

DIMENSIONAMENTO DO PARQUE DE UM EQUIPAMENTO DE REANIMAÇÃO OU DE MANUTENÇÃO DE VIDA

Rui Assis

Faculdade de Engenharia da Universidade Católica Portuguesa
Rio de Mouro, Portugal
rassis@rassis.com
<http://www.rassis.com>

Resumo

Descreve-se como o problema comum de dimensionamento (ou redimensionamento) de um parque de equipamentos semelhantes solicitados aleatoriamente pode ser resolvido, recorrendo, não aos métodos analíticos clássicos propostos pela teoria das filas de espera em IO, os quais obrigam à aceitação de alguns pressupostos simplificadores, mas antes à técnica de simulação de Monte-Carlo que permite maior flexibilidade e realismo na construção de um modelo representativo da realidade. Ilustra-se o método proposto através de um caso sobre ventiladores recolhido nos Serviços Médicos Intensivos (SMI) do Hospital de S.^{ta} Maria (HSM) em Lisboa, o qual se crê necessitar de uma ampliação da sua capacidade em cerca de 50%. Descreve-se a metodologia de construção de um modelo representativo desta realidade em MS-EXCEL. Este modelo pode ser actualizado com novos dados em qualquer momento, e fornecer os valores esperados de vários indicadores de desempenho, constituindo assim uma ferramenta de apoio à decisão. À luz do conjunto de critérios que os decisores considerem mais pertinentes considerar, poderão estes encontrar a solução mais adequada a cada momento da vida do serviço. O método é extrapolável a qualquer outro caso de dimensionamento de recursos (pessoas ou equipamentos) com procura aleatória.

1 Introdução

Em muitos serviços de um estabelecimento hospitalar, em particular nas Urgências, coloca-se com alguma frequência a dúvida sobre a adequabilidade do número existente de um determinado equipamento de manutenção de vida ou de reanimação. Este problema pode ser resolvido recorrendo aos modelos analíticos propostos pela teoria das filas de espera conforme a literatura de IO, nos quais é necessário caracterizar, por um lado, a fonte, a fila e o serviço e, por outro, as distribuições em probabilidade das chegadas e do atendimento, Law *et al.* (2000) e Tavares (1996). Contudo, a realidade é por vezes de tal forma complexa que os modelos analíticos se tornam inadequados à sua representação suficientemente precisa. Nestas circunstâncias, a construção de um modelo representativo do sistema real e a simulação do seu funcionamento em computador, com o objectivo de se obterem indicadores previsionais de desempenho, tem vindo a tornar-se o meio de eleição por parte de muitos analistas e decisores. A simulação lida com a incerteza e consiste na construção de modelos que imitam quanto basta a realidade evitando assim experiências no mundo real, as quais, por vezes são impossíveis de realizar e, outras vezes, revelar-se-iam muito demoradas e/ou muito onerosas. A simulação permite ter em conta o comportamento aleatório de muitas variáveis e a sua interacção. A simulação permite ainda quantificar o grau de incerteza do comportamento de um sistema composto por uma ou mais variáveis aleatórias e determinar a probabilidade (vulgo risco) de uma qualquer expectativa afinal não se concretizar ou de algo temido afinal se concretizar.

A velocidade crescente de cálculo dos computadores e a disponibilidade de *software* comercial de programação por objectos, tornou a opção de análise daquela tipologia de problemas por técnicas de simulação mais vantajosa, pois oferece flexibilidade na selecção de distribuições de probabilidade e a capacidade de correlacionar variáveis entre si – maior realismo, em síntese.

A utilização destas técnicas é, porém, muito limitada devido a falta de divulgação e, também, pelo fraco domínio que se observa por parte dos potenciais utilizadores dos princípios estatísticos subjacentes e necessários, quer para a análise, quer para a interpretação dos resultados das corridas de um simulador. É com o objectivo de contribuir para a crescente divulgação das técnicas de simulação como ferramentas de modulação de problemas complexos e de apoio à decisão que se descreve aqui, de modo sintético, os passos dados na construção de um modelo suficientemente representativo de um sistema constituído por ventiladores nos Serviços Médicos Intensivos (SMI) do Hospital de S.^{ta} Maria.

