

“Quantidade Económica de Alienação de Sobras de Artigos em Armazém”

Rui Assis

Engenheiro Mecânico – IST

rassis@netcabo.pt

Julho/2000

Resumo - Um artigo mantido em armazém, sob a forma de bobina, varão, barra, tubo, ou outro perfil de secção constante, é, em muitos casos, aviado em pequenas fracções das peças existentes. Para estes artigos verifica-se que, a partir de um certo comprimento, alguns pedidos não conseguem ser satisfeitos pois referem-se a comprimentos superiores à porção remanescente (ou sobra). A quantidade de pedidos não satisfeitos vai progressivamente aumentando com o tempo de permanência da sobra em armazém até que se torna mais económico optar pela sua alienação para sucata ou para uma utilização alternativa (geradora de um valor residual sempre inferior ao seu preço normal de venda). O comprimento para o qual se verifica esta condição constitui um ponto singular (ou de indiferença económica) que interessa ser conhecido de forma a gerar automaticamente um alerta para decisão. Descreve-se a forma de determinar aquele comprimento limite mínimo e o momento em que previsionalmente será atingido através do método de simulação de Monte-Carlo.

Palavras-chave - Apoio à decisão, optimização económica, previsão, simulação.

1. Introdução

No aviamento de um armazém, sobretudo, nos casos do comércio por grosso ou de retalho, ocorre frequentemente a situação em que uma peça de determinado material sob a forma de bobina (por ex.: cabo eléctrico, tubo flexível, mangueira, corda, fio, tecido, papel, fita, etc.) ou sob a forma de varão, barra, tubo rígido, perfis, etc., vai sendo cortada em diferentes comprimentos para satisfazer encomendas, até atingir comprimentos curtos que se tornam progressivamente mais difíceis de vender (nestes casos, só peças inteiras são aceitáveis pelo utilizador final, pois as junções são técnica ou economicamente desaconselháveis).

Chegado este momento, coloca-se a seguinte dúvida: (i) alienar imediatamente (para sucata, por exemplo), realizando um valor de dinheiro certo; ou (ii) aguardar, na expectativa de realizar um valor superior àquele, todavia, incerto? Existe com certeza uma quantidade limite mínima, correspondente a uma situação de equilíbrio ou de indiferença económica, a qual, uma vez atingida, torna a decisão de alienação mais vantajosa.

Esta “quantidade limite mínima económica” (ou “quantidade óptima”) pode ser deduzida recorrendo a um algoritmo de cálculo que simula o futuro próximo a partir da seguinte condição: $OEV \leq OEA$, em que OEV representa a oportunidade de encaixe por venda e OEA representa a oportunidade de encaixe por alienação.

A percepção da existência de uma solução automatizável para esta natureza de problema, por parte de uma grande empresa nortenha, esteve na origem do desenvolvimento do algoritmo descrito seguidamente. Neste algoritmo adoptou-se o método de preços constantes.

2. Oportunidade de encaixe por venda OEV

O potencial económico ou a esperança matemática de vendas ou, ainda, a oportunidade de encaixe por venda OEV em qualquer momento t (mês, semana, dia), em alternativa à oportunidade de encaixe por alienação OEA nesse mesmo momento t , pode ser calculado somando todas as vendas esperadas (vendas ponderadas da respectiva probabilidade) entre esse momento t e o momento T em que a probabilidade de venda iguala 0, isto é, no período $T-t$. Este resultado pode ser expresso pela expressão (1):

$$OEV_{T-t} = \sum_t^T P_t \bar{Q}_t v_t (1+i)^{-t} \quad (1)$$

em que:

P_t – probabilidade de venda do comprimento existente no fim do período t ;

\bar{Q}_t – ritmo médio de vendas previsto durante cada período t ;

- v_t – preço unitário líquido de venda previsto como válido durante cada período t ;
 i – taxa de custo de posse do *stock* (oportunidade + armazenagem);
 T – período limite de análise (a partir do qual se verifica $P_t = 0$).

Na expressão anterior, o somatório das vendas esperadas (ou potenciais) é atualizado de forma a tornar possível a comparação de OEV_{T-t} e OEA_t em cada momento t . A taxa de custo de posse i é igual à soma do custo de oportunidade do capital investido em *stock* com o custo de armazenagem.

