

# Modelação Estocástica

Simulação de uma Loja de Telecomunicações



## GRUPO COMPOSTO POR:

António Santos - 123434

Carolina Morgado - 123794

Diogo Nobre - 123441

Gonçalo Henriques - 123422

Inês Silva - 123407

José Alberto - 121959

**Turma CDC2**

**2025/2026**

## 1. Introdução

Este trabalho insere-se na unidade curricular de Modelação Estocástica do 1.º semestre do ano letivo 2025/2026 e tem como objetivo simular o processo de atendimento numa Loja de Telecomunicações avaliando de que forma diferentes configurações de filas, regras de prioridade e tamanho da equipa influenciam a experiência do cliente e a eficiência operacional.

Para tal, são simulados seis cenários distintos utilizando modelação de eventos em R, recorrendo ao pacote *simmer*. Através de 100 réplicas por cenário, são comparados tempos de espera, desistências, tempos de serviço e níveis de ocupação dos recursos, permitindo identificar a configuração mais eficiente e mais favorável à satisfação dos clientes.

## 2. Cenários

### 2.1. Cenário 0 - Fila única

No Cenário 0 (Base), todos os clientes esperam na mesma fila, sem qualquer regra de prioridade ou triagem, e são atendidos conforme a disponibilidade dos colaboradores, que atendem qualquer tipo de serviço (polivalentes).

Na Tabela 1, podem ser observados os valores obtidos.

Tabela 1 - Resultados C0 (100 réplicas), por tipo de cliente

Tipo	Chegadas (n)	Atendidos (n)	Desistentes (n)	Taxa desistência (%)	Espera média (min)	Espera máxima (min)	Serviço médio (min)	Serviço máximo (min)
Compra	10266	6471	3795	36.97%	20.680	25	19.976	81.255
Levantamento	4445	279	4166	93.72%	7.676	8	4.017	13.168
Reclamação	5814	5178	636	10.94%	21.607	30	11.933	88.504
Subscrição	8833	2761	6072	68.74%	17.934	20	14.974	46.839
Total	29358	14689	14669					

A análise dos resultados apresentados na tabela evidencia que o sistema de atendimento apresenta falhas significativas na capacidade de resposta, especialmente no que diz respeito ao tempo de espera e às elevadas taxas de desistência.

Embora o número de atendimentos concluídos seja considerável (14 689), observa-se que uma parte relevante dos clientes abandona o sistema antes de ser atendido, especialmente nos Levantamentos, onde a taxa de desistência atinge os 93.72%, um valor bastante elevado para um serviço que deveria ser rápido. No total, registam-se 14 669 desistências, o que representa quase metade de todas as chegadas, confirmando assim a capacidade insuficiente face à procura.

A principal causa deste abandono está associada aos elevados tempos médios de espera, que se aproximam significativamente dos respetivos tempos máximos permitidos para cada tipo de cliente.

Quanto aos tempos de atendimento, que apenas são contabilizados para os clientes que não desistiram do serviço, apresentam valores médios entre aproximadamente 4 e 20 minutos.

O Anexo 1 mostra que os colaboradores trabalham praticamente no limite durante todo o dia, com ocupações entre 95% e 100% e ociosidade praticamente nula. Isto reforça a ideia de que o sistema não consegue lidar com as variações de procura, apenas com uma única fila e sem qualquer priorização, levando ao aumento das filas e dos tempos de espera.

### 2.2. Cenário 1 - Introdução de filas separadas

No cenário 1, os quatro tipos de clientes dividem-se por duas filas separadas:

- Vendas: para realizar serviços de Compras, Subscrição e Levantamentos;
- Suporte: para realizar serviços de Reclamações e Levantamentos.

Neste cenário, os clientes que pretendem efetuar Levantamentos escolhem integrar a fila com menos pessoas em espera (parâmetro “*shortest-queue*”).

Na Tabela 2, podem ser observados os resultados obtidos.