2 O problema

O modelo a construir pretende responder à questão “Quantos ventiladores devem existir neste serviço?”.

Um ventilador é um equipamento comum nos Hospitais com a forma exterior de um armário com extensões articulares para ligação ao doente e para um monitor de sinais vitais. Pode ser fixo no local para apoio a uma cama ou pode ser móvel e acompanhar a cama do doente.

Um ventilador tem como objectivo ventilar e oxigenar o doente incapaz de controlar autonomamente a sua função respiratória. A ventilação pode ser feita em cada ciclo de modo a garantir um certo volume de ar (por vezes misturado com outros gases) ou por modelação da pressão. Um conjunto de sensores ligados ao doente permitem monitorizar os vários parâmetros ventilatórios.

Neste serviço do HSM existem actualmente 11 ventiladores de última geração (método invasivo) e dedicados a outras tantas camas. Existem outros 2 não dedicados de reserva. O SMI tem a percepção de que aquele número é insuficiente e quantifica a capacidade adicional necessária em cerca de 50% da actualmente instalada.

Em resultado de uma visita ao Hospital e de um diálogo com o Director do Serviço de Instalações e Equipamentos, Senhor Engenheiro Durão de Carvalho, e com os Senhores Doutores Carlos França (Director do SMI) e António Alvarez e após constatação da existência de uma excelente organização que lhes permite obter indicadores de excelência na prestação dos cuidados médicos, constatou-se a ausência de dados sobre a frequência de solicitação destes serviços, sendo registados apenas aqueles que são satisfeitos. Note-se, todavia, que nenhum doente deixa de ser devidamente assistido, apenas se verifica a necessidade de requisição de um ventilador a outro serviço, ou hospital ou a transferência temporária deste doente. Trata-se de uma situação típica muitas vezes encontrada nas empresas comerciais, as quais registam apenas os pedidos satisfeitos (a procura não satisfeita é desconhecida; existindo apenas uma percepção de quanto possa ser).

Nos próximos pontos descreve-se a construção de um modelo de simulação que vai permitir caracterizar o desempenho do funcionamento previsional do sistema, considerando várias alternativas do número de ventiladores. A análise e a modulação foram realizadas com o recurso ao MS-EXCEL – ferramenta largamente subaproveitada pela generalidade dos seus utilizadores. O modelo foi generalizado de modo a ter também em consideração eventuais custos de oportunidade associados ao tempo de espera dos doentes.

3 Dados do caso

Para construção do modelo há que começar pela definição da estrutura do sistema de fila de espera, a qual compreende a fonte, a fila e o serviço. No caso do HSM e tomando como guia Tavares (1996), concluiu-se o seguinte:

- A fonte é constituída pelos doentes que entram em falência respiratória e que provêm de outros serviços (o serviço de Urgência possui os seus próprios ventiladores). A sua dimensão é muito variável, sendo considerada como infinita. As chegadas à fila são incontroláveis (ninguém pode saber quando um qualquer doente entrará em falência respiratória). O padrão das chegadas é aleatório; os intervalos de tempo entre chegadas sucessivas podem ser descritos por uma distribuição de probabilidade exponencial negativa. A taxa média de chegadas (doentes admitidos) prevista para o próximo ano é de aproximadamente 1,1 doentes/dia. A atitude é considerada “paciente” – por razões óbvias!
- A fila é única. O seu comprimento (número de doentes na fila) deve ser nulo, já que um doente necessitado deve ser imediatamente assistido. No processo de decisão, poder-se-ão admitir alguns doentes, os quais serão encaminhados para outros hospitais (acompanhados por ventiladores portáteis). A disciplina da fila, isto é, a prioridade no atendimento depende logicamente da gravidade do estado dos doentes. No modelo de simulação, considera-se adequada a disciplina FIFO (*First In First Out*).
- A configuração do serviço é de múltiplos servidores (ventiladores) e uma fase. A sua dimensão é simples (os doentes são atendidos individualmente). O tempo de serviço foi dividido em dois padrões: O primeiro (Tipo I), para 90% dos doentes, descrito por uma distribuição de probabilidade Beta aproximada de parâmetros: mínimo = 1 dia; mais provável = 6 dias e máximo = 21 dias. O outro (Tipo II), para 10% dos doentes (que necessitam de uma traqueotomia) descrito por uma distribuição de probabilidade Beta aproximada de parâmetros: mínimo = 0,5 dias; mais provável = 1 dia e máximo = 2 dias. Estes parâmetros deveriam ter sido seleccionados após um teste de hipótese de aderência dos dados a várias distribuições teóricas. Como não existiam dados, inquiriram-se alguns técnicos do SMI e a distribuição Beta foi considerada como sendo a de melhor ajustamento. Noutras circunstâncias, utilizar-se-ia o método estatístico das observações instantâneas.