Assume-se que é conhecido o perfil de frequências dos comprimentos aviados no passado recente e que este se manterá constante ao longo do futuro próximo, conforme se pode observar na Figura 1.

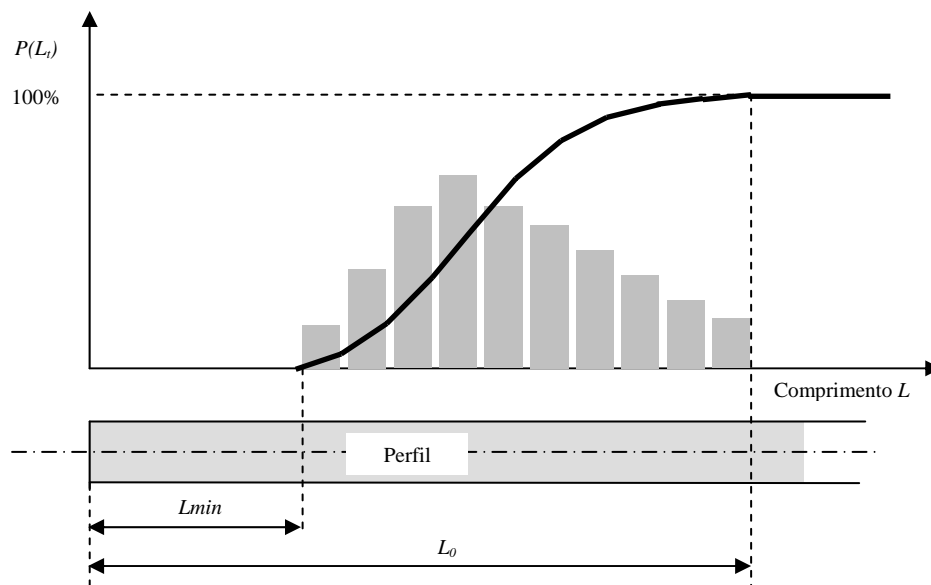


Figura 1 – Frequências (probabilidades) absolutas e relativas acumuladas dos comprimentos aviados

Nesta figura, L_0 representa o comprimento máximo alguma vez aviado para satisfação das encomendas. Conforme se pode observar, a probabilidade (ou sucesso) de venda é máxima (igual a 1) até que a peça atinja o comprimento L_0 , ou seja, para $L \geq L_0$. A partir daqui, a probabilidade vai progressivamente diminuindo até atingir o valor 0 quando a peça atinge o comprimento $L_{mín.}$.

O ritmo médio de vendas \bar{Q}_t durante cada período t pode assumir quaisquer valores de acordo com o perfil das vendas previstas dentro do horizonte temporal da análise e pode ter em conta a eventual existência de sazonalidade e de tendência (Figura 2).

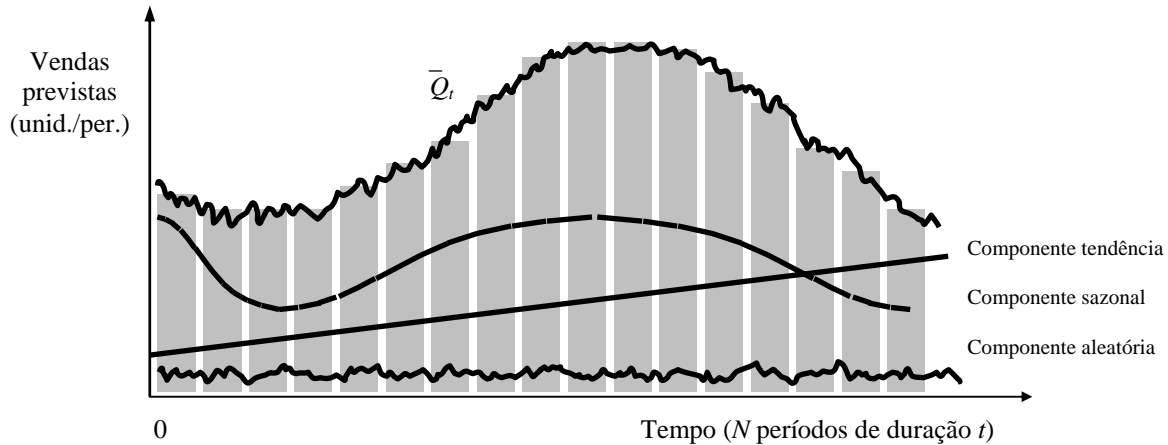


Figura 2 – Evolução dos valores médios de venda previstos dentro de cada período t ao longo do horizonte temporal da análise