**Tabela 2 - Resultados C1 (100 réplicas), por tipo de cliente**

<b>Tipo</b>	<b>Chegadas (n)</b>	<b>Atendidos (n)</b>	<b>Desistentes (n)</b>	<b>Taxa desistência (%)</b>	<b>Espera média (min)</b>	<b>Espera máxima (min)</b>	<b>Serviço médio (min)</b>	<b>Serviço máximo (min)</b>
<b>Compra</b>	10405	6135	4270	41.04%	21.037	25	19.981	79.210
<b>Levantamento</b>	4551	1370	3181	69.90%	6.289	8	3.965	15.496
<b>Reclamação</b>	5941	4707	1234	20.77%	16.328	30	11.875	104.217
<b>Subscrição</b>	8986	2716	6270	69.78%	18.120	20	15.001	64.104
<b>Total</b>	29883	14928	14955					

A mudança efetuada neste cenário não resolve o problema estrutural do sistema, por isso, a capacidade continua insuficiente face à procura. Embora o número total de desistentes se mantenha aproximadamente igual ao do cenário inicial, a distribuição das desistências altera-se.

Assim, como os levantamentos se podem realizar em ambas as filas, existe uma descida significativa na taxa de desistência, no entanto, estes continuam a apresentar uma taxa de desistência muito elevada, pois competem simultaneamente com serviços mais longos nas duas filas existentes. Assim, tornam a estratégia *shortest-queue* relativa, já que uma fila mais curta pode não corresponder a uma fila mais rápida, tendo as restantes aumentado, uma vez que os clientes que vão realizar levantamentos podem ir para a fila mais pequena, já os primeiros têm de ir para filas específicas.

Relativamente a Compras e Subscrições permanecem penalizadas, mantendo tempos de espera elevados e taxas de desistência cerca de 40% e 69%, respetivamente.

O Anexo 2 reforça a ideia de que a separação de filas continua sem resolver o problema, pois ambos os recursos continuam a operar muito próximos do limite, principalmente nos períodos da Tarde e Noite. No período da Manhã, o Suporte apresenta alguma folga operacional, existindo capacidade disponível que não está a ser utilizada, dando a entender que parte da carga das Vendas poderia ser redistribuída. Com isto, o cenário 1 confirma que são necessárias mudanças mais profundas para que o sistema responda eficazmente à procura.

### **2.3. Cenário 2 - Introdução de prioridade sem interrupção**

No cenário 2, tal como no cenário anterior, os quatro tipos de clientes dividem-se por filas separadas. Neste cenário, os Levantamentos continuam a poder escolher integrar a fila com menos pessoas em espera (parâmetro “*shortest-queue*”) e ainda têm prioridade de atendimento sobre os restantes tipos de clientes, sem interromper o serviço (*priority* = 1). Na Tabela 3, podem ser observados os resultados obtidos.

**Tabela 3 - Resultados C2 (100 réplicas), por tipo de cliente**

<b>Tipo</b>	<b>Chegadas (n)</b>	<b>Atendidos (n)</b>	<b>Desistentes (n)</b>	<b>Taxa desistência (%)</b>	<b>Espera média (min)</b>	<b>Espera máxima (min)</b>	<b>Serviço médio (min)</b>	<b>Serviço máximo (min)</b>
<b>Compra</b>	10235	6181	4054	39.61%	20.969	25	19.863	73.492
<b>Levantamento</b>	4571	3064	1507	32.97%	4.764	8	4.019	26.096

<b>Reclamação</b>	5821	4237	1584	27.21%	18.172	30	12.125	104.217
<b>Subscrição</b>	9046	2635	6411	70.87%	18.232	20	14.979	59.408
<b>Total</b>	29673	16117	13556					

Como seria previsível, a introdução de prioridades reduz significativamente o principal problema dos cenários anteriores, a elevada taxa de desistência dos Levantamentos, registando uma diminuição de cerca de 37 pontos percentuais (p.p) em comparação com o cenário 1. Contudo, esta melhoria tem efeitos negativos nos restantes tipos de clientes, que acabam por ser penalizados.

A taxa de desistência das Reclamações aumenta cerca de 7 p.p e, as Subscrições tornam-se o tipo de cliente mais penalizado, com mais de 70% de desistências e um tempo médio de espera muito próximo do limite máximo admissível.

No Anexo 3 mostra que, apesar da introdução de prioridade para os Levantamentos, os níveis de ocupação e ociosidade dos recursos mantêm-se praticamente inalterados face ao cenário anterior. Isto evidencia que, embora os Levantamentos beneficiem claramente da prioridade atribuída, o cenário 2 continua incapaz de acomodar a procura existente, já que as restantes categorias de cliente mantêm taxas de desistência elevadas.

