

1. Numa estação ferroviária, os passageiros chegados em composições repartem-se pelos seguintes grupos:

- 40% usam o metropolitano;
- 35% utilizam autocarros;
- 5% recorrem a táxis;
- os restantes ficam na zona, não recorrendo a qualquer meio de transporte adicional.

- a) Suponha que se pretende, num modelo de simulação, modelar o comportamento de um passageiro acabado de chegar. Defina um processo (implementável em computador) para determinar que modo de transporte será usado por esse passageiro escolhido ao acaso. Ilustre com um exemplo.
- b) Admita agora que cada composição transporta entre 200 e 400 passageiros, com uma distribuição de probabilidades uniforme. Defina um processo (integrável num modelo de simulação) para gerar a repartição dos passageiros chegados em cada composição pelos grupos acima referidos.

2. Para efectuar a ligação entre dois portos, o navio NAVEX leva 1, 2 ou 3 semanas (com probabilidades, estimadas com base em registos históricos, de 0.3, 0.6, e 0.1, respectivamente), dependendo das condições do mar e de outros factores incontrolláveis.

A bordo do NAVEX, os passageiros consomem um dado produto P em quantidades variáveis. Registos históricos mostram que o consumo de P por semana de viagem pode ser de 10 a 15 unidades com probabilidades praticamente idênticas.

Para definir regras de aprovisionamento do produto P, à partida do porto de origem, o responsável pelos aprovisionamentos precisa de conhecer a distribuição de probabilidades do "consumo de P durante o tempo de viagem" (sendo este tempo variável, como acima indicado).

- a) Descreva um processo capaz de, por simulação, definir a distribuição de probabilidades pretendida.
- b) Ilustre o procedimento para o caso de uma só viagem, tirando partido das sequências de números aleatórios uniformes (no intervalo $[0, 100[$) abaixo listadas:

43;	62;	21;	85;	
52;	33;	73;	48;	

3. Numa dada paragem de autocarros, estes passam com intervalos regulares de 10 minutos. O número de lugares disponíveis nos autocarros é variável, podendo ser descrito por uma distribuição equiprovável entre 5 e 35 lugares. Os passageiros chegam a esta paragem segundo um processo poissoniano de média 2 passageiros por minuto.

- a) Construa um modelo de simulação deste sistema que permita apresentar estatísticas (médias e histogramas de frequências) sobre o número de passageiros na fila imediatamente antes da chegada e depois da partida dos autocarros.
- b) Usando o modelo descrito na alínea a), simule o funcionamento do sistema durante meia hora, partindo de uma situação em que acabou de passar um autocarro deixando 5 passageiros na paragem. Para esta simulação, admita que o número de passageiros que chegam a esta paragem em intervalos de 10 minutos só pode tomar os valores 15, 20 ou 25 com iguais probabilidades e utilize a seguinte sequência de números aleatórios equiprováveis:

0.15; 0.32; 0.84; 0.53; 0.72; 0.28

4. Num entreposto são diariamente descarregados camiões que transportam um produto XPTO, dispondo o entreposto dos meios necessários para garantir a descarga de todos os camiões que chegam no próprio dia (podendo considerar-se desprezáveis e irrelevantes os tempos de espera ou de realização das operações de descarga).

O número de camiões a descarregar no entreposto em cada dia varia aleatoriamente entre 1 e 5, com a seguinte distribuição de probabilidades:

N.º de camiões	1	2	3	4	5
Probabilidade	0.15	0.3	0.4	0.1	0.05

A carga que cada camião transporta tem uma distribuição uniforme entre 5 e 15 toneladas.

- a) Especifique um modelo de simulação que lhe permita obter estatísticas sobre a carga total descarregada por dia no entreposto.
- b) Usando o modelo especificado na alínea anterior, simule o funcionamento do entreposto durante dois dias, usando para o efeito a seguinte sequência de números aleatórios equiparáveis entre 0 e 1:

0.27; 0.81; 0.63; 0.11 0.35; 0.57;

5. Uma empresa que produz e fornece um dado produto aos seus clientes pretende dimensionar a sua frota de camiões. Os pedidos dos seus clientes são conhecidos com alguma antecedência e o abastecimento a clientes é planeado de véspera. O número de pedidos de abastecimento de clientes para cada dia é uma grandeza aleatória que oscila de 30 a 50 pedidos, com uma distribuição de

probabilidades aproximadamente uniforme. Os pedidos para um dado dia, que não seja possível satisfazer nesse dia, acumulam para o dia seguinte, mas a empresa associa uma penalização (custo) de A euros por pedido e dia de atraso.

