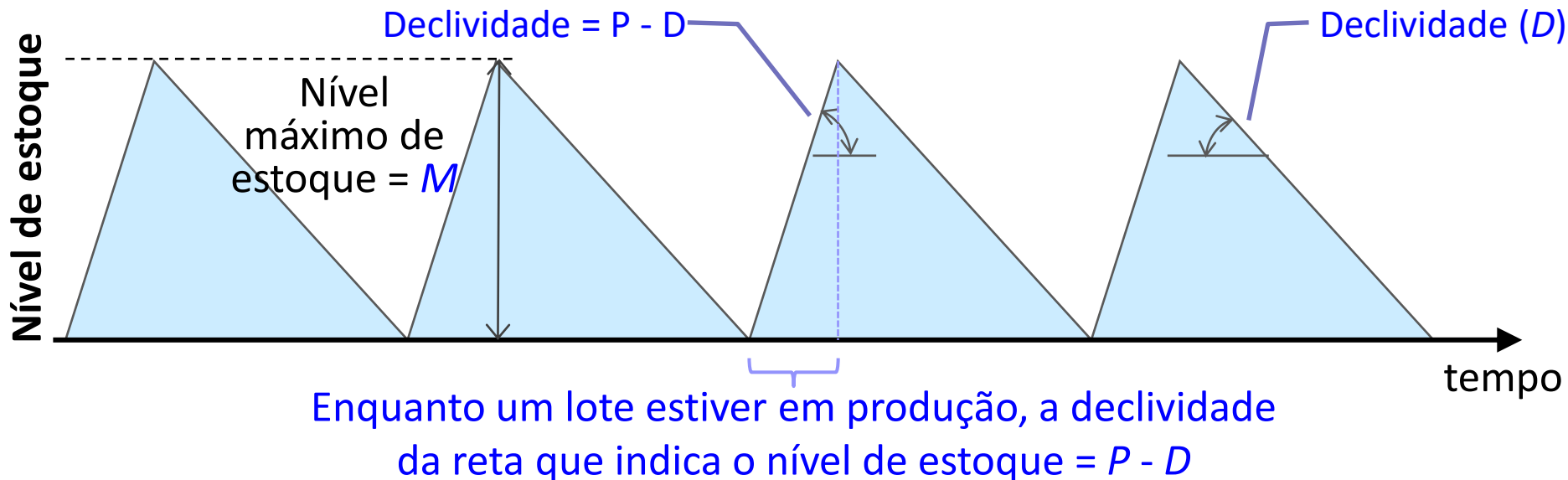
$$\text{Tempo entre pedidos} = \frac{LEC}{D}$$

$$\text{Frequência de pedidos} = \frac{D}{LEC} \text{ no período de tempo considerado.}$$

Lote Econômico de Produção (LEP)

Representação visual do nível de estoque ao longo do tempo com reabastecimento gradual

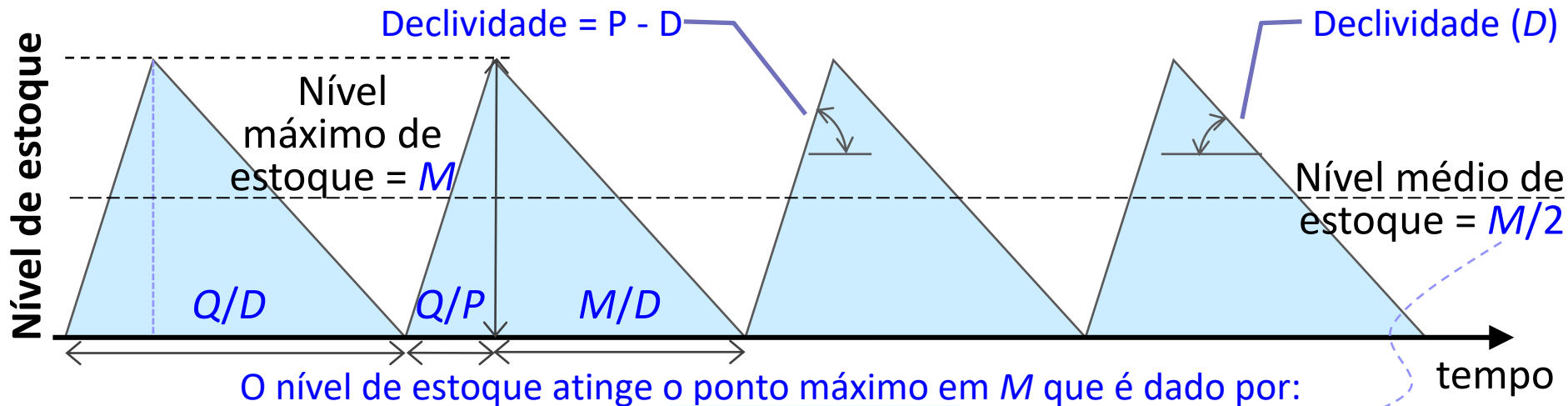
- Demanda é previsível e constante no tempo: D unidades/período
- Reabastecimentos em lotes de tamanho fixo: Q
- Taxa de produção: P unidades/período ($P > D$)