### **2.3. Cenário 3 - Introdução de prioridade com interrupção**

No cenário 3, mantêm-se as quatro filas separadas por tipo de cliente, tal como nos cenários anteriores. No entanto, introduz-se agora um mecanismo adicional de prioridade: além de poderem integrar a fila com menos clientes em espera (“*shortest-queue*”), os Levantamentos passam a poder interromper atendimentos em curso, retomando estes após a conclusão do levantamento (*priority* = 1 e *preemptive* = TRUE). Na Tabela 4, podem ser observados os resultados obtidos.

**Tabela 4 - Resultados C3 (100 réplicas), por tipo de cliente**

<b>Tipo</b>	<b>Chegadas (n)</b>	<b>Atendidos (n)</b>	<b>Desistentes (n)</b>	<b>Taxa desistência (%)</b>	<b>Espera média (min)</b>	<b>Espera máxima (min)</b>	<b>Serviço médio (min)</b>	<b>Serviço máximo (min)</b>
<b>Compra</b>	10173	6109	4064	39.95%	21.165	47.078	19.917	81.255
<b>Levantamento</b>	4553	4516	37	0.81%	0.615	8	3.991	20.866
<b>Reclamação</b>	5840	3861	1979	33.89%	21.724	68.494	12.108	100.982
<b>Subscrição</b>	8919	2640	6279	70.40%	18.339	33.560	14.981	52.653
<b>Total</b>	29485	17126	12359					

Como previsto, a taxa de desistência dos Levantamentos torna-se praticamente residual, mantendo-se abaixo de 1%. Todavia, esta melhoria não é acompanhada por um aumento relevante das desistências nos restantes tipos de clientes, como acontecia no cenário anterior, confirmando que o mecanismo preemptivo cumpre eficazmente o objetivo de priorizar os Levantamentos.

No entanto, observa-se um aumento significativo nos tempos máximos de espera dos serviços de Compras, Reclamações e Subscrições, que chegam mesmo a duplicar face aos valores de referência definidos no enunciado. Este aumento deve-se ao comportamento preemptivo, ou seja, os atendimentos são frequentemente interrompidos para dar prioridade aos Levantamentos, o que prolonga artificialmente a sua duração e aumenta a variabilidade.

No Anexo 4 mostra que a introdução da preempção trouxe apenas ganhos marginais face ao cenário 2, onde a ocupação dos recursos aumentou ligeiramente no Suporte, enquanto nas Vendas se manteve

praticamente saturada em todos os períodos, com ociosidade quase nula. Isto mostra que, embora os Levantamentos beneficiem do atendimento mais rápido, o sistema continua próximo da saturação global, mantendo o elevado risco de desistências para os clientes não prioritários.

#### **2.4. Cenário 4 - triagem à entrada, com possibilidade de atendimento**

No cenário 4 a equipa foi reestruturada da seguinte forma:

- Todos os clientes passam primeiro por um técnico de triagem, que os encaminha para o recurso mais adequado (Vendas ou Suporte);
- O técnico de triagem pode ainda ajudar no atendimento sempre que a fila de Vendas exceder 3 clientes, podendo realizar Subscrições ou Levantamentos;
- Mantém-se a prioridade dos Levantamentos, mas sem preempção, não interrompendo atendimentos em curso.

Para este cenário foram realizadas duas abordagens em relação à contagem do tempo de espera:

- 1) O tempo de espera começa a contar a partir do momento que os clientes chegam à Loja, ou seja, antes da triagem;
- 2) O tempo de espera começa a contar a partir da realização da triagem.

Foi feito e entregue o código R para ambos os cenários, mas no relatório será apenas analisada a abordagem 2.

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5 - Resultados C4 (100 réplicas), por tipo de cliente**

<b>Tipo</b>	<b>Chegadas (n)</b>	<b>Atendidos (n)</b>	<b>Desistentes (n)</b>	<b>Taxa desistência (%)</b>	<b>Espera média (min)</b>	<b>Espera máxima (min)</b>	<b>Serviço médio (min)</b>	<b>Serviço máximo (min)</b>
<b>Compra</b>	10109	5868	4241	41.95%	17.572	25	20.615	71.611
<b>Levantamento</b>	4569	3572	997	21.82%	2.895	8	4.622	23.249
<b>Reclamação</b>	5864	4115	1749	29.83%	16.348	30	12.686	87.836
<b>Subscrição</b>	8875	5175	3700	41.69%	12.272	20	15.922	52.568
<b>Total</b>	29417	18730	10687					

Comparando com C2, que é o mais semelhante, observa-se uma melhoria expressiva em dois dos tipos de clientes: a taxa de desistência dos Levantamentos desce cerca de 11 p.p e a das Subscrições reduz cerca de 29 p.p.