Se se estimasse que o preço líquido de venda v_t poderia sofrer uma variação importante ao longo dos vários períodos que compõem o horizonte temporal da análise, ter-se-ia de adoptar o método de preços correntes. Este facto não alteraria os passos do cálculo e só contribuiria para a sua complexidade. De forma a manter a maior simplicidade possível, considera-se o preço líquido de venda v_t constante e igual a v . A expressão anterior pode, então, ser reescrita da seguinte forma:

$$OEV_{T-t} = v \cdot \sum_t^T P_t \cdot \bar{Q}_t \cdot (1+i)^{-t} \quad (2)$$

3. Oportunidade de encaixe por alienação OEA_t

A alienação para sucata ou para qualquer outra utilização alternativa pode ocorrer no fim de qualquer período t , sendo o potencial económico ou a oportunidade de encaixe por alienação OEA_t calculável pela expressão:

$$OEA_t = s \cdot L_t \cdot (1+j)^{-t} \quad (3)$$

em que,

s – preço unitário de alienação (para sucata ou qualquer outra utilização alternativa);

L_t – comprimento existente no fim do período t ;

j – taxa de custo de oportunidade do capital empatado.

Nesta expressão, o produto $s \cdot L_t$ é actualizado de forma a tornar possível a comparação de

OEV_{T-t} e OEA_t em cada momento t . A taxa de actualização j é, neste caso, igual apenas ao custo de oportunidade do capital empatado.

4. Ponto de indiferença económica

As expressões (2) e (3) – de OEV_{T-t} e OEA_t , respectivamente –, encontram-se representadas graficamente na Figura 3 seguinte. Conforme se pode nesta observar, quanto mais tarde se decidir a alienação menor será L e menores serão os valores de OEV_{T-t} e de OEA_t . Enquanto se verificar $L > L_0$, a probabilidade do perfil satisfazer qualquer pedido é de 100%. Logo que $L < L_0$, a probabilidade vai progressivamente reduzindo-se até atingir o valor 0 para $L = L_{\min}$ e o perfil transforma-se num mono.

Existe, contudo, um ponto notável onde as duas curvas se interceptam. Este ponto designa-se por “ponto de indiferença económica”. A este ponto corresponde o comprimento L^* , o qual representa um comprimento limite mínimo económico correspondente a um ponto de inversão de decisão e que poderemos designar por “quantidade económica de alienação”.

- Para valores de $L_t > L^*$, é mais económico manter a peça e continuar a venda para o mercado, pois $OEV_{T-t} > OEA_t$;
- Para valores de $L_t < L^*$, passa a ser mais económico a sua alienação imediata, pois $OEV_{T-t} < OEA_t$.

