

Capítulo 5 - Substituição e Reposição de Equipamento

5.1 - Vida útil e Vida econômica

Definimos vida útil de um equipamento como sendo o período de tempo em que ele continua desempenhando satisfatoriamente as suas funções. A vida útil depende do projeto do equipamento, da operação adequada, da manutenção, do obsolescimento, etc..

Devemos distinguir dois tipos de equipamento: a)- de eficiência decrescente e vida útil previsível; b)- de eficiência constante e vida útil imprevisível.

No primeiro caso, com o passar do tempo, o equipamento vai se desgastando pelo uso e os custos de manutenção vão aumentando, ao passo que o seu valor de venda no mercado vai diminuindo. Chegamos então a uma situação em que não é economicamente interessante continuar usando o equipamento, e, embora ele ainda tenha um desempenho adequado, devemos dar baixa do mesmo, isto é, cessar de operá-lo. Dizemos que ele atingiu o fim da sua vida econômica. Problemas deste tipo serão designados como problemas de substituição.

No segundo caso, o equipamento mantém a sua eficiência até que falha repentinamente, de modo imprevisível e aleatório. Como esta falha pode causar prejuízo, pode ser economicamente interessante substituí-lo antes que falhe (manutenção preventiva). Problemas deste tipo serão designados como problemas de reposição.

5.2 - Equipamento de eficiência decrescente

O problema da determinação da vida econômica é uma aplicação da comparação de alternativas de durações diferentes, da Engenharia Econômica. Podemos distinguir três situações: a)- baixa pura e simples, sem substituição; b)- baixa com substituição por equipamento semelhante, de mesma eficiência; c)- baixa com substituição por equipamento mais eficiente.

5.2.1 - Baixa sem substituição

No caso de produtos que estão sujeitos a rápido obsolescimento, ou cuja matéria-prima está se esgotando, podemos decidir suspender a produção e vender o equipamento, sem substituí-lo.

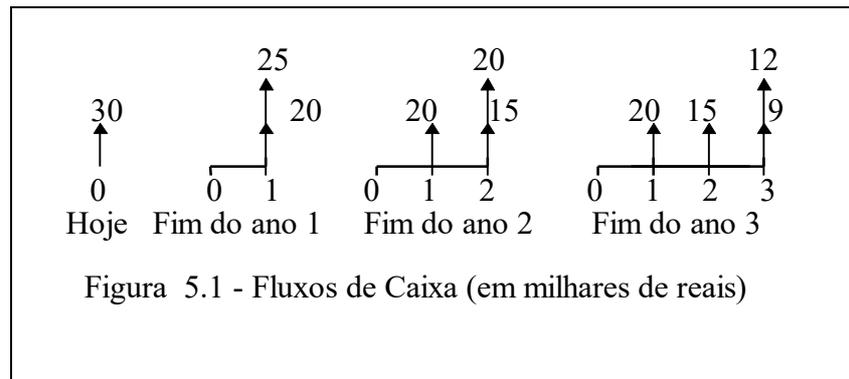
Exemplo: Uma linha de fabricação de carroças vem experimentando uma redução de vendas e custos crescentes de manutenção, prevendo-se, para os próximos 3 anos, as receitas líquidas e os valores residuais do equipamento da tabela 5.1.

Ano	Receita Líquida	Valor residual (no fim do ano)
1	20.000	25.000
2	15.000	20.000
3	9.000	12.000

Tabela 5.1

Sabendo-se que hoje o valor residual é R\$30.000 , e que a taxa de mercado é 12% ao ano (que vamos supor igual à taxa atrativa mínima) , quando deverá ser encerrada a produção?

Na figura 5.1 temos os 4 diagramas de fluxo de caixa, correspondentes a cada possível data de baixa.



Como estamos encerrando a atividade, o modelo II, do capítulo anterior, é o mais adequado para igualar os horizontes e permitir a comparação.

Sabemos que usando o valor atual líquido $VAL(i)$ para as comparações, não precisamos explicitar os investimentos feitos para igualar as durações.

Os cálculos podem ser facilmente sistematizados numa planilha, como mostra a tabela 5.2.