Nos restantes tipos de clientes, as taxas de desistência aumentam apenas em cerca de 2 p.p, um impacto relativamente reduzido. Assim, a introdução do técnico de triagem, revela globalmente, uma melhoria face a C2, contribuindo para uma distribuição mais equilibrada dos atendimentos e para a redução das desistências nos serviços.

Quanto à utilização dos recursos, apresentada no Anexo 5, verifica-se que no período da tarde (13h–17h) tanto o serviço de Triagem como o de Vendas operam com uma taxa de ocupação praticamente máxima, próxima dos 100%. Já no período da noite, a ociosidade de todos os serviços desce para valores inferiores a 2.5%, evidenciando um nível de saturação muito elevado em toda a Loja. Embora o técnico de triagem não esteja formalmente em horário de funcionamento nesse período, este permanece ativo até que a respetiva fila seja totalmente atendida.

Assim, embora o cenário 4 apresente um avanço em relação aos cenários passados no que diz respeito à redução das desistências, especialmente nas Subscrições, o sistema permanece sobrecarregado. Para garantir níveis de serviço aceitáveis, seria necessário reforçar ainda mais os recursos.

## **2.5. Cenário 5 - colaborador polivalente em horário de pico**

Neste último cenário foi introduzido um colaborador polivalente, capaz de realizar o atendimento a qualquer cliente, apenas no horário das 13h às 17h. A condição implementada no cenário anterior, onde todos os clientes passam pela triagem, já não existe neste cenário. Contudo, o que se implementou em C1 e C2 manteve-se neste último cenário. Os resultados obtidos com estas condições observam-se na Tabela 6.

**Tabela 6 - Resultados C5 (100 réplicas), por tipo de cliente**

<b>Tipo</b>	<b>Chegadas (n)</b>	<b>Atendidos (n)</b>	<b>Desistentes (n)</b>	<b>Taxa desistência (%)</b>	<b>Espera média (min)</b>	<b>Espera máxima (min)</b>	<b>Serviço médio (min)</b>	<b>Serviço máximo (min)</b>
<b>Compra</b>	10282	6466	3816	37.11%	19.540	25	19.894	85.473
<b>Levantamento</b>	4448	3113	1335	30.01%	4.447	8	4.060	25.187
<b>Reclamação</b>	5949	4629	1320	22.19%	16.885	30	11.937	100.982
<b>Subscrição</b>	8943	3557	5386	60.23%	17.106	20	14.991	67.906
<b>Total</b>	29622	17765	11857					

Importante mencionar que, no período do colaborador polivalente, todos os clientes escolhem a fila mais pequena entre as quais lhes estão atribuídas, sendo que Levantamentos poderá escolher uma das 3 filas. Apesar deste fator, a taxa de desistência para estes clientes é cerca de 9 p.p superior em relação ao cenário anterior dado que a abordagem adotada permitia que estes clientes pudessem ser atendidos antes de passar da triagem caso a condição exigida se verificasse. O mesmo se verifica para as Subscrições com um aumento significativo de 19 p.p, o que é esperado para estes clientes dado que agora já não dispõem de uma outra possibilidade de serem atendidos. Para os restantes clientes a taxa diminui, dado que neste cenário, dispõem de mais filas no período do colaborador polivalente. Com isto, a taxa de desistência global representa cerca de 40%.

A diferença da espera média mais significativa observada em relação a C4 é referente às Subscrições dado que estes clientes deixam de dispor de um atendimento por um técnico de triagem e apenas podem usufruir da fila que lhes é direcionada e do colaborador polivalente no seu respetivo período. Contudo, os de Levantamento podem passar à frente sempre que escolhem uma fila, daí este aumento significativo (~5 min).