A cada pedido de abastecimento corresponde uma entrega (por um camião) que ocupa o camião durante todo o dia de trabalho.

Quando a frota própria não é suficiente para satisfazer todos os pedidos pendentes, a empresa pode recorrer ao aluguer de camiões extra, solução esta que é sempre considerada preferível a atrasar entregas. No entanto, nem sempre estão disponíveis, no mercado de aluguer, os camiões pretendidos. Pode admitir-se que o número máximo de camiões para aluguer disponíveis (x) varia de dia para dia (entre 5 e 9), com a seguinte distribuição de probabilidades:

x	5	6	7	8	9
$p(x)$	0.35	0.25	0.20	0.15	0.05

Cada camião alugado representa um custo de L por dia de aluguer. Os camiões da frota própria representam um encargo diário fixo de F (por amortização, seguros, etc.), mais um custo variável de V por cada dia de utilização.

- Especifique um modelo de simulação que permitisse apoiar decisões sobre o dimensionamento da frota própria, admitindo ser objectivo minimizar os custos globais de operação do sistema.
- Utilizando o modelo especificado na alínea anterior, simule o funcionamento do sistema para dois dias admitindo que a frota própria é de 35 camiões e não há pedidos pendentes do dia anterior (no primeiro dia). Utilize a seguinte sequência de números aleatórios uniformes (0,1):

0.74; 0.32; 0.87; 0.11; 0.21; ...

6. A pequena barragem de Loivos foi construída com dois objectivos principais:

- Captação de água para abastecimento das populações vizinhas, cujo consumo se pode considerar constante e igual a $1.000 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- Produção de energia eléctrica, aproveitando eventuais excedentes de água relativamente às necessidades para consumo.

Rapidamente, porém, a barragem tornou-se num apazível local de convívio e lazer muito frequentado pelas populações da zona. Face a esta utilização e a outras razões ambientais, não é desejável que o volume de água na albufeira desça abaixo dos 20.000 m^3 . Quando esta situação ocorre, a produção de energia é cancelada e o abastecimento de água é reduzido a metade ($500 \text{ m}^3/\text{dia}$). Se o volume de água descer abaixo dos 10.000 m^3 , todo o abastecimento é cancelado.

A barragem tem capacidade para reter até $40.000m^3$ de água, sendo eventuais excessos descarregados, situação que também é considerada indesejável.

A quantidade de água utilizada na produção de energia tem vindo a ser determinada com base numa regra de gestão definida por patamares (Ver Quadro I).

Quadro I

Volume de água na albufeira (V) ($10^3 m^3$)	Caudal utilizado para produção de energia (E) (m^3/dia)
≤ 25	0
$]25, 30]$	1000
$]30, 35]$	2000
>35	3000

O caudal a usar diariamente para produção de energia é fixado no início do dia, em função do volume de água existente na albufeira nesse instante, e não é alterado ao longo do dia, com excepção do caso em que o volume de água desce abaixo dos $2000m^3$ e que leva ao cancelamento da produção de energia.

Esta regra de gestão tem sido alvo de críticas severas por ter levado com alguma frequência a reduções no abastecimento de água e a níveis de água na albufeira inferiores ao limiar dos $20.000m^3$, situações contra as quais se levantam os protestos das populações atingidas. No entanto, é geralmente reconhecido que, face à grande variabilidade das afluências (Ver Quadro II), não é fácil definir uma regra que, por um lado, dê prioridade ao abastecimento e, por outro, não desperdice oportunidades de aproveitamentos de excedentes para a produção de energia cujo valor económico não deve ser desprezado.

Construa um modelo de simulação que permita avaliar a regra de gestão que tem vindo a ser adoptada, bem como outra(s) alternativa(s) que queira sugerir, tendo em vista que essa avaliação deve ter em linha de conta os seguintes objectivos contraditórios:

a) Minimizar a frequência de situações de:

- 1) Condicionamento do abastecimento de água;
- 2) Descarga de água (por se ter excedido a capacidade da albufeira).
- 3) Descida do nível de água retida abaixo dos $20.000m^3$.

b) Maximizar a energia eléctrica produzida.

- 1) Admita que no início da semana 1, o volume de água na albufeira é de $28.000m^3$.
- 2) Admita que as afluições semanais se repartem uniformemente ao longo da semana.