Lote Econômico de Produção (LEP)

Representação visual do nível de estoque ao longo do tempo com reabastecimento gradual

- Demanda é previsível e constante no tempo: D unidades/período
- Reabastecimentos em lotes de tamanho fixo: Q
- Taxa de produção: P unidades/período ($P > D$)



Estoque ao final da produção de um lote:
Tempo para a produção de um lote:

$$\frac{M}{Q/P} = \frac{M \cdot P}{Q} = P - D \rightarrow M = \frac{Q \cdot (P - D)}{P}$$

Então: $\frac{M}{2} = \frac{Q \cdot (P - D)}{2 \cdot P}$

Lote Econômico de Produção (LEP)

Dimensionamento do Lote Econômico quando o reabastecimento é gradual

Esta situação pode ocorrer na reposição do estoque de um item que é produzido internamente numa fábrica e que quando produzido é transferido de forma contínua pelo recurso (máquina) que o produz à etapa cliente. Neste caso, considerando os dados abaixo:

- C_e = Custo unitário de estocagem [em \$/unid num dado período de tempo]
- C_p = Custo de pedido ou Custo de preparação [em \$ por pedido ou por preparação]
- D = Demanda [em unidades num dado período de tempo]
- P = Taxa de produção
- LE = Tamanho do lote econômico (o de menor custo total)

Temos que:

CT = Custo Total de Estoque = Custo de Manutenção de Estoque + Custo de Pedidos

$$CT = C_e \cdot \frac{Q \cdot (P - D)}{2 \cdot P} + \frac{C_p \cdot D}{Q}$$

A variação dos custos totais é dada pela derivada de C_t conforme segue:

$$\frac{dCT}{dQ} = C_e \cdot \frac{(P - D)}{2 \cdot P} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2}$$

No **ponto de mínimo custo** tem-se que $\frac{dCT}{dQ} = 0$ donde se tem que: $0 = C_e \cdot \frac{(P - D)}{2 \cdot P} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2}$ (2)

Lote Econômico de Produção (LEP)

Dimensionamento do Lote Econômico quando o reabastecimento é gradual

No ponto onde

$$0 = C_e \cdot \frac{(P - D)}{2 \cdot P} - \frac{C_p \cdot D}{Q^2} \quad (2)$$

Rearranjando a equação 2, resulta que:

$$C_e \cdot \frac{(P - D)}{2 \cdot P} = \frac{C_p \cdot D}{Q^2}$$

$$Q^2 = \frac{2 \cdot P \cdot C_p \cdot D}{C_e \cdot (P - D)} = \frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_e \cdot (1 - D/P)}$$

$$Q = LE = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_e \cdot (1 - D/P)}}$$

Sendo o item produzido internamente, este tamanho de lote (Q) pode ser chamado de **Lote Econômico de Produção** (**LEP**)

Decisões na Gestão de Estoques

- ▶ Decisão de Volume de Ressuprimento:
Quanto Pedir?
- ▶ Decisão de Momento de Reposição:
Quando Pedir?
- ▶ Decisão quanto ao Modo de Controle:
Que procedimentos implantar?
Como atribuir prioridades?

Quando colocar um pedido

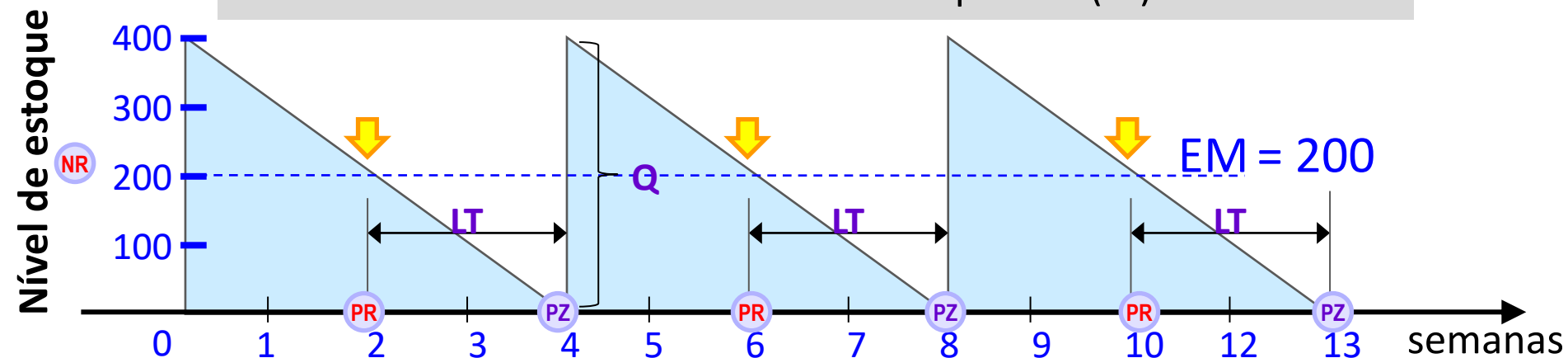
Se os pedidos não chegam “instantaneamente” precisamos determinar o momento do pedido de reabastecimento. A figura abaixo indica 2 formas alternativas de identificar este momento:

➤ o **Ponto de Ressuprimento (ou Reposição) (PR)** é o ponto no qual o estoque se esgota (**PZ**) menos o *lead time* (**LT**) de entrega do pedido.

ou

➤ O **Nível de Ressuprimento (ou Reposição) (NR)** é o ponto em termos de nível de estoque que quando atingido, deve disparar um pedido de ressuprimento

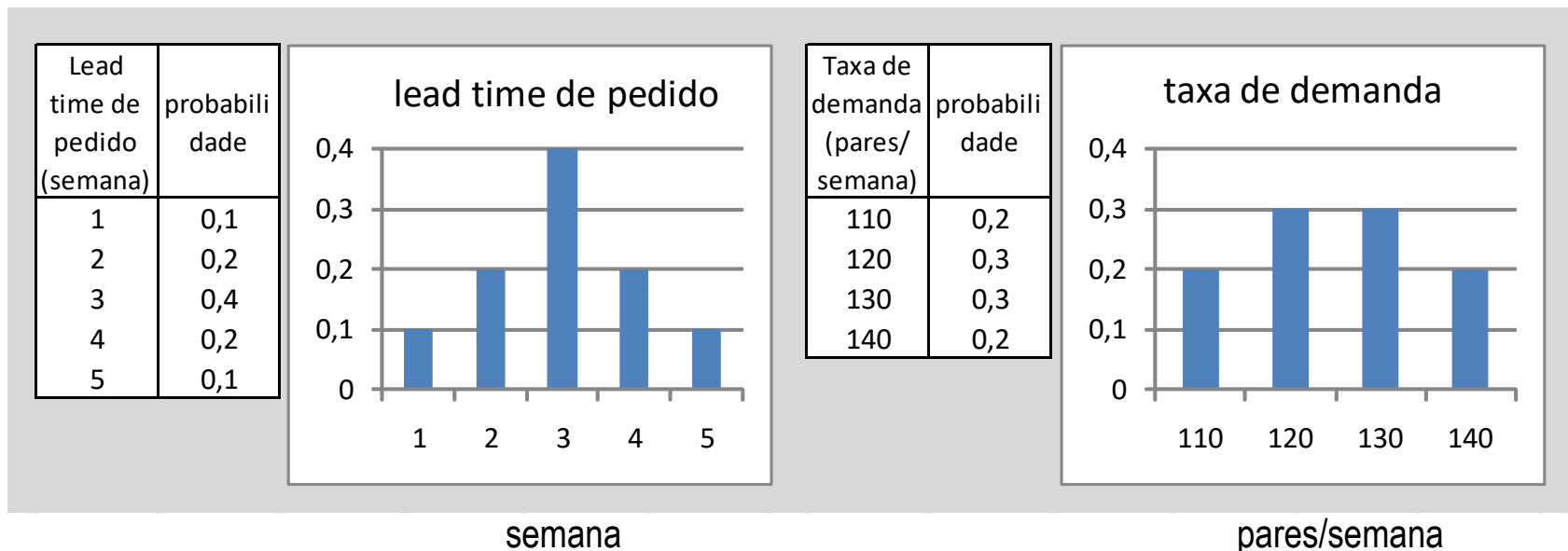
Exemplo: **NR** e **PR** para Demanda = 100 unid. por semana
 Tamanho do lote (Q) = 400 unid.
Lead Time de pedido (LT) = 2 semanas