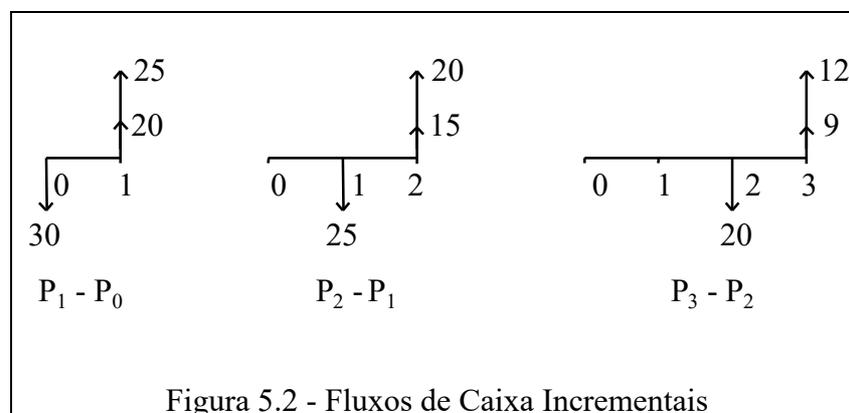
período	0	1	2	3
$(1+i)^t$	1,0000	1,1200	1,2544	1,4049
receita líquida	0	20.000	15.000	9.000
valor residual	30.000	25.000	20.000	12.000
VA receita	0	17.857	11.958	6.406
VA valor residual	30.000	22.321	15.944	8.541
VAL	30.000	40.178	45.759	44.762

Tabela 5.2

Vemos que a melhor alternativa é dar baixa no fim do ano 2.

5.2.1.1 - Análise Incremental

A análise incremental permite resolver este problema de modo ainda mais fácil. Com efeito, fazendo-se as diferenças sucessivas entre os fluxos de caixa P_t e P_{t-1} veri-



ficamos que elas só dependem do valor residual nos instantes $t-1$ e t e da receita líquida do período $(t-1,t)$, como mostram os fluxos de caixa incrementais da figura 5.2.

A tabela 5.3 mostra o resultado dos valores atuais líquidos. O ultimo incremento positivo é o do período 2, indicando que no final dele deve ser dada a baixa do equipamento.

Data de baixa	Final do ano 1	Final do ano 2	Final do ano 3
VAL(diferença, em t-1)	10.179	6.250	-1.250
VAL(diferença, hoje)	10.179	5.580	-996

Tabela 5.3 - Análise incremental

5.2.2 - Baixa com substituição por equipamento do mesmo tipo

Neste caso o novo equipamento tem os mesmos custos de aquisição, de manutenção, rendimentos e valor residual, do equipamento atual.

Com a atividade vai continuar, o modelo adequado é o modelo I ou de repetição, do capítulo anterior. Para igualar os horizontes, vamos supor que cada alternativa é repetida o número de vezes necessário. Agora são os benefícios anuais equivalentes que não se alteram com a repetição e podemos usá-los diretamente como base de comparação, sem precisar explicitar as repetições necessárias para igualar as durações.

Exemplo 1: Um automóvel da marca Z custa novo R\$20.000. Estima-se que os valores de mercado e custos de manutenção são os da Tabela 5.4.

Supondo que a taxa de juros é 12%, com que intervalo o carro deve ser substituído por outro novo, do mesmo modelo?

Como a receita é a mesma em cada caso (não depende da idade do carro), não precisamos considera-la e vamos trabalhar apenas com os custos e valores de mercado. O máximo benefício anual equivalente BUE corresponderá ao mínimo custo anual equivalente CAE: Vamos considerar a taxa atrativa mínima como sendo 12%.

Anos de uso	1	2	3	4
Valor de mercado	17.000	15.000	13.000	10.000
Custo de manutenção	800	1.200	1.700	2.300

Tabela 5.4

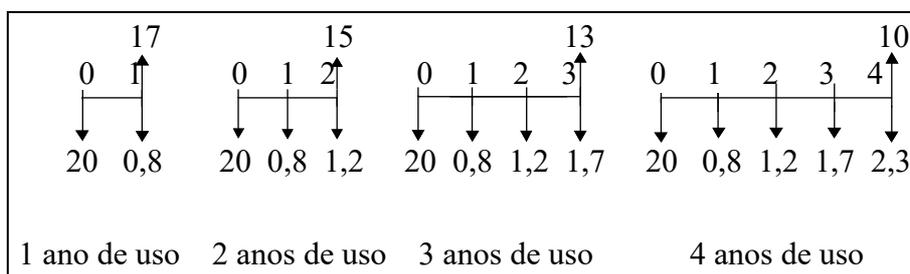


Figura 5.3 - Fluxos de Caixa

A figura 5.3 mostra os fluxos de caixa correspondentes.