Quadro II

Afluições semanais (em $10^3 m^3$)	
Semana	Albufeira
1	15
2	12
3	3
4	12
5	25
6	18
7	12
8	2
9	6
10	13
11	37
12	21
13	17
14	31
15	10
.	.
.	.
.	.

7. Um terminal serve de interface entre transporte fluvial (ligação à outra margem do rio Vaiágua) e rodoviário (ligação ao centro da cidade). Durante o período de ponta matinal, os barcos chegam segundo um processo poissoniano (de média 3 barcos/hora), normalmente com a sua lotação esgotada (200 passageiros). Em média, cerca de 20% dos passageiros apanham o autocarro para o centro, enquanto os restantes trabalham nas imediações do terminal ou usam meios de transporte alternativos. Os autocarros partem regularmente para o centro a intervalos de 5 minutos.

- a) Descreva um processo (integrável num modelo de simulação digital) que permita determinar o número de passageiros (dos 200 chegados num dado barco) que apanham o autocarro para o centro.
- b) Elabore um modelo de simulação deste terminal que, tendo em vista os seu dimensionamento, permita caracterizar o número de passageiros a aguardar ligação ao centro.

8. Durante o período de ponta matinal, numa estação ferroviária situada na periferia da capital planeia-se que os comboios com destino ao centro partam com um horário cadenciado (de 15 em 15 minutos), tendo capacidade para 1000 passageiros.

Os passageiros que utilizam este serviço chegam à estação por três modos:

- 1) de barco (os barcos transportam 200 passageiros e chegam de meia em meia hora);
- 2) de autocarro (os autocarros transportam 40 passageiros e chegam segundo um processo poissoniano de média 76 autocarros/hora);
- 3) por outros modos (o número de passageiros que chegam por outros modos em intervalos de 5 minutos tem uma distribuição normal de média 50 e desvio padrão 10).

a) Procure especificar um modelo de simulação que permitisse estimar a acumulação de passageiros na gare e a percentagem de passageiros que não têm lugar no comboio que parte imediatamente após a sua chegada à estação.

b) Suponha agora que o número de passageiros transportado por barco pode ser 100, 150 ou 200, com iguais probabilidades e que, em média, 90% dos passageiros dos barcos apanham o comboio.

Descreva um algoritmo (implementável em computador) que permitisse determinar, para cada barco chegado, quantos passageiros pretendem apanhar o comboio.

9. A povoação CARENTE, do concelho de Pedrosa, é alimentada a partir de um reservatório de distribuição de água com $350m^3$ de capacidade.

Este reservatório, R_A , é cheio através de uma conduta proveniente de um outro reservatório, R_B , que se situa a cota mais elevada.

Tendo o reservatório R_B sido construído por outro concelho, o enchimento de R_A depende da maior ou menor disponibilidade desse concelho.

Estatísticas recolhidas no local mostraram que o enchimento se realiza de acordo com a seguinte função massa de probabilidade,

$P(X=x)$	$Q(m^3/H)$
0.10	40
0.25	15
0.45	20
0.20	10

Por sua vez, o consumo horário de água de CARENTE, a partir do reservatório R_A segue uma distribuição normal com média e desvio padrão, variáveis consoante o período do dia, conforme se indica:

	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
μ	5	5	5	5	5	5	9	9	10	15	60
σ	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	10

	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
μ	60	60	60	30	30	20	20	20
σ	10	10	10	6	6	6	6	6

	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
μ	10	10	10	9	7
σ	2	3	3	3	2

- a) Elabore um modelo de simulação que descreva o funcionamento do reservatório R_A . Este modelo deverá permitir conhecer em cada hora, o volume de água disponível, a água proveniente de R_B , a água fornecida, a existência de roturas, etc..
- b) Admitindo que o reservatório R_A , às 9 da manhã tem $170m^3$ de água, simule o funcionamento do sistema até às 14h.

10. A um armazém, que funciona como entreposto de uma empresa distribuidora chegam camiões para descarregar e/ou carregar produtos segundo um processo poissoniano com taxa média de 4 camiões por hora. O armazém dispõe de 4 cais para carga ou descarga de produtos, sendo estas operações (carga/descarga) realizadas por três equipas de empilhadores. Os tempos necessários para carregar ou descarregar um camião são variáveis, podendo ser modelados para ambas as operações através de uma distribuição normal de média 45 minutos e desvio padrão 5 minutos. Constata-se que 40% dos camiões vêm apenas descarregar produtos, igual percentagem apenas carregam e os restantes 20% realizam ambas as operações.