Para generalizar o caso a outras situações (fora de questão no caso do HSM), introduz-se a dimensão económica no problema e arbitram-se os valores do custo de posse de um recurso em 250 €/dia e do custo de oportunidade de um cliente aguardando assistência em 1.000 €/dia.cliente.

Segue-se a construção do modelo.

4 Construção do modelo

O modelo pode ser construído de duas formas: i) programando por objectos simuladores de eventos discretos disponíveis no mercado mundial ou ii) programando uma folha de cálculo como, por exemplo, o MS-EXCEL. O primeiro *software* usa a abordagem do tipo “O que é que acontece se...?”, isto é, o modelo tem de ser alterado de cada vez que se fizer variar o número de servidores (ventiladores no caso presente). No MS-EXCEL, o modelo pode ser construído de uma única vez usando um método numérico e fornecer indicadores do desempenho das soluções alternativas, supondo o sistema constituído por n , $n+1$, $n+2$, etc. servidores (ventiladores). A programação no MS-EXCEL poderá também permitir a revelação da melhor alternativa à luz de um qualquer critério ou à luz de uma hierarquia de critérios. Além disso, a compreensão do problema e a confiança depositada nos resultados do modelo programado de raiz pelo próprio resulta maior. Por último, o MS-EXCEL encontra-se largamente difundido e possui um espectro de aplicações extremamente largo, enquanto que o *software* de simulação destina-se apenas a este fim e possui preços muito variáveis. A opção por um tipo ou outro de *software* dependerá das preferências pessoais do analista mas, em última análise, da natureza e complexidade do modelo a criar.

Uma vez os resultados disponíveis, os decisores elegerão a alternativa que reúna maior mérito face aos critérios que considerem mais adequados.

Um cuidado a ter quando se constrói um qualquer modelo de um sistema no MS-EXCEL consiste em criar uma zona (ou folha) para dados, outra para cálculos intermédios e outra ainda para resultados. Outro cuidado básico consiste em não introduzir na programação quaisquer constantes, de modo a que o modelo permaneça válido, quaisquer que sejam os dados. Com efeito, o sistema poderá alterar-se ao longo do tempo e será vantajoso dispor do modelo sempre pronto para, em poucos minutos, analisar novos dados e actualizar conclusões.

O Quadro 1 construído no MS-EXCEL mostra todos os dados considerados pertinentes no caso.

Neste quadro, o acrónimo MTBA significa *Mean Time Between Arrivals*. Os valores de MTBA foram determinados do seguinte modo:

- Tipo I: 90% da média de chegadas à fila: $0,9 \times 1,1 = 0,99$ doentes/dia ou $1/0,99 \cong 1,01$ dias entre chegadas sucessivas;
- Tipo II: 10% da média de chegadas à fila: $0,1 \times 1,1 = 0,11$ doentes/dia ou $1/0,11 \cong 9,1$ dias entre chegadas sucessivas;

Antes de se prosseguir para a construção do modelo, descreve-se resumidamente o método utilizado para gerar acontecimentos aleatórios.