Os cálculos podem ser facilmente automatizados numa planilha (Tabela 5.5).

O menor custo anual equivalente é o do ano 3, indicando que a vida econômica do automóvel Z é de 3 anos.

A análise incremental, se aplicada ao BUE (neste caso ao CAE), não oferece vantagem, pois a expressão das diferenças sucessivas é mais complicada que o cálculo direto.

período t	0	1	2	3	4
$(1+i)^t$	1	1,120	1,2544	1,4049	1,5735
Valor mercado	20.000	17.000	15.000	13.000	10.000
Custo manutenção		-800	-1.200	-1.700	-2.300
VAL valor mercado	20.000	15.179	11.958	9.253	6.355
VAL manutenção		-714	-957	-1.210	-1.462
VAL (ver fig 5.3)	-20.000	-5.536	-9.713	-13.628	-17.987
CAE.		-6.200	-5.747	-5.674	-5.922

Tabela 5.5

Exemplo 2: Admitindo-se a possibilidade de comprar o carro Z usado, pelo preço de mercado mais R\$500, qual seria a melhor política?

Com a planilha podemos facilmente avaliar as diversas alternativas, cujos custos anuais equivalentes CAE estão resumidos na tabela 5.6.

Compra \ Venda	1 ano	2 anos	3 anos	4 anos
0	-6.200	-5.747	-5.674	-5.922
1 ano de uso		-5.800	-5.658	-6.015
2 anos de uso			-6.060	-6.437
3 anos de uso				-7.420

Tabela 5.6

Concluimos que a melhor política, do ponto de vista econômico, é comprar o carro com 1 ano de uso e usá-lo por 2 anos (isto é, vendê-lo quando tiver 3 anos). Lembremos que, como as diferenças de custo são pequenas, outras considerações podem levar, na prática, a decisão diferente.

5.2.3 - Baixa com substituição por equipamento mais eficiente.

Neste tipo de problema suporemos que existem dois equipamentos que competem entre si. Usando uma linguagem tomada do boxe, o equipamento atual é denominado defendente e o outro desafiante. A existência do desafiante implica na existência de progresso tecnológico (as vezes acelerado, como por exemplo, a evolução dos computadores).

Dada a incerteza do futuro, a única decisão apropriada é decidir se devemos substituir já o defendente ou mantê-lo por mais um período. Não teria sentido concluir hoje que o defendente deverá ser substituído pelo desafiante daqui a n anos, visto que estamos trabalhando com previsões e o futuro é incerto. No fim do próximo período o problema deve ser retomado, com informações atualizadas e, provavelmente, com novo desafiante.

Exemplo: Uma máquina foi comprada há 3 anos por R\$3.000, com a intenção de ser usada por 7 anos. Nestes 3 anos os custos de operação e manutenção foram os da tabela 5.7, onde indicamos também os custos previstos para os próximos 4 anos e o valor de mercado da máquina usada.

Ano	1	2	3	4	5	6	7
Custos	190	550	950	1.200	1.500	1.700	2.000
Val.Venda	2000	1500	1200	900	700	500	400

Tabela 5.7 - Máquina atual (Defendente)

Ano	1	2	3	4	5	6	7
Custos	50	90	250	450	600	1.000	1.200
Val.Venda	3.000	2.000	1.500	1.000	900	850	800

Tabela 5.8 - Máquina nova (Desafiante)

Uma máquina mais eficiente está disponível hoje, e custa R\$4.000, com vida prevista também de 7 anos. A previsão dos custos de operação e manutenção, bem como do preço de venda da máquina usada no mercado, está na tabela 5.8.

Com uma taxa atrativa mínima de 12% ao ano, devemos substituir a máquina?

Notemos inicialmente que os dados do passado, referentes aos 3 primeiros anos da máquina atual, são irrelevantes, como foi apontado no capítulo anterior. Devemos considerar apenas os dados dos anos 4 a 7, que passam agora a ser 1 a 4, tomando-se o valor de mercado hoje como o custo de aquisição da máquina.

Os custos anuais equivalentes das duas máquinas estão calculados nas planilhas da Tabela 5.9 e da Tabela 5.10.