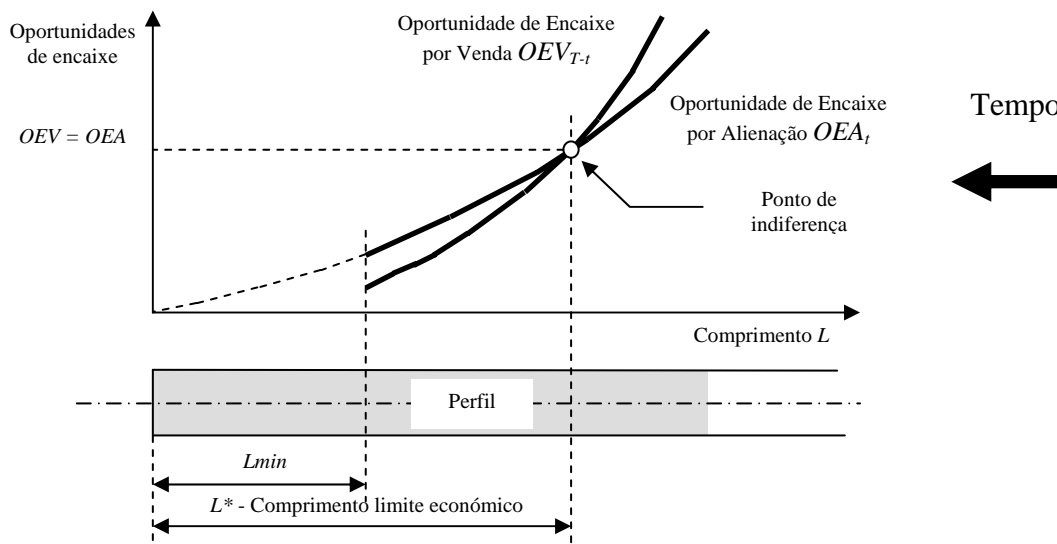


Figura 3 – Variação das oportunidades de encaixe por venda OEV_{T-t} e por alienação OEA_t , com o comprimento restante ou, inversamente, com o tempo

O valor de L^* pode ser deduzido analiticamente resolvendo a equação em ordem a L_t .

$$v \cdot \sum_t^T P_t \cdot \overline{Q}_t \cdot (1+i)^{-t} = s \cdot L_t \cdot (1+j)^{-t} \quad (4)$$

O cálculo manual é demasiadamente trabalhoso. O método de simulação numérica de *Monte-Carlo* constitui uma alternativa mais vantajosa. Um exemplo de aplicação permite ilustrar o funcionamento do algoritmo desenvolvido propositadamente para este caso.

5. Exemplo de aplicação

A empresa referida atrás na introdução, comercializa aços de liga para a indústria metalomecânica sob a forma de varões cortados em diferentes comprimentos. Estes, quando novos, apresentam um certo comprimento *standard*. Quando um varão atinge um certo limite mínimo de comprimento, torna-se progressivamente mais difícil satisfazer encomendas e passa a ser classificado como "ponta", sendo difícil julgar até quando esta deverá ser conservada antes de se transformar num mono. Suponha-se a existência de uma certa ponta com 100 kg. Este material é vendido para o mercado a 5.000\$/kg e pode ser vendido imediatamente para uma utilização alternativa a 3.000\$/kg. Considerando um custo de oportunidade do capital imobilizado em *stock* igual a 15% ano e um custo de armazenagem de 20% ano, qual será o peso limite da ponta a partir do qual compensa alienar?

Em primeiro lugar, é necessário consultar o histórico de vendas. Da análise dos dois últimos anos foi possível identificar e caracterizar uma componente de sazonalidade, uma componente de tendência (crescente) e uma componente aleatória. Em segundo lugar, é necessário caracterizar em frequência o nº semanal de encomendas e as quantidades aviadas de cada encomenda. Da análise dos dois últimos meses, resultaram os Quadros 1 e 2 mostrados adiante (como a secção do varão é constante, é indiferente analisar o caso em medidas lineares ou de massa).

Quadro 1 – Resultado do tratamento em frequência das quantidades aviadas por encomenda *

Limite inferior do intervalo (kg/aviamento)	Limite superior do intervalo (kg/aviamento)	Frequências simples (%)	Frequências acumuladas (%)
0	15	5	5
15	20	10	15
20	25	20	35
25	30	35	70
30	35	25	95
35	40	5	100

* O valor médio desta distribuição é 26,25 kg/aviamento.

Quadro 2 – Resultado do tratamento em frequência do nº semanal de encomendas

Nº de aviamentos/semana	Frequências simples (%)	Frequências acumuladas (%)
(média da semana t) - 2	5	5
(média da semana t) - 1	25	30
(média da semana t) *	30	60
(média da semana t) + 1	25	85
(média da semana t) + 2	15	100

* múltiplo mais próximo do cociente: Procura na semana t / 26,25, em que 26,25 é o valor médio de cada aviamento (Quadro 1)

Para solucionar o problema, criou-se um modelo representativo do sistema de gestão em *WINDOWS-EXCEL*[®] de forma a poder-se simular o seu funcionamento.