Quando colocar um pedido

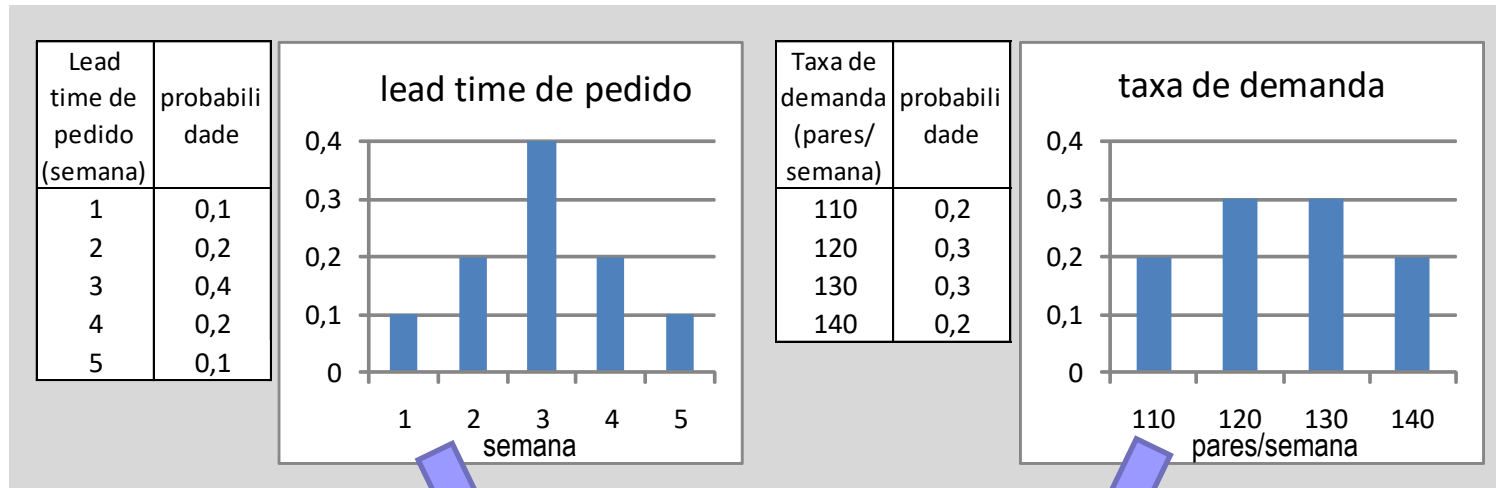
No caso de tanto a demanda como o *lead time* estarem sujeitos à variação

Exemplo: Para uma empresa importadora de tênis de corrida para venda em lojas de artigos para esporte, o *lead time* (LT) e a taxa de demanda (D) variam conforme as seguintes distribuições de probabilidade. Pergunta-se, quando a empresa deve colocar pedido de ressuprimento (**NR=?**) para que a probabilidade de falta de estoque seja menor que $p=10\%$



Quando colocar um pedido

No caso de tanto a demanda como o *lead time* estarem sujeitos à variação



		probabilidades de lead time					semanas
		1	2	3	4	5	
probabilidades da taxa de demanda	110	0,2	110	220	330	440	550
		0,02	0,04	0,08	0,04	0,02	
	120	0,3	120	240	360	480	600
		0,03	0,06	0,12	0,06	0,03	
130	0,3	130	260	390	520	650	
	0,03	0,06	0,12	0,06	0,03		
140	0,2	140	280	420	560	700	
	0,02	0,04	0,08	0,04	0,02		

Quantidade de pares de tênis demandados durante o período do *lead time* para atendimento do pedido de ressurgimento

Ex. 3 semanas x 140 pares/semana = 420 pares
 Probabilidade desta combinação = 0,4 x 0,2 = 0,08