Quadro 1 – Dados do caso

Dados de serviço	
Intervenções Tipo I	
MTBA =	1,01 dias
max =	21 dias
min =	1 dias
mp =	6 dias
Intervenções Tipo II	
MTBA =	9,1 dias
max =	2 dias
min =	0,5 dias
mp =	1 dias
Dados de custos	
Custo de oportunidade =	1000 €/dia.paciente
Custo de 1 Ventilador =	250 €/dia

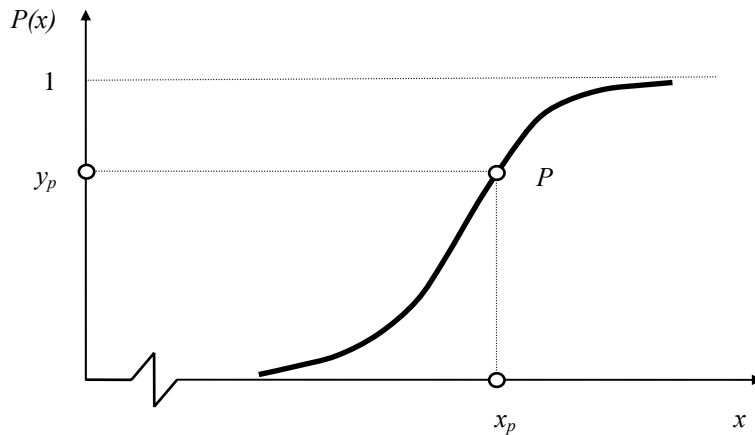
4.1 Método de simulação de Monte-Carlo

O método de simulação de Monte-Carlo desenvolve-se ao longo dos quatro seguintes passos, ilustrados graficamente:

1. Define-se a função de probabilidade acumulada $P(x)$ da variável aleatória x , a qual pode ser uma distribuição teórica (Uniforme, Triangular, Normal, Beta, Weibull, etc.) ou uma distribuição empírica qualquer. A Figura 1 representa uma função de probabilidade acumulada $P(x)$ da variável aleatória genérica x ;
2. Selecciona-se um número aleatório equiprovável entre 0 e 1 usando a função $RAND()$. Representa-se este número y_p no eixo das ordenadas da função $P(x)$;
3. Projecta-se y_p horizontalmente até à curva $P(x)$, definindo-se o ponto P . Projecta-se este ponto, por sua vez, sobre o eixo das abcissas, definindo-se o valor x_p de uma amostra;
4. Repete-se o procedimento anterior e obtém-se uma amostra de valores x_p .

Esta transformação de y em x designa-se “processo transformador”.

Figura 1 – Função de probabilidade acumulada $P(x)$ da variável aleatória x



No modelo a construir, as variáveis aleatórias, conforme já referido anteriormente no ponto 3, são de duas naturezas:

- Os tempos entre chegadas dos clientes à fila (tempos entre solicitações de ventiladores por parte dos doentes) são descritos por uma distribuição de probabilidade exponencial negativa. O único parâmetro desta distribuição é a taxa média de chegadas λ doentes/dia.

Valores de uma variável aleatória x que se comporta de acordo com uma distribuição exponencial negativa são obtidos no MS-EXCEL pela Expressão (1) <http://www.rassis.com/estatistica.html> (2007).

$$x = -\frac{\ln(RAND())}{\lambda} \quad (1)$$

Por exemplo, sendo $\lambda = 1,01$ e $RAND() = 0,421768$, obtém-se $x = 0,855$. Assim, se o doente anterior tivesse chegado, por exemplo, no momento 3 dias (após a inicialização do modelo), este novo doente teria chegado 0,855 dias depois, ou seja, no momento $3 + 0,855 = 3,855$ dias.

- Os tempos de atendimento (doentes ventilados) são descritos por uma distribuição de probabilidade Beta aproximada de parâmetros: mínimo (min), mais provável (mp) e máximo (max).

Valores de uma variável aleatória x , comportando-se segundo uma distribuição Beta aproximada, são obtidos no MS-EXCEL pela Expressão (2) <http://support.microsoft.com/kb/828299> (2007).

$$x = BETAINV(RAND(); \alpha; \beta; \min; \max) \quad (2)$$

Em que α e β são parâmetros de forma calculáveis pelas Expressões (3) e (4) <http://www.brighton-webs.co.uk/distributions/beta.asp> (2007).

$$\alpha = \left(\frac{med - \min}{\max - \min} \right) \left(\frac{(med - \min)(\max - med)}{dp^2} - 1 \right) \quad (3)$$

$$\beta = \left(\frac{\max - med}{med - \min} \right) \alpha \quad (4)$$

A média (med) e o desvio padrão (dp) são dados, por sua vez, pelas Expressões (5) e (6).

$$med = \frac{\max + 4mp + \min}{6} \quad (5)$$

$$dp = \frac{\max - \min}{6} \quad (6)$$

Por exemplo, sendo $\max = 21$, $\min = 1$; $mp = 6$ e $RAND() = 0,118674$, obtêm-se: $med = 7,667$, $dp = 3,333$, $\alpha = 2,333$, $\beta = 4,667$ e $x = 3,743$.