Pretende-se constituir um modelo de simulação que permita simular o funcionamento deste armazém tendo em vista o redimensionamento dos meios de carga e descarga. Para tal:

- a) Identifique as entidades relevantes e trace os respectivos diagramas de ciclo de vida.
- b) Identifique e descreva os acontecimentos relevantes para a construção do modelo.
- c) Descreva um processo através do qual seja possível, para cada camião chegado, identificar o tipo de operação que ele vem executar.

11. Num porto existem dois cais para a descarga de navios porta-contentores que funcionam ininterruptamente. Os navios chegam segundo um processo poissoniano de média 2 navios/dia e transportam um número de contentores que pode ser aproximadamente descrito por uma distribuição normal de média 100 e desvio padrão de 10. A operação de acostagem do navio leva aproximadamente 20 minutos e a operação de descarga de contentores (e sua colocação no parque respectivo) processa-se a uma taxa de aproximadamente um contentor por cada 13 minutos.

Os contentores são armazenados no parque respectivo, sendo escoados por via rodoviária (1 contentor por camião). Os camiões chegam também segundo um processo poissoniano de média 12 camiões/hora e a operação de carga leva aproximadamente 15 minutos. O parque de contentores, para efeitos de escoamento, funciona apenas 16 horas por dia, pelo que os camiões que eventualmente cheguem depois da hora de encerramento do parque não são atendidos. Aliás, constata-se que quando o parque abre pela manhã existem sistematicamente já camiões à espera de carregar (cerca de 10 camiões).

Especifique um modelo de simulação capaz de representar o funcionamento deste porto tendo nomeadamente em vista o dimensionamento do parque de contentores.

12. A TTP (Transportes Terrestres Portugueses) explora uma ligação de autocarros entre um terminal suburbano e o centro da cidade. No período de ponta da manhã não está definido um horário, partindo os autocarros do terminal quando se verifica uma das condições seguintes:

- 1) O número de passageiros à espera esgota a capacidade do autocarro (40 lugares);
- 2) Decorreram já 30 minutos desde a partida anterior.

Aquelas partidas só podem obviamente verificar-se desde que haja autocarro disponível no terminal, havendo uma "pole" de veículos afectados a este serviço. O tempo de viagem entre o terminal e o centro é uma grandeza aleatória com uma distribuição normal de média 55 minutos e desvio padrão 7 minutos, enquanto o retorno leva aproximadamente 30 minutos. Os autocarros, mal largam os passageiros no centro, retornam de imediato ao terminal, podendo considerar-se desprezáveis os tempos de entrada e saída dos passageiros.

Pretende-se construir um modelo de simulação que permita estudar a dimensão da frota de veículos a afectar a este serviço para o que seja útil dispor de estatísticas sobre os tempos de espera dos utentes e índices de utilização da frota.

- a) Identifique as identidades relevantes para a modelação deste sistema, esboce os respectivos diagramas de ciclo de vida, identifique os acontecimentos a considerar e descreva as alterações de estado que lhe estão associadas.
- b) Suponha agora que o tempo de viagem pode ser simplificadaamente modelado pela distribuição de probabilidades seguinte:

Tempo de viagem	50	55	60	65
Probabilidade	0.2	0.4	0.3	0.1

Descreva um processo (integrável no modelo de simulação) para gerar valores para o tempo de viagem dos autocarros e ilustre a sua utilização tirando partido da seguinte sequência de números (pseudo) aleatórios: 0.42; 0.17; 0.79;....

13. O Porto das Rosas está dedicado à descarga de ramas transportadas por petroleiros que chegam aleatoriamente (segundo um processo poissoniano de média 3 navios/dia). O porto dispõe de cais para 3 petroleiros, demorando a operação de descarga cerca de 20 horas. Nas operações de entrada e saída de navios no porto (que levam cerca de uma hora a realizar) é utilizado um rebocador, mas aquelas manobras não podem realizar-se durante a maré-baixa.