Período	0	1	2	3	4
$(1+i)^t$	1,0000	1,1200	1,2544	1,4049	1,5735
Valor mercado	1.200	900	700	500	400
Custo manutenção		-1.200	-1.500	-1.700	-2.000
VAL valor mercado		804	558	356	254
VAL manutenção		-1.071	-1.196	-1.210	-1.271
VAL	-1.200	-1.468	-3.086	-4.321	-5.694
C. Anual Equivalente		-1.644	-1.826	-1.799	-1.875

Tabela 5.9 - Máquina atual (Defendente)

Período	0	1	2	3	4	5	6	7
$(1+i)^t$	1,000	1,120	1,255	1,405	1,574	1,762	1,974	2,211
V. Merc.	4.000	3.000	2.000	1.500	1.000	900	850	800
C. Man.		-50	-90	-250	-450	-600	-1.000	-1.200
VAVMer		2.679	1.594	1.068	636	511	431	362
VA Man.		-45	-72	-178	-286	-340	-507	-543
VAL	-4.000	-1.366	-2.522	-3.227	-3.945	-4.410	-4.997	-5.608
CAE		-1.530	-1.492	-1.343	-1.299	-1.223	-1.215	-1.229

Tabela 5.10 - Máquina nova (Desafiante)

Como os custos anuais equivalentes da desafiante são menores que os da defendente, devemos substituir a máquina.

Pelos dados da Tabela 5.10 a nova máquina teria uma vida econômica de 6 anos, mas, como já dissemos, isto não tem sentido neste caso, pois novo desafiante poderá levar à decisão de substituí-la antes deste prazo.

62.3.1 - Tempo de Retorno do Capital Investido.

Embora seja um critério empírico, o tempo de retorno do capital investido é muito usado. Vamos aplicá-lo ao nosso exemplo, supondo que o tempo máximo aceitável foi fixado em 4 anos.

No exemplo teríamos as economias de custo acumuladas da Tabela 5.11.

Período	1	2	3	4
Custo Defendente	1.200	1.500	1.700	2.000
Custo Desafiante	50	90	250	450
Diferença de. Custo	1.150	1.410	1.450	1.550
Dif. Custo Acumulada	1.150	2.560	4.010	5.560

Tabela 5.11

Como a desafiante custa R\$4.000, as diferenças de custo acumuladas indicam que a nova máquina “se pagaria” em 3 anos.

5.3 - Equipamento de Eficiência Constante

Neste caso temos um número grande de unidades idênticas que falham aleatoriamente e devem ser repostas.

O custo total CTOT é formado por duas parcelas: o custo CUN das unidades trocadas e o custo CTROC da troca. Este custo CTROC inclui a preparação da troca (deslocamento do equipamento necessário) e também o custo da perda de produção pela indisponibilidade temporária do equipamento. Caso CTROC seja grande comparado com CUN, pode ser economicamente interessante fazer a reposição em grupo, repondo periodicamente todas as unidades, independentemente do seu estado, com a vantagem de podermos programar a troca para um instante oportuno, com eventual redução de CTROC.

Os problemas de reposição não costumam ser mencionados nos livros de Engenharia Econômica. O assunto é geralmente tratado nos livros de Pesquisa Operacional mais antigos, pois os mais modernos não costumam mencionar o assunto. A referência clássica é Churchman et al (1957).

Como a ordem de grandeza dos valores e dos horizontes de tempo na reposição é normalmente bem menor que nos casos de substituição tratados anteriormente, geralmente não se faz a atualização dos valores, mas nada impede que ela seja feita.

Tratando-se de falhas aleatórias, a primeira providência é determinar a distribuição estatística das falhas, a curva de sobrevivência, a vida média das unidades e o número esperado de reposições por período, para podermos estimar os custos de cada política.

Exemplo: Uma companhia de transportes tem registros dos estouros de pneumáticos, em função dos quilômetros rodados. Uma troca programada de pneu custa R\$350, já incluído o custo do pneu. Um estouro causa atraso da viagem e exige socorro de emergência, o que tem um custo de R\$500. Além disso, a carcaça do pneu fica destruída, com um prejuízo adicional de R\$100. A troca imprevista custa, portanto, R\$950. Qual a política de custo mínimo para a troca de pneus?

Na tabela 5.12 estão os dados da Cia. sobre 1.000 pneus, bem como o cálculo da probabilidade de estouro, da probabilidade de sobrevivência, e da vida média do pneu.