Quando colocar um pedido

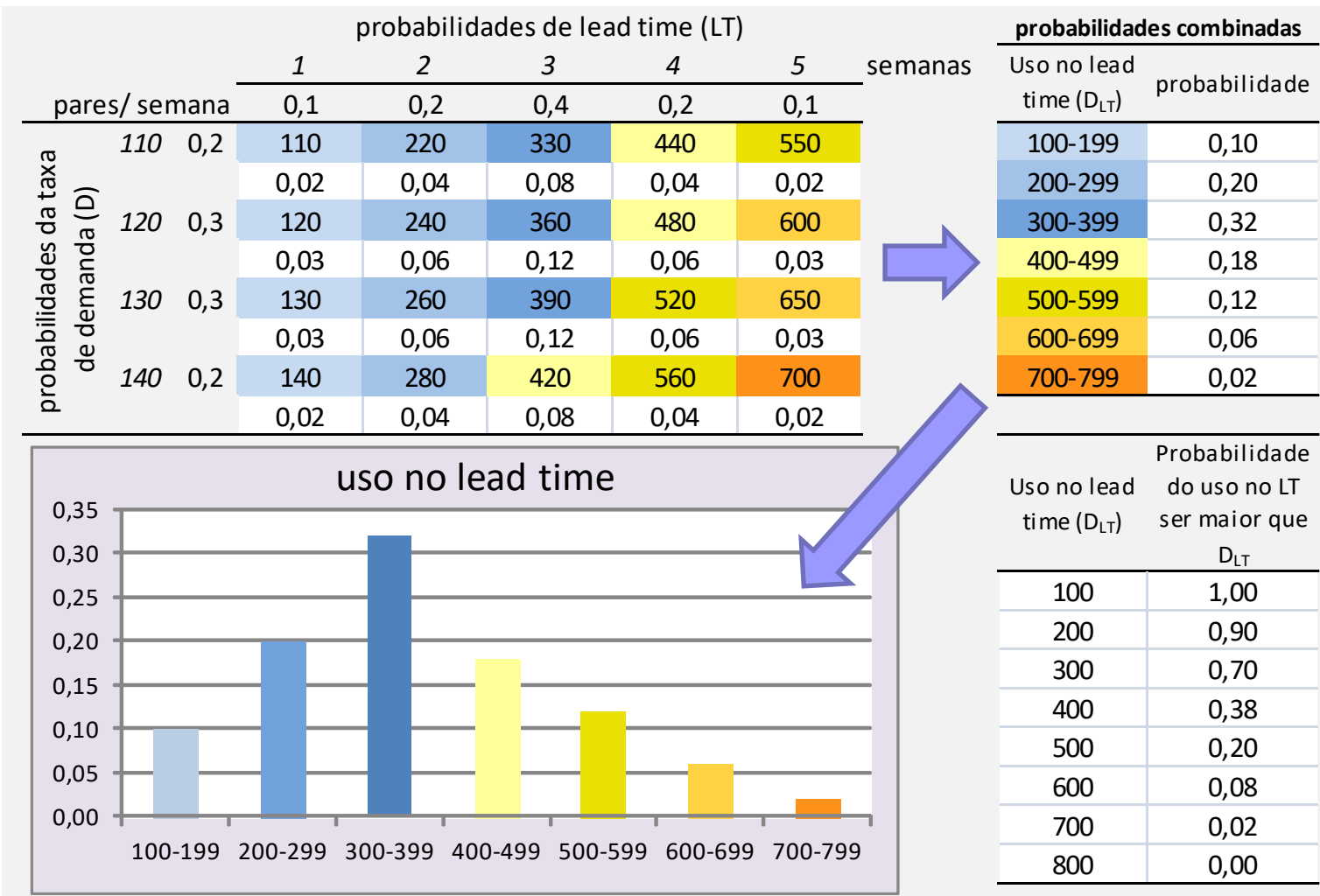
No caso da demanda e do *lead time* estarem sujeitos à variação

		probabilidades de lead time (LT)					semanas	probabilidades combinadas	
		1	2	3	4	5		Uso no lead time (D_{LT})	probabilidade
probabilidades da taxa de demanda (D)	pares/ semana	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1		100-199	
	110 0,2	110	220	330	440	550		200-299	
		0,02	0,04	0,08	0,04	0,02		300-399	
	120 0,3	120	240	360	480	600		400-499	?
		0,03	0,06	0,12	0,06	0,03		500-599	
	130 0,3	130	260	390	520	650		600-699	
		0,03	0,06	0,12	0,06	0,03		700-799	
	140 0,2	140	280	420	560	700			
		0,02	0,04	0,08	0,04	0,02			

Como é a distribuição de probabilidades da demanda/uso de pares de tênis de corrida durante o intervalo de tempo para entrega do pedido?