- a) Identifique as entidades relevantes para a elaboração de um modelo de simulação do funcionamento do Porto das Rosas e esboce os respectivos diagramas de ciclo de vida. Identifique os acontecimentos relevantes (distinguindo entre não condicionados e condicionados) e descreva as alterações de estado que lhe estão associadas.
- b) Suponha que há três tipos de petroleiros que utilizam o Porto das Rosas, tendo-se constatado que 50% são do tipo A, 30% do tipo B e 20% do tipo C. Suponha que, durante a simulação, num dado dia se determinou que chegam 3 petroleiros. Descreva um processo, integrável no modelo, para determinar de que tipo(s) são os petroleiros chegados.

14. Uma empresa opera um depósito de carvão que é alimentado por via ferroviária através de composições de vagões, as quais chegam segundo um processo poissoniano de média uma composição em cada duas horas. O carvão é descarregado através de um carregador (mecânico), levando esta operação uma média de 45 minutos, com desvios aleatórios uniformes entre -10 e +10 minutos.

Este depósito serve camiões de clientes, os quais chegam com intervalos exponenciais de média 15 minutos. Estes camiões são pesados à entrada e à saída numa balança, levando cada pesagem cerca de 5 minutos. Os camiões são carregados com carvão pelo carregador acima referido, levando esta operação aproximadamente 15 minutos.

O depósito opera de forma contínua entre as 8 e as 18 horas, não sendo atendidos camiões que cheguem depois das 17h 45m. Depois das 18 horas não há novas chegadas de comboios ou de camiões.

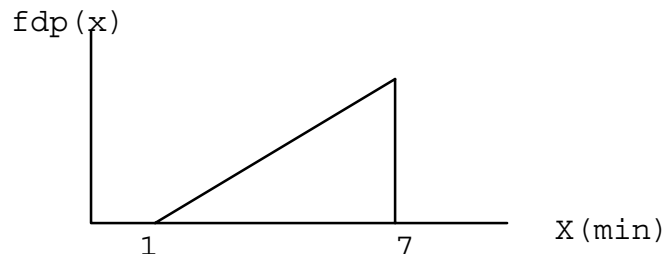
Tendo-se verificado ultimamente congestionamentos significativos no sistema, encaram-se as hipóteses de instalar um novo carregador, ou uma nova balança, ou até ambos. Pretende-se, através de um modelo de simulação, estimar os efeitos destas ampliações.

Nota: admita que é desprezável a probabilidade de se verificar falta de carvão no depósito.

15. A BOBIL vai abrir um novo posto de abastecimento na povoação ZINHA DAS BEIRAS. Este posto possuirá, numa primeira fase, uma bomba de gasolina s/ chumbo e outra de gasóleo.

O equipamento a instalar permite prever que o tempo de abastecimento para qualquer das bombas seguirá uma distribuição exponencial negativa de média 2 minutos, estimando-se que as chegadas de automobilistas se processe da seguinte forma:

- 1) através de um processo poissoniano de média 20 viaturas/hora no caso da gasolina sem chumbo;
- 2) com um intervalo entre chegadas aleatório, com a função densidade de probabilidade indicada abaixo, no caso do gasóleo.



Devido à falta de espaço que se verifica nesta primeira fase de instalação a fila de espera da bomba de gasolina sem chumbo apenas comporta um máximo de 5 viaturas.

No funcionamento deste posto BOBIL está previsto que o automobilista após o abastecimento da viatura (em regime self-service) se dirige ao *guichet* de pagamento a fim de liquidar a sua despesa (estima-se que o pagamento demora 1.5 minutos, tempo que se pode considerar fixo), após o que retorna à viatura e abandona o posto.

- a) A análise do funcionamento do sistema acima descrito pode ser feita por simulação, recorrendo ao método das três fases, com o objectivo de determinar o seu comportamento para a configuração prevista para a 1ª fase de instalação.

Defina as entidades envolvidas e trace os seus diagramas de ciclo de vida.

- b) Descreva pormenorizadamente todos os acontecimentos, tendo em atenção que deverá contemplar, na simulação, procedimentos que lhe possibilitem a obtenção de medidas de performance para o sistema.
- c) Defina, recorrendo ao método da inversão, a geração dos intervalos de tempo entre chegadas de clientes que pretendem abastecer as suas viaturas com gasóleo.

16. O Porto da Calmaria é utilizado por navios porta-contentores para carregar e/ou descarregar contentores. Os navios chegam segundo um processo poissoniano com uma taxa de 2 navios/dia e 30% apenas carregam, 20% apenas descarregam e os restantes realizam as duas operações (que são feitas em sequência).