Num modelo de simulação, a variável tempo pode progredir de duas formas: segundo “incrementos variáveis”, determinados pelos acontecimentos discretos (aviamentos no caso presente), ou segundo “incrementos fixos” (dias, semanas, etc.). No último caso, em cada período, selecciona-se uma quantidade aleatória de aviamentos, cada qual de quantidade também aleatória. No modelo criado, optou-se, por razões de maior simplicidade de desenvolvimento, pela segunda alternativa, sem que isso represente uma perda de precisão – conforme se verá adiante. O simulador calcula, então, no final de cada período, as diferenças entre OEV_{T-t} e OEA_t e revela qual o momento t* (ou o comprimento L*) para os quais aquela diferença se anula.

No simulador, introduziram-se primeiramente os parâmetros caracterizadores da procura (tendência, sazonalidade e aleatoriedade) e fixou-se-se um horizonte temporal de simulação de 300 semanas. O simulador está pronto a correr e gerar aleatoriamente em cada iteração um perfil da procura ao longo das 300 semanas. A Figura 4 adiante mostra um destes perfis.

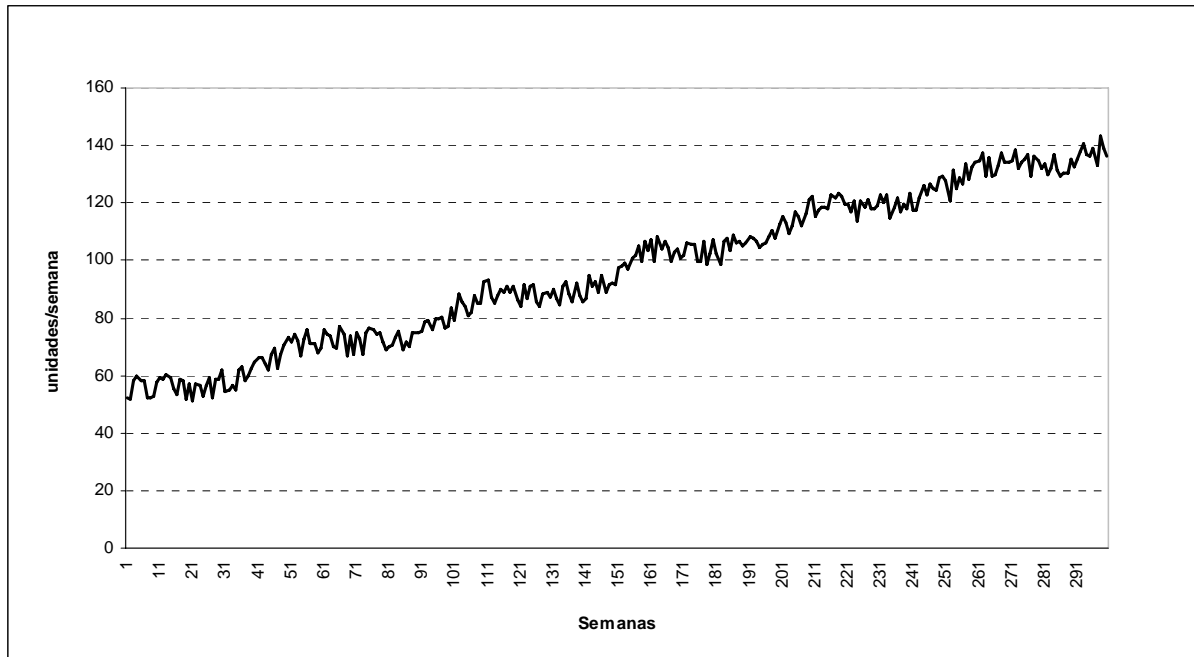


Figura 4 – Previsão da procura nas próximas 300 semanas simulada durante uma das iterações apresentando tendência, sazonalidade e aleatoriedade

Introduziram-se, depois, os dados fixos (preço de venda, preço de alienação, custo de oportunidade, custo de armazenagem e quantidade existente em *stock*). Seguidamente, introduziram-se os dados dos Quadros 1 e 2 e o nº de iterações (ou corridas) que o simulador deverá realizar. Este nº é função da precisão pretendida. Para este efeito fixou-se um intervalo de confiança de 90%.