Quando colocar um pedido

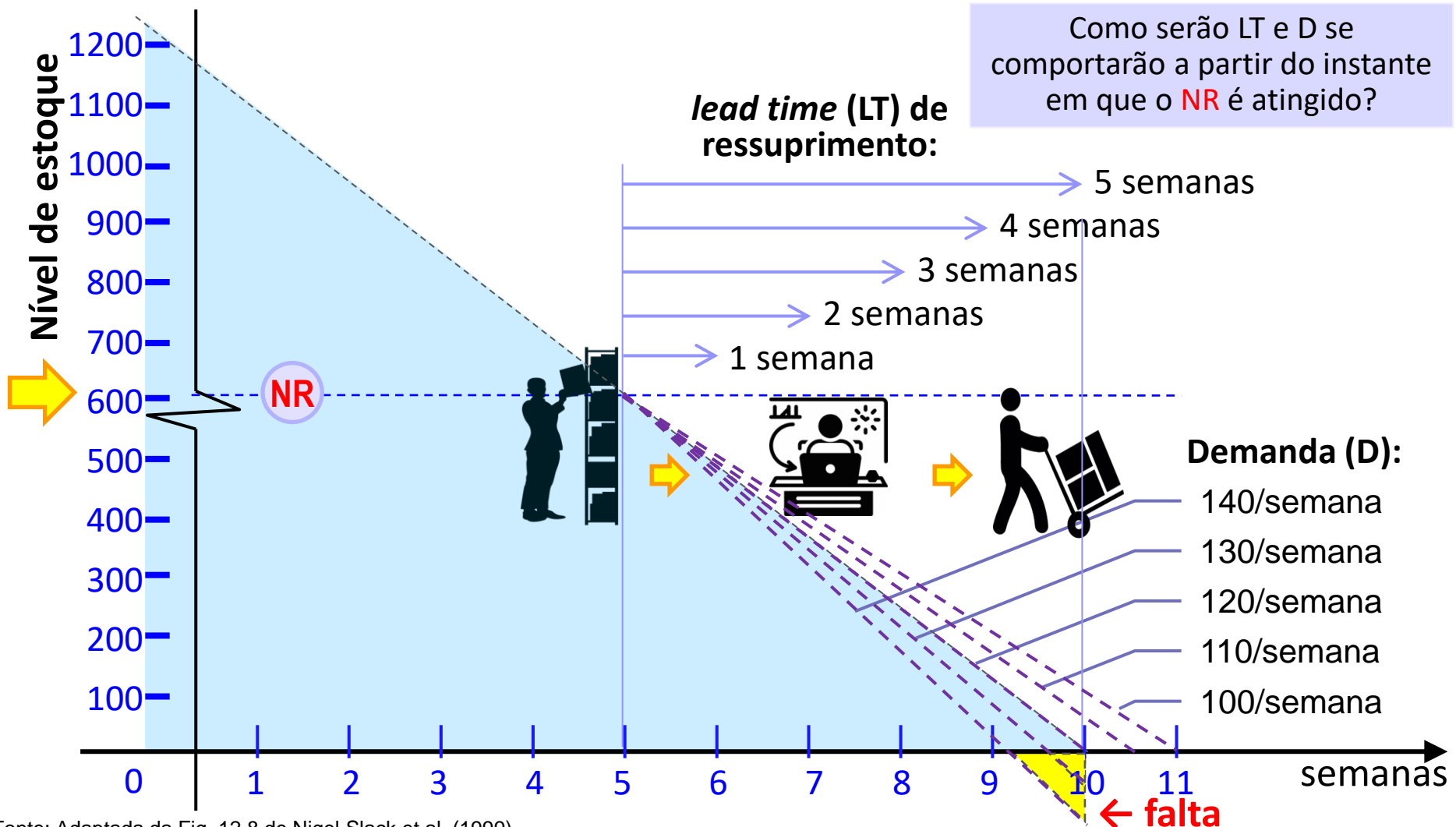
No caso da demanda e do *lead time* estarem sujeitos à variação



Fonte: Adaptada da Fig. 12.10, Tab. 12.4, Tab. 12.5 e Tab. 12.6 de Nigel Slack et al. (1999)
 Administração da produção - Edição compacta.