A capacidade dos navios é variável (segundo uma distribuição equiprovável) entre 300 e 500 contentores podendo admitir-se que essa capacidade é sempre plenamente utilizada (quer na descarga quer na carga).

Os navios atracam logo que haja uma doca disponível (e esperam à entrada da barra quando não há doca disponível), sendo as operações de carga/descarga de contentores realizadas por uma grua. A descarga de um contentor leva cerca de 5 minutos a realizar, enquanto a carga demora cerca de 8 minutos.

Neste momento existem três docas e duas gruas que apenas operam entre as 7 e as 22 horas, mas encara-se a possibilidade de adquirir outras gruas e, eventualmente abrir uma outra doca. Para avaliar

o interesse destas hipóteses de expansão pretende-se construir um modelo de simulação do porto que forneça estimativas de tempos de permanência dos navios e taxas de utilização de docas e gruas para cada configuração alternativa.

- a) Identifique as entidades relevantes para a elaboração desse modelo e construa os respectivos diagramas de ciclo de vida. Identifique as actividades e acontecimentos relevantes e descreva estes de um modo completo (condições de ocorrências, se as houver, alterações de estado, etc.).

Nota: caso não saiba como tratar a questão do horário de funcionamento das gruas, ignore esta condicionante mas refira explicitamente que considerou esta simplificação.

- b) Suponha agora que o porto tem uma capacidade infinita (pelo que todos os navios chegados, são carregados/descarregados em tempo desprezável) e que se pretende apenas obter os números de contentores que são carregados (X_i) e descarregados (Y_i) em cada dia i . Descreva um processo (implementável em computador) para obter esses números X_i e Y_i e ilustre o seu funcionamento para um dia recorrendo à seguinte sequência de números aleatórios uniformes

0.43; 0.87; 0.79; 0.95; 0.23; 0.16; 0.32; 0.18.

Nota: Neste exercício admita que no primeiro dia o primeiro navio chega às 9 horas, devendo as chegadas seguintes ser calendarizadas a partir desta primeira ocorrência.

17. Na EXPO 2003 está previsto que a ligação entre a Praça do Universo e o Oceanário seja feita através de veículos com capacidade para 100 passageiros que partirão a intervalos constantes de T minutos. No entanto, quando o número de passageiros que não tem lugar num dado veículo for superior a 100, admite-se reforçar essa partida com veículos adicionais, sem que este reforço prejudique a hora da partida seguinte.

Admite-se que o número de passageiros que chegam à Praça do Universo em intervalos de 1 minuto tenha uma distribuição de Poisson de média 22 passageiros.

Pretende-se definir o intervalo de tempo T entre partidas de veículos, para o que seria relevante estimar (para cada T):

- o número médio de passageiros que não têm lugar no veículo que parte após a sua chegada à Praça do Universo;
- a taxa (média) de ocupação dos veículos.

- a) Especifique um modelo de simulação que lhe permitisse ensaiar diversos valores para T e estimar as respectivas medidas de desempenho atrás referidas.

- b) Ilustre o funcionamento do modelo especificado em a) durante três partidas de veículos, nas seguintes condições:

- partidas espaçadas de 5 minutos;
- acabou de partir um veículo deixando 5 passageiros no cais;
- o número de passageiros que chegam em intervalos de 5 minutos tem (por simplificação) uma distribuição equiprovável entre 90 e 110 passageiros.
- use a seguinte sequência de números aleatórios uniformes $[0,1]$:

0.85; 0.62; 0.21; 0.47...

18. O parque de estacionamento de uma conhecida universidade de Lisboa necessita urgentemente de ser alargado, com vista a poder satisfazer melhor a procura a que é sujeito por parte de docentes, funcionários e alunos.

A este parque, actualmente com 800 lugares, verificam-se chegada de viaturas, segundo um processo poissoniano, com as médias indicadas no quadro 1, sendo conhecido que sempre que uma viatura encontra uma fila de espera com mais de 10 viaturas existe uma possibilidade de 30% de desistir, não entrando na fila.

Sempre que a fila se apresenta com 20 viaturas, todos os novos veículos são obrigados a procurar estacionamento no exterior da universidade.