Após 500 iterações, o simulador forneceu os seguintes resultados estatísticos (para um nível de confiança de 90%):

- Quantidade Limite Mínima Económica = $5,97 \pm 0,37$ kg para um erro amostral de 6,2%;
- Oportunidade (actual) de Encaixe por Venda $OEV = 4.698 \pm 1,79$ contos para um erro amostral de 0,04%;
- Oportunidade (actual) de Encaixe por Alienação $OEA = 3.000$ contos;
- Período previsionial de alienação = $30 \pm 1,51$ semanas para um erro amostral de 4,98%.

Com efeito, para os actuais 1.000 kg, verifica-se que: $OEV = 4.698$ contos e $OEA = 3.000$ contos. Como $OEV > OEA$ ou, de outra forma, $1.000 \text{ kg} > 5,97 \text{ kg}$, a ponta deve ser mantida, pois a oportunidade de encaixe por venda OEV é bastante superior à oportunidade de encaixe por alienação OEA . Complementarmente, o simulador permite-nos também saber que esse momento

chegará dentro de aproximadamente 30 semanas.

Nos Quadros 3 e 4 adiante mostram-se, alguns resultados de uma das corridas do simulador:

- No Quadro 3 pode ver-se o perfil de aviamentos simulado nas semanas de 10 a 30, com base nos parâmetros de procura e nas distribuições dos Quadros 1 e 2;
- No Quadro 4 podem ver-se o nível do *stock* e os valores das oportunidades de encaixe por venda *OEV* e por alienação *OEA* verificados no fim de cada uma daquelas semanas.

Quadro 3 – Aviamentos resultantes de uma das iterações do simulador

Semana	Procura simulada	Nº médio de aviamentos	Nº de aviamentos simulado	1º aviamento simulado	2º aviamento simulado	3º aviamento simulado	Total de aviamentos
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
10	54,37	2	2	28,304	21,573	-	49,877
11	60,501	2	2	27,194	21,451	-	48,645
12	54,821	2	2	21,486	33,748	-	55,235
13	60,846	2	3	28,346	33,821	34,211	96,378
14	56,082	2	2	33,908	27,623	-	61,531
15	54,104	2	2	34,199	39,981	-	74,180
16	58,297	2	1	27,866	-	-	27,866
17	52,379	2	1	21,081	-	-	21,081
18	51,531	2	3	20,809	15,280	34,009	70,098
19	55,21	2	2	27,876	27,592	-	55,469
20	59,363	2	1	21,644	-	-	21,644
21	57,302	2	2	27,520	27,252	-	54,773
22	57,23	2	3	21,526	21,128	15,380	58,034
23	59,561	2	3	15,483	28,116	27,624	71,223
24	50,939	2	3	27,707	21,382	34,541	83,631
25	58,022	2	2	0,643	0,597	-	1,240
26	51,207	2	2	28,062	34,096	-	62,157
27	53,655	2	3	27,622	27,452	33,600	88,673
28	53,389	2	2	15,614	15,391	-	31,006
29	59,091	2	2	27,588	33,809	-	61,396
30	55,791	2	2	27,855	27,000	-	54,855

A coluna (3) foi obtida pelo cociente: coluna (1) / 26,25, em que 26,25 é o valor médio de cada aviamento (Quadro 1). O resultado foi arredondado para o múltiplo mais próximo. A coluna (4) foi obtida por interpolação aleatória da distribuição de frequências do nº semanal de aviamentos representada no Quadro 2, segundo o método de *Monte-Carlo*, tomando como valores médios os que figuram na coluna (3). As colunas (5), (6) e (7) foram obtidas por interpolação aleatória da distribuição de frequências das quantidades aviadas representada no Quadro 1, segundo o

método de *Monte-Carlo*. A coluna (8) é igual à soma das colunas (5), (6) e (7).