Quando colocar um pedido

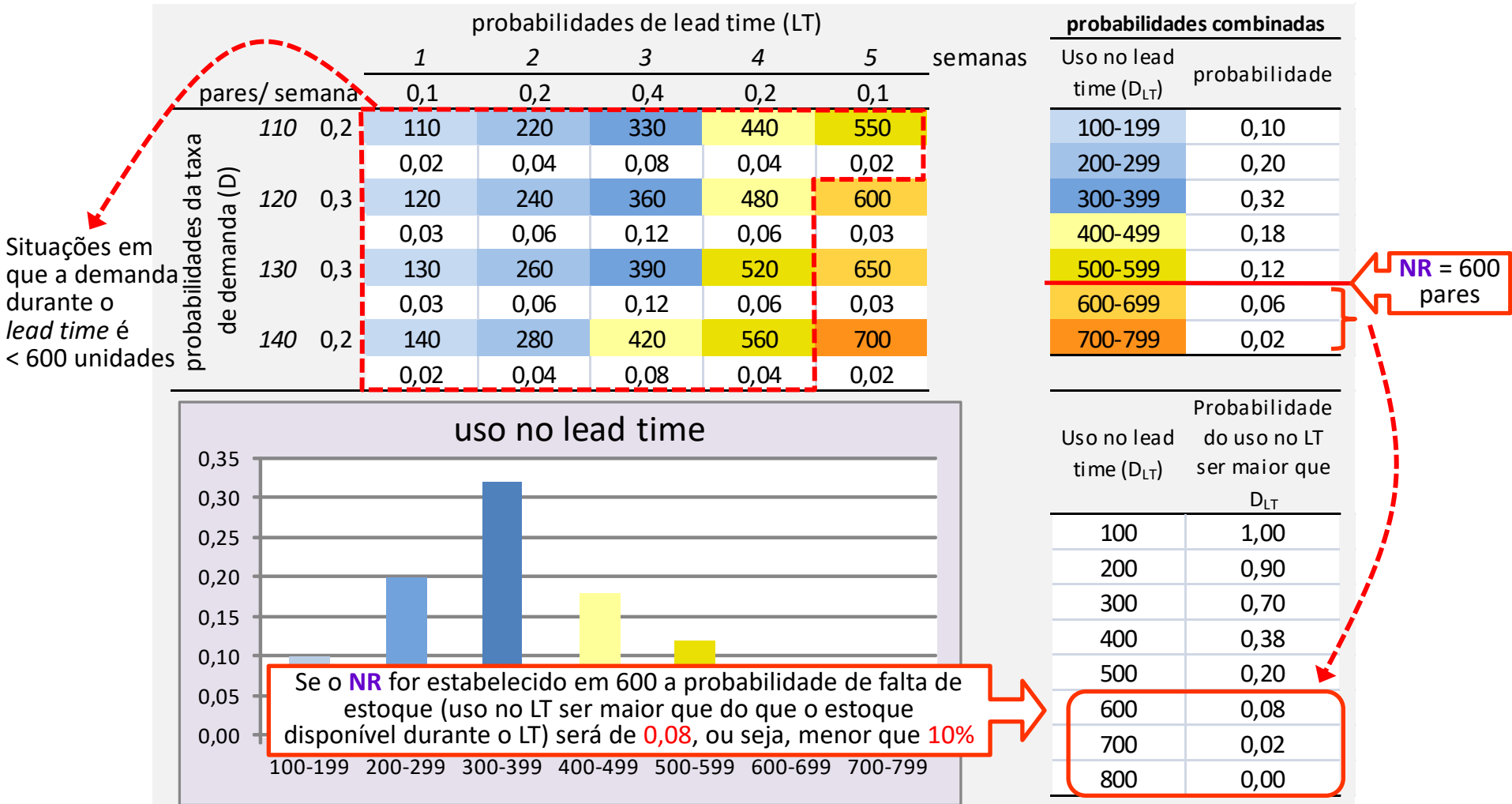
No caso da demanda e do *lead time* estarem sujeitos à variação



Como serão LT e D se comportarão a partir do instante em que o NR é atingido?

Quando colocar um pedido

No caso da demanda e do *lead time* estarem sujeitos à variação



Decisões na Gestão de Estoques

- ▶ Decisão de Volume de Ressuprimento:
Quanto Pedir?
- ▶ Decisão de Momento de Reposição:
Quando Pedir?
- ▶ Decisão quanto ao Modo de Controle:
Que procedimentos implantar?
Como atribuir prioridades?

Prioridades de estoque

Exemplo: Classificação de **20 itens** de estoque de um atacadista em ordem decrescente de valor de uso

Tabela 12.7 Itens de armazém classificados pelo valor de uso.

Item de estoque	Uso (itens/ano)	Custo (£/item)	Valor de uso (£/ano) (£000s)	% do valor total	% cumulativa do valor total
A/703	700	20,00	1.400	25,14	25,14
D/012	450	2,75	1.238	22,23	47,37
A/135	1.000	0,90	900	16,16	63,53
C/732	95	8,50	808	14,51	78,04
C/735	520	0,54	281	5,05	83,09
A/500	73	2,30	168	3,02	86,11
D/111	520	0,22	114	2,05	88,16
D/231	170	0,65	111	1,99	90,15
E/781	250	0,34	85	1,53	91,68
A/138	250	0,30	75	1,34	93,02
D/175	400	0,14	56	1,01	94,03
E/001	80	0,63	50	0,89	94,92
C/150	230	0,21	48	0,86	95,78
F/030	400	0,12	48	0,86	96,64
D/703	500	0,09	45	0,81	97,45
D/535	50	0,88	44	0,79	98,24
C/541	70	0,57	40	0,71	98,95
A/260	50	0,64	32	0,57	99,52
B/141	50	0,32	16	0,28	99,80
D/021	20	0,50	10	0,20	100,00
Total			5.569	100,00	