Quadro 1

Hora	Taxa de Chegada
7-9	100 viaturas/hora
9-11	300 viaturas/hora
11-13	60 viaturas/hora
13-16	100 viaturas/hora
16-20	50 viaturas/hora
20-24	20 viaturas/hora
24-7	2 viaturas/hora

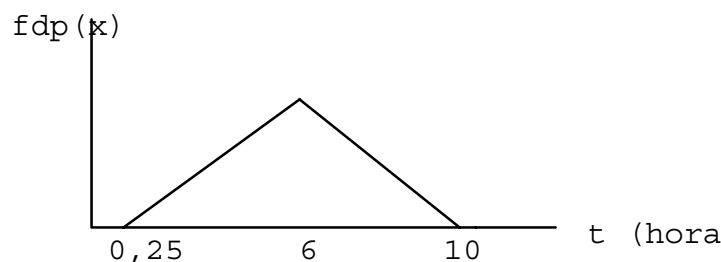
A entrada no parque só é permitida se a capacidade não estiver esgotada. O controle de entrada leva cerca de meio minuto a realizar.

Uma vez no parque, cada viatura procura um lugar para estacionar, operação em que demora um tempo t_1 , segundo uma distribuição Normal de média = $\left(10 \times \frac{n^\circ \text{veículos no parque}}{\text{capacidade do parque}}\right)$ minutos e desvio padrão = 2 minutos.

À saída, o tempo que decorre até à passagem no portão (incluindo controle de saída) tem um valor t_2 segundo uma distribuição uniforme entre 1 e 3 minutos.

Sendo conhecido que cada utente pode permanecer na Universidade (desde que abandona a viatura até a recuperar) um mínimo de 15 minutos e um máximo de 10 horas segundo a distribuição triangular abaixo indicada, conceba um modelo de simulação que possibilite a definição da capacidade do parque após as obras, sabendo que existem preocupações relacionadas com:

- Custos (função linear do n.º de lugares novos a criar).
- Percentagem de utentes que desistem.
- Tempo de espera para entrada no parque.



Na descrição do modelo identifique entidades e acontecimentos, traçando os diagramas de ciclo de vida das primeiras e descrevendo os segundos.

19. Numa dada região, a distribuição de um produto essencial é feita a partir de um depósito central que é abastecido durante a noite, garantindo-se que o depósito fica cheio no início da manhã.

Os pedidos de fornecimento do produto são feitos de véspera, mas, quando não é possível satisfazê-los, acumulam para o dia seguinte. O n.º de pedidos que chegam em cada dia é variável segundo uma distribuição normal de média 40 e desvio padrão 10 pedidos.

A distribuição do produto é feita por uma frota de camiões que opera de forma contínua entre as 6 e as 18 horas. Cada pedido de fornecimento esgota a capacidade de um camião (10 toneladas), levando cada viagem (incluindo tempos de ida, retorno, carga e descarga) um tempo variável entre 2 e 4 horas, com uma distribuição uniforme. A um camião que retorne ao depósito depois das 15 horas já não é atribuído novo serviço nesse dia, do mesmo modo que os camiões se imobilizam quando o produto se esgota no depósito ou já foram satisfeitos todos os pedidos pendentes.

Pretende-se construir um modelo de simulação que permita apoiar decisões sobre a capacidade do depósito e dimensão da frota de camiões, para o que seria relevante estimar, para cada solução, valores médios do stock do produto no depósito e do n.º de pedidos que ficam pendentes no fim de cada dia e da taxa de utilização da frota.

a) Identifique as entidades, actividades e acontecimentos relevantes para a elaboração do modelo deste sistema.

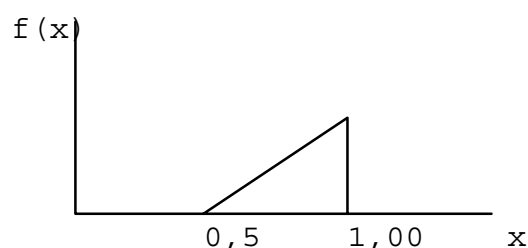
Descreva estes acontecimentos de modo o mais completo possível (condições de ocorrência, alterações de estado, etc.).

b) Utilizando o modelo especificado na alínea anterior, faça a simulação de um dia de funcionamento do sistema nas seguintes condições:

- O depósito tem capacidade para 100 toneladas e a frota é constituída por 2 camiões.
- Não há pedidos de fornecimento pendentes do dia anterior.
- O n.º de pedidos que chega em cada dia varia aleatoriamente entre 4 e 6 pedidos, com uma distribuição equiprovável.
- Utilize a seguinte sequência de números uniformes [0,1]:

0.12; 0.21; 0.84; 0.97; 0.79; 0.68; 0.87...