A construção do modelo prossegue recorrendo-se com frequência à função lógica $IF(statement; then; else)$ para relacionar sequencialmente os vários acontecimentos.

5 Resultados do modelo

O Quadro 2 mostra o resultado de uma das corridas do simulador, Law *et al.* (2000), o qual foi construído para “contar a história” do atendimento dos primeiros 500 doentes a partir do sistema vazio (20 ventiladores todos livres). Neste quadro pode-se observar, por exemplo, o seguinte:

- Os ventiladores não foram “rotulados”, isto é, o ventilador designado como 1º significa que será sempre o seleccionado em primeiro lugar se estiver disponível, o 2º em segundo lugar se o 1º não estiver disponível, o 3º se o 1º não estiver disponível e se o 2º também não estiver disponível e assim sucessivamente;
- O 1º doente surge passados 0,56 dias ($0,56 \times 24 = 13,44$ horas depois da hora 0). É recebido pelo 1º ventilador e permanece ventilado durante 6,86514 dias. O ventilador é libertado passados 7,42514 dias;
- O 6º doente é recebido pelo 1º ventilador passados 7,69 dias. O 2º, 3º, 4º (até ao 20º) ventiladores permanecem ocupados mas não são necessários (sinal “-“ na coluna “Início”);

- O 14º doente é recebido passados 14,84 dias. O 1º ventilador encontra-se ocupado (sinal “*” na coluna “Início”) até ao dia 16,61661 pelo que o doente é recebido pelo 2º ventilador que se encontra livre. Permanece neste 6,556946 dias e sai no dia 21,39695. Este doente teria aguardado 1,776608 dias se existisse apenas um ventilador;
- O 20º doente chega ao serviço no dia 19,21 mas encontra os 4 ventiladores ocupados pelo que será necessário outro ventilador (sinais “*” nas colunas “Início” dos 4 ventiladores);
- Se existisse um único ventilador, o tempo total de espera dos 500 doentes teria sido 2.141,943 dias. O tempo máximo de espera de um qualquer doente aguardando o ventilador teria sido 15,88054 dias e o tempo médio 4,283886 dias;
- Se existissem 4 ventiladores, o tempo total de espera dos 500 doentes teria sido 381,8583 dias. O tempo máximo de espera de um qualquer doente aguardando o ventilador teria sido 4,973604 dias e o tempo médio 0,763717 dias;
- Os intervalos de tempo entre chegadas sucessivas dos doentes à fila de espera foram modelados por uma distribuição exponencial negativa e o tempo de serviço (ventilador ocupado) foi modelado por uma distribuição Beta aproximada. No processo de chegada dos doentes à fila, foram combinadas aleatoriamente chegadas do Tipo I e do Tipo II, nas proporções 0,9 e 0,1 respectivamente.

O Quadro 3 mostra a síntese de uma das corridas do modelo de simulação. Neste quadro pode ver-se que os 500 doentes precisaram de um máximo de 16 ventiladores em simultâneo. Podem ver-se ainda, o tempo médio e o tempo máximo para as 20 alternativas (existência de 1 único ventilador, existência de 2, existência de 3, etc.). A Figura 2 ilustra estes resultados.

Se, generalizando, os custos de posse dos recursos e de oportunidade de clientes aguardando serviço fossem tidos em conta, o *trade-off* seria obtido para 5 ventiladores. Isto é, o custo total (soma do custo de posse com o custo de oportunidade) mínimo é conseguido quando o número de ventiladores é igual a 5. A Figura 3 ilustra estes resultados.