Classe A

4/20=20%
do nº total de itens

Classe B

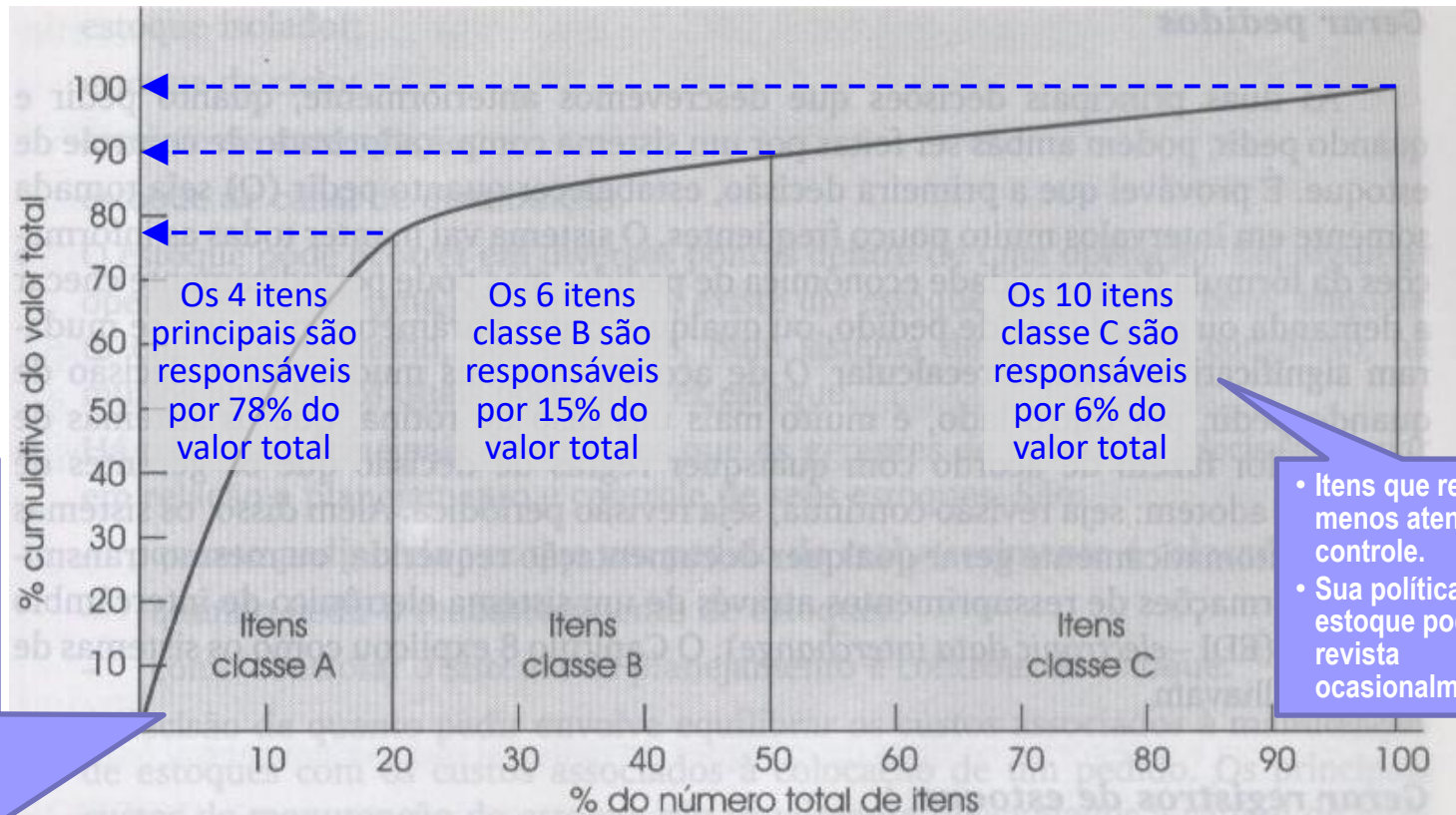
6/20=30%
do nº total de itens

Classe C

10/20=50%
do nº total de itens

Priorização pelo Sistema ABC

Exemplo: Classificação de 20 itens de estoque de um atacadista em itens classe A, B e C.



- Itens que merecem maior atenção e controle.
- Seu consumo e seus pedidos precisam ser monitorados de perto.
- Aprimoramento de seu controle pode trazer grandes economias.

- Itens que requerem menos atenção e controle.
- Sua política de estoque pode ser revista ocasionalmente.

Figura 12.12 Curva de Pareto para itens em estoque.

Apêndice:

Probabilidade de eventos simultâneos

O cálculo da probabilidade de eventos simultâneos determina a chance de dois eventos (ex. evento A e evento B) ocorrerem simultaneamente ou sucessivamente. A fórmula para o cálculo dessa probabilidade decorre da fórmula da probabilidade condicional abaixo:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B)$$

Se os eventos A e B forem independentes, o fato de ocorrer um deles não afeta a probabilidade de ocorrência do outro e temos que:

$$P(A|B) = P(A) \text{ e } P(B|A) = P(B)$$

Então:

$$A \text{ e } B \text{ independentes} \Leftrightarrow P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$