20. No aeroporto de Roskof os aviões de passageiros chegam a uma taxa de 12/hora, segundo uma distribuição de Poisson. Destes, 40% possuem uma capacidade para 250 passageiros, sendo que os restantes 60% possuem capacidade para 140. Cada avião transporta um total de passageiros que varia entre 50% e 100% da sua capacidade, de acordo com a distribuição triangular abaixo representada.



Terminada a aterragem, o pessoal de terra recolhe no avião a bagagem dos passageiros transportando-a em bloco para a zona em que estão instalados os tapetes de recolha de bagagem, ao mesmo tempo que os passageiros se deslocam (entre os mesmos locais) de autocarro. Nesta deslocação os passageiros perdem cerca de 15 minutos, demorando a bagagem mais 5 minutos.

Após a chegada à zona dos tapetes, o pessoal de terra aguarda a existência de um tapete vago para nele lançar a bagagem. Não se podem misturar no mesmo tapete bagagens de dois voos diferentes. A recolha da bagagem por parte dos respectivos proprietários é uma operação (para a totalidade da bagagem) com uma duração Normal de média ($0.15 \times n.^{\circ}$ passageiros), em minutos, e coeficiente de variação igual a 0.1.

É preocupação da administração deste aeroporto que os passageiros não percam um tempo excessivo a recolher toda a bagagem de cada avião. Para reduzir estes tempos, a administração admite alterar o número de tapetes actualmente existentes, num total de 4.

Pretende-se que este problema seja abordado por simulação. Para isso:

- Indique as entidades envolvidas e descreva os respectivos diagramas de ciclo de vida.
- Identifique as actividades e os acontecimentos relevantes, classifique-os e descreva-os por forma a especificar um modelo de simulação pelo método das 3 fases.
- Utilizando a sequência de números aleatórios uniformes [0.1] indicada abaixo, efectue a geração do tempo que levará a recolha da bagagem dos passageiros que chegarão no próximo avião.

0.12	0.43	0.89	0.65	0.55	0.21	0.27	0.37	0.63
0.28	0.45	0.41	0.92	0.53	0.02	0.68	0.07	0.75

21. Uma pequena empresa fabrica elementos pré-fabricados em betão armado. Pode-se resumir o processo em três fases: preparação da cofragem e armadura, betonagem e descofragem.

Na preparação é utilizada uma cofragem que é limpa e onde é colocada a armadura respectiva. Esta operação demora entre 15 e 25 minutos segundo uma distribuição uniforme.

O betão chega em camião-betoneira com um intervalo médio entre chegadas de 4 horas segundo uma distribuição exponencial negativa. Com o betão de cada camião são betonados 10 elementos, o que demora 30 minutos no total.

A descofragem é efectuada no 3º dia após a betonagem e é a primeira operação do dia, ou seja, no início de cada dia são descofrados os elementos betonados dois dias antes, sendo desprezável a duração desta operação.

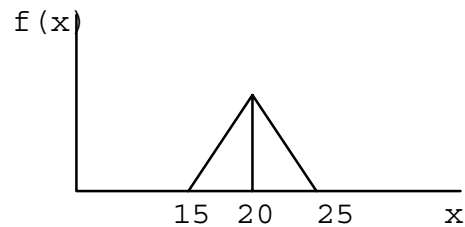
Após a descofragem, a cofragem é reutilizada no fabrico de outro elemento pré-fabricado.

Só existe uma equipa de trabalho que executa todas as três tarefas. Sempre que chega um camião-betoneira, a equipa inicia a betonagem, se estiver livre ou assim que concluir a tarefa que está a executar. Se não existirem os 10 elementos preparados para a betonagem, são betonadas apenas as que estiverem preparadas sendo o restante betão deitado fora.

Pretende-se através de um modelo de simulação dimensionar o número de cofragens para a laboração da fábrica sem desperdício significativo de betão.

Nota: Considere que um dia de trabalho é de 12 horas.

- a) Identifique as entidades relevantes do sistema e trace os seus ciclos de vida.
- b) Identifique as actividades e os acontecimentos relevantes e classifique estes últimos.
- c) Decreve os procedimentos apenas dos acontecimentos associados a actividades de betonagem.
- d) Admita que a duração da preparação é dada pela distribuição representada na figura seguinte.



Gere a duração de uma operação de preparação, utilizando o método da inversão e assumindo 0,715 como valor aleatório uniforme entre 0 e 1.