Quadro 2 – Resultados de uma corrida do simulador para os primeiros 25 doentes e para 4 dos ventiladores (o sinal “-“ significa que não é necessário; o sinal “*” significa que não está disponível)

Ordem	Chegada à fila	Tempo atendimento	1º Ventilador			2º Ventilador			3º Ventilador			4º Ventilador		
			Início	Fim	Espera	Início	Fim	Espera	Início	Fim	Espera	Início	Fim	Espera
			Total = 2141,943 Máximo = 15,88054 Média = 4,283886			Total = 1034,354 Máximo = 9,040322 Média = 2,068708			Total = 637,1679 Máximo = 8,455312 Média = 1,274336			Total = 381,8583 Máximo = 4,973604 Média = 0,763717		
1	0,56	6,86514	0,56	7,42514	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0
2	0,97	13,72644	*	7,42514	6,45514	0,97	14,69644	0	-	0	0	-	0	0
3	3,76	16,46494	*	7,42514	3,66514	*	14,69644	3,66514	3,76	20,22494	0	-	0	0
4	3,84	8,298737	*	7,42514	3,58514	*	14,69644	3,58514	*	20,22494	3,58514	3,84	12,13874	0
5	7,3	5,743223	*	7,42514	0,12514	*	14,69644	0,12514	*	20,22494	0,12514	*	12,13874	0,12514
6	7,69	0,622409	7,69	8,312409	0	-	14,69644	0	-	20,22494	0	-	12,13874	0
7	7,88	10,88839	*	8,312409	0,432409	*	14,69644	0,432409	*	20,22494	0,432409	*	12,13874	0,432409
8	8,05	1,435463	*	8,312409	0,262409	*	14,69644	0,262409	*	20,22494	0,262409	*	12,13874	0,262409
9	9,12	7,496606	9,12	16,61661	0	-	14,69644	0	-	20,22494	0	-	12,13874	0
10	11,19	2,077862	*	16,61661	5,426606	*	14,69644	3,50644	*	20,22494	3,50644	*	12,13874	0,948737
11	11,45	9,016396	*	16,61661	5,166606	*	14,69644	3,24644	*	20,22494	3,24644	*	12,13874	0,688737
12	11,61	9,25017	*	16,61661	5,006606	*	14,69644	3,08644	*	20,22494	3,08644	*	12,13874	0,528737
13	11,82	1,287367	*	16,61661	4,796606	*	14,69644	2,87644	*	20,22494	2,87644	*	12,13874	0,318737
14	14,84	6,556946	*	16,61661	1,776606	14,84	21,39695	0	-	20,22494	0	-	12,13874	0
15	15,04	6,615425	*	16,61661	1,576606	*	21,39695	1,576606	*	20,22494	1,576606	15,04	21,65543	0
16	15,89	6,54214	*	16,61661	0,726606	*	21,39695	0,726606	*	20,22494	0,726606	*	21,65543	0,726606
17	16,16	11,91097	*	16,61661	0,456606	*	21,39695	0,456606	*	20,22494	0,456606	*	21,65543	0,456606
18	17,84	14,881	17,84	32,721	0	-	21,39695	0	-	20,22494	0	-	21,65543	0
19	18,1	4,440819	*	32,721	14,621	*	21,39695	3,296946	*	20,22494	2,124935	*	21,65543	2,124935
20	19,21	9,502345	*	32,721	13,511	*	21,39695	2,186946	*	20,22494	1,014935	*	21,65543	1,014935
21	19,59	7,226783	*	32,721	13,131	*	21,39695	1,806946	*	20,22494	0,634935	*	21,65543	0,634935
22	19,97	11,53319	*	32,721	12,751	*	21,39695	1,426946	*	20,22494	0,254935	*	21,65543	0,254935
23	20,84	4,933125	*	32,721	11,881	*	21,39695	0,556946	20,84	25,77312	0	-	21,65543	0
24	21,39	2,748362	*	32,721	11,331	*	21,39695	0,006946	*	25,77312	0,006946	*	21,65543	0,006946
25	21,47	8,31575	*	32,721	11,251	21,47	29,78575	0	-	25,77312	0	-	21,65543	0