Quadro 4 – Valores de encaixe resultantes de uma das iterações do simulador

Semana	<i>Stock</i> inicial	Aviamentos previsionais (kg)	OEV_{T-t} na sem. (contos)	OEV_{T-t} actualizado (contos)	OEV_{T-t} acumulado (contos)	OEA_t na sem. (contos)	OEA_t actualizado (contos)
(1)	(9)	(10)*	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
10	515,406	49,877	249,385	235,400	2347,186	1546,217	1505,212
11	465,529	48,645	243,225	228,264	2111,786	1396,586	1355,900
12	416,884	55,235	276,174	257,695	1883,522	1250,651	1210,957
13	361,649	96,378	481,891	447,059	1625,826	1084,946	1047,692
14	265,271	61,531	307,655	283,775	1178,767	795,812	766,423
15	203,740	74,180	370,899	340,142	894,992	611,219	587,067
16	129,560	27,866	139,330	127,040	554,850	388,679	372,319
17	101,694	21,081	105,406	95,556	427,810	305,081	291,455
18	80,613	70,098	350,491	315,908	332,254	241,838	230,416
19	10,514	0,000	0,000	0,000	16,346	31,543	29,973
20	10,514	0,000	0,000	0,000	16,346	31,543	29,892
21	10,514	0,000	0,000	0,000	16,346	31,543	29,812
22	10,514	0,000	0,000	0,000	16,346	31,543	29,732
23	10,514	0,000	0,000	0,000	16,346	31,543	29,652
24	10,514	0,000	0,000	0,000	16,346	31,543	29,573
25	10,514	1,240	6,201	5,368	16,346	31,543	29,493
26	9,274	0,000	0,000	0,000	10,978	27,822	25,945
27	9,274	0,000	0,000	0,000	10,978	27,822	25,875
28	9,274	0,000	0,000	0,000	10,978	27,822	25,806
29	9,274	0,000	0,000	0,000	10,978	27,822	25,736
30	9,274	0,000	0,000	0,000	10,978	27,822	25,667

* = coluna (8) do Quadro 3.

Comparando o Quadro 4 com o Quadro 3, pode-se notar que, nas semanas representadas (10 a 30), muitos dos pedidos de aviamento (colunas (5), (6) e (7) do Quadro 3) não podem ser satisfeitos devido a insuficiência de *stock*. Os aviamentos possíveis vão-se processando até que na semana 19 se verifica o momento de inversão. Com efeito, na semana 18, OEV (332,254) > OEA (230,416) e na semana 19, OEV (16,346) < OEA (29,973). Neste caso, a quantidade económica de alienação seria aproximadamente 10,514 kg, a qual seria atingida na semana 19.

6. Conclusão

O algoritmo de cálculo fornece a quantidade limite de uma ponta a partir da qual se torna mais económico vender para uma utilização alternativa ou saldar por um preço mais baixo. Aquela quantidade, comparada com o saldo existente sempre que se verifica uma transacção, proporciona um meio simples e eficaz de apoio à decisão.

Esta análise pode implementar-se facilmente em computador, desencadeando automaticamente um aviso logo que aquele limite é atingido.

As variáveis, nas quais aquela decisão se baseia, terão, evidentemente, de ser periódica ou permanentemente actualizadas. Todas elas poderão sê-lo automaticamente se forem desenvolvidas as rotinas apropriadas de ligação a uma base de dados que registre todas as transacções dos artigos em *stock*.

Para aumentar o realismo desta aplicação, a ligação a uma outra aplicação, que analise o histórico de vendas e realize previsões de venda, poderá assegurar a alimentação automática dos valores previsionais de \bar{Q}_t .

Bibliografia relacionada

ASSIS, Rui e Mário Figueira, - MICROINVEST, *Projectos de Investimento - Avaliação e Planeamento*, Lisboa, IAPMEI, 1994

CANADA, John R., William Sullivan, John A. White, *Capital Investment Analysis for Engineering and Management*, Prentice Hall, Inc., New Jersey 1996

LAW, Averill M., and W. David Kelton, *Simulation Modelling and Analysis*, New York: McGraw-Hill, 1982

PRITSKER, A. Alan B., *Introduction to Simulation and SLAM-II*, New-York, John Wiley, 1986

THUESEN, Fabrycky, *Engineering Economy*, Prentice-Hall International Editions, 1989

WINDOWS-EXCEL[®] é uma marca registada da MICROSOFT, Inc.