Km (milhares)	Estouros	Sobreviventes	Probab. Estouro	ProbabSobrev	Ponto médio	Pmédio x P.Estou
0	0	1.000	0,000	1,000		
0---10	50	950	0,050	0,950	5	0,25
10---20	100	850	0,100	0,850	15	1,50
20---30	250	600	0,250	0,600	25	5,25
30---40	400	200	0,400	0,200	35	14,00
40---50	200	0	0,200	0,000	45	9,00
					Média	31,00

Tabela 5.12

Se apenas trocarmos os pneus estourados, teremos em média um estouro a cada 31.000 Km, o que dá um custo médio de $950/31 = 30,65$ reais /mil km /pneu.

Para avaliar as políticas de troca programada temos de calcular o número médio de substituições, levando em conta os estouros dos pneus originais, os dos pneus trocados, os destes etc. Por exemplo, numa política de trocar os pneus ao atingirem 20.000 km, teríamos de considerar os que estouram na faixa de 0 a 10.000, os que estouram na faixa de 10.000 a 20.000, e os substituídos na faixa de 0 a 10.000 que estouram nos 10.000 km seguintes.

Os cálculos estão mostrados na planilha da Tabela 5.13, juntamente com a avaliação dos custos. Para facilitar o cálculo dos pneus estourados consideramos 10.000 pneus, visto que todos os valores são proporcionais, mas os custos são os de um pneu

Faixa (mil km)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Probabilidade Estouro	0,050	0,100	0,250	0,400	0,200
Estouros pneus originais	500	1.000	2.500	4.000	2.000
Est. p. trocados em 0-10		25	50	125	200
Est. p. trocados em 10-20			50	100	250
Est. p. trocados em 20-30				125	250
Est. p. trocados em 30-40					200
Total estouros na faixa	500	1.025	2.600	4.350	2.900
Trocas não programadas	500	1.525	4.125	8.475	11.375
Trocas programadas	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Custo /1.000 Km /pneu	39,75	24,74	24,73	28,88	28,61

Tabela 5.13

/mil Km.

A política de mínimo custo é trocar os pneus, independentemente do seu estado, por pneus novos cada 30.000 Km rodados pelo veículo, com um custo médio de R\$24,73 /mil Km /pneu, e com uma economia de R\$5,92 /mil Km /pneu sobre a troca sem programação.

5.4 - Exercícios.

1 - Uma empresa de mineração prevê que suas jazidas se esgotarão em 4 anos. No ano passado a receita líquida foi de 18 milhões de reais, prevendo-se uma queda de 4 milhões em cada um dos próximos 4 anos. O valor de mercado das instalações é hoje

7 milhões de reais, estimando-se que diminua 1,5 milhões cada ano. Quando a empresa deverá cessar a exploração, supondo uma taxa atrativa mínima de 25% ao ano ?

2 - Uma máquina, fabricada por encomenda, custou R\$10.000 e, sendo muito especializada, tem valor de mercado, como sucata, de R\$500, com qualquer idade. Calcula-se que sua vida útil é 10 anos, e que os custos anuais de operação serão de R\$2.000 nos dois primeiros anos e aumentarão R\$600 por ano daí em diante. Qual a vida econômica desta máquina, supondo uma taxa atrativa mínima de 12% ao ano?

3 - Uma empresa recebeu uma proposta para substituir a máquina atual, com 4 anos de uso, por um novo modelo. A máquina atual vale R\$1.000, devendo seu valor diminuir R\$100 por ano. Os custos de operação são estimados em R\$8.000 no próximo ano, com um acréscimo de R\$200 por ano. A nova máquina custa R\$10.000 e deve depreciar no mercado 15% por ano. O custo de operação deve ser de R\$5.000 no primeiro ano e aumentar R\$150 por ano. Supondo taxa atrativa mínima de 12% ao ano, qual deve ser a decisão da empresa?

4 - Uma tecelagem tem centenas de teares automáticos, que eventualmente param de tecer por falha de uma determinada peça. Trocar a peça quebrada custa R\$250, devido ao custo da produção perdida. Uma troca programada pode ser feita quando a tecelagem está parada (fins de semana, por exemplo) e custa R\$50. A estatística de quebras está na tabela abaixo.

Tempo (horas)	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500
Falhas	10	15	20	35	20

Qual a política de troca programada de mínimo custo?