Quadro 3 – Síntese de uma das corridas do simulador

Nº de Ventiladores	Custo de posse (K€)	Custo de oportunidade (K€)	Custo total (K€)	Tempo médio espera fila (dias)	Tempo máx. espera fila (dias)
1	111,51	1.985,42	2.096,93	3,97	13,48
2	223,03	1.101,80	1.324,83	2,20	10,52
3	334,54	636,81	971,34	1,27	8,01
4	446,05	405,85	851,90	0,81	7,69
5	557,56	281,41	838,97	0,56	5,41
6	669,08	188,27	857,35	0,38	4,66
7	780,59	134,39	914,98	0,27	3,72
8	892,10	102,31	994,41	0,20	3,72
9	1.003,61	70,62	1.074,24	0,14	2,70
10	1.115,13	47,83	1.162,96	0,10	2,70
11	1.226,64	31,76	1.258,40	0,06	2,70
12	1.338,15	22,18	1.360,33	0,04	2,70
13	1.449,66	9,80	1.459,46	0,02	1,50
14	1.561,18	4,38	1.565,55	0,01	1,50
15	1.672,69	1,42	1.674,10	0,00	0,45
16	1.784,20	0,20	1.784,40	0,00	0,20
17	1.895,71	0,00	1.895,71	0,00	0,00
18	2.007,23	0,00	2.007,23	0,00	0,00
19	2.118,74	0,00	2.118,74	0,00	0,00
20	2.230,25	0,00	2.230,25	0,00	0,00

Figura 2 - Tempo em fila de espera

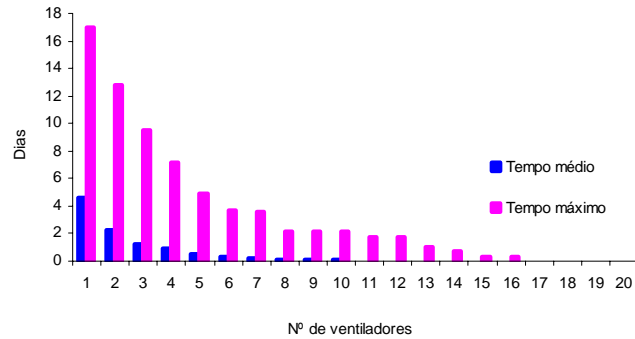
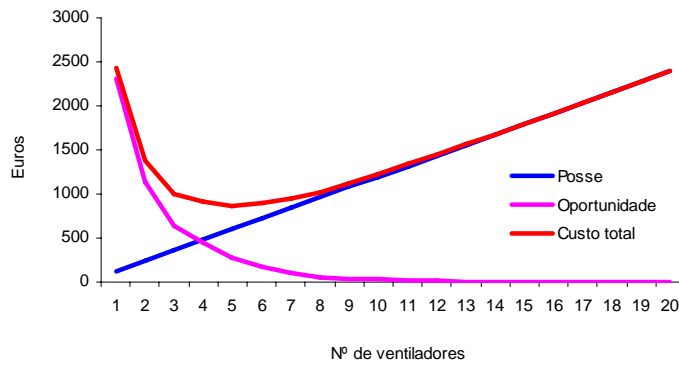


Figura 3 - Custos das alternativas



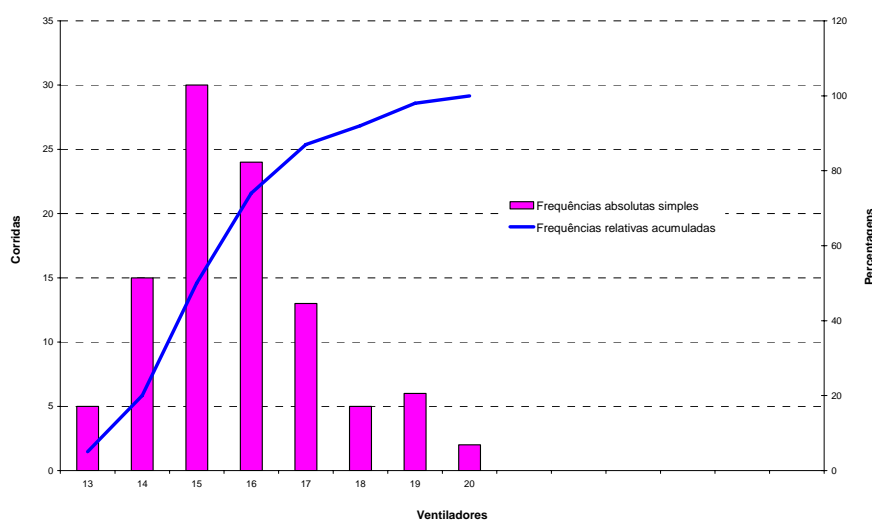
No SMI do HSM a preocupação é antes a de responder prontamente sempre que o serviço é solicitado. Um indicador de ineficiência – que interessa minimizar – é medido pela frequência com que novos doentes têm de ser recusados e transferidos para outros serviços ou hospitais. Para determinar a probabilidade de esta situação ocorrer, realizaram-se várias corridas do simulador de forma a conseguir significância estatística suficiente, Guimarães *et al.* (1997). Bastaram 100 corridas para obter um valor esperado de ventiladores igual a 15,74 e um erro amostral de 0,309.

Os valores do número máximo de ventiladores necessários obtidos nas 100 corridas foram depois tratados em frequência, novamente numa aplicação em MS-EXCEL – disponível em <http://www.rassis.com/estatistica.html> (2007). Os resultados podem ser vistos no Quadro 4 e na Figura 4.

Quadro 4 – Análise em frequência do nº máximo de ventiladores obtidos em 100 corridas do simulador

Análise em frequência					
Lim.inf. intervalo	Lim.sup. intervalo	f(i)	f(i)%	F(i)	F(i)%
13	13	5	5	5	5
14	14	15	15	20	20
15	15	30	30	50	50
16	16	24	24	74	74
17	17	13	13	87	87
18	18	5	5	92	92
19	19	6	6	98	98
20	20	2	2	100	100

Figura 4 – Análise em frequência do nº máximo de ventiladores obtidos em 100 corridas do simulador



Da leitura do quadro anterior, resulta que:

A probabilidade de serem necessários 14 ou mais ventiladores é de 0,95;
A probabilidade de serem necessários 15 ou mais ventiladores é de 0,80;
A probabilidade de serem necessários 16 ou mais ventiladores é de 0,50;
A probabilidade de serem necessários 17 ou mais ventiladores é de 0,26;
A probabilidade de serem necessários 18 ou mais ventiladores é de 0,13;
A probabilidade de serem necessários 19 ou mais ventiladores é de 0,08;
A probabilidade de serem necessários 20 ou mais ventiladores é de 0,02;

Em linguagem corrente, aquela probabilidade de não haver ventiladores suficientes, designa-se por “risco”.

6 Conclusões

Nas duas últimas décadas, a velocidade crescente de cálculo dos computadores e a disponibilidade de *software* comercial de programação por objectos, tornou a opção de análise de problemas envolvendo filas de espera por técnicas de simulação mais vantajosas, pois oferecem flexibilidade na selecção de distribuições de probabilidade e a capacidade de correlacionar variáveis entre si – maior realismo, em síntese. O caso do SMI do HSM aqui descrito demonstra bem a utilidade de uma técnica capaz de quantificar a incerteza e de fornecer o “risco” de um acontecimento temido se verificar. A percepção do SMI de que o número actual de ventiladores deveria ser incrementado em cerca de 50% revelou-se bastante realista. A vantagem da simulação consiste em encontrar as melhores soluções de problemas operacionais recorrendo a métodos científicos comprovados e mais actuais e menos à intuição.

Para a análise e a modulação bastou, neste caso, o recurso ao MS-EXCEL – ferramenta largamente subaproveitada. Estendeu-se também o problema à vertente económica, abordagem que sempre interessa quando os clientes aguardando serviço representam um custo de oportunidade.

Referências

GUIMARÃES, Rui Campos *et al.*, *Estatística*, (1997) Mc Graw Hill de Portugal, Lisboa
LAW, Averill M. e Kelton, W. David, (2000) *Simulation Modelling and Analysis*, McGraw-Hill International Series, Boston
TAVARES, Valadares *et al.*, (1996) *Investigação Operacional*, McGraw-Hill, Lisboa