Quanto à taxa de ocupação e de ociosidade dos recursos, podemos observar no Anexo 6, que apesar de haver mais um colaborador (polivalente) na parte da tarde, os serviços de vendas e suporte continuam praticamente cheios. No entanto, houve uma ligeira redução na taxa de ocupação no serviço de suporte face aos outros cenários, com exceção do cenário anterior. Nos restantes períodos do dia, a taxa de ocupação manteve-se dentro dos valores das outras abordagens, não havendo melhorias significativas após as alterações.

## **3. Conclusão**

Após a análise comparativa dos seis cenários simulados, concluímos que a escolha do melhor modelo de funcionamento deve assentar num objetivo: reduzir as taxas de desistência dos clientes, especialmente os de Compras e de Subscrições, pois são estes que geram receita para a empresa.

Considerando este critério, o cenário que apresentou o equilíbrio mais favorável foi o Cenário 4. É importante notar que no Cenário 4 apresentado, o tempo de espera máximo permitido por cada tipo de cliente

só começa a contar depois da triagem, e é nestas condições que o cenário foi escolhido. No entanto, este tipo de abordagem não é realista, pois os clientes avaliam o tempo de espera desde o momento em que entram na loja, e não apenas a partir do início do atendimento específico.

Tendo isto em conta, propomos a criação de um cenário alternativo mais eficiente, que incorpora os resultados positivos do Cenário 4, corrigindo as suas limitações:

- Manutenção da separação de filas, com a introdução de uma máquina de senhas à entrada, oferecendo dois tipos de serviços:
  - Suporte: para Reclamações e Levantamentos (com prioridade para Levantamentos, mas sem interrupção).
  - Vendas: para Compras, Subscrições e Levantamentos (com prioridade para Levantamentos, igualmente sem interrupção).
- Reforço estratégico da equipa de Vendas, dado que é nesta secção que se encontram os clientes que representam maior valor para a empresa:
  - Adicionar um colaborador a tempo inteiro para Vendas;
  - Adicionar um segundo colaborador apenas no turno da tarde, que corresponde ao período de maior afluência.

Este cenário implicaria um aumento dos custos operacionais, mas o reforço de colaboradores poderia ser justificável, uma vez que estes colaboradores são os que contribuem diretamente para a criação de receita e para a angariação de novos clientes.

Mesmo com estas melhorias, cujo código foi entregue em conjunto com os restantes cenários e os resultados apresentados no Anexo 7, mostram que a taxa de desistência dos clientes de Subscrições permanece em torno dos 40%, valor ainda bastante elevado. Isto indica que, embora o novo cenário represente um avanço face aos modelos anteriores, poderão ser necessárias ainda mais medidas adicionais para garantir um nível de serviço verdadeiramente adequado às exigências da procura.

#### 4. Anexos

**Anexo 1 - Resultados C0 (100 réplicas), por período**

Período	Recurso	Ocupação média (%)	Ociosidade (%)
Manhã	Colaboradores	95.71	4.29
Tarde	Colaboradores	99.95	0.05
Noite	Colaboradores	100	0

**Anexo 2 - Resultados C1 (100 réplicas), por tipo de período e recurso**

Período	Recurso	Ocupação média (%)	Ociosidade (%)
Manhã	Suporte	84.04	15.96
	Vendas	95.92	4.08
Tarde	Suporte	96.73	3.27
	Vendas	99.88	0.12
Noite	Suporte	94.67	5.33
	Vendas	100	0

**Anexo 3 - Resultados C2 (100 réplicas), por tipo de período e recurso**

Período	Recurso	Ocupação média (%)	Ociosidade (%)
Manhã	Suporte	85.84	14.16
	Vendas	96.12	3.88
Tarde	Suporte	97.70	2.30
	Vendas	99.85	0.15
Noite	Suporte	94.76	5.24
	Vendas	100	0

**Anexo 4 - Resultados C3 (100 réplicas), por tipo de período e recurso**

Período	Recurso	Ocupação média (%)	Ociosidade (%)
Manhã	Suporte	86.29	13.71
	Vendas	96.46	3.54
Tarde	Suporte	97.61	2.39
	Vendas	99.89	0.11
Noite	Suporte	95.24	4.76
	Vendas	99.94	0.06

**Anexo 5 - Resultados C4 (100 réplicas), por tipo de período e recurso**

Período	Recurso	Ocupação média (%)	Ociosidade (%)
Manhã	Suporte	84.98	15.02
	Vendas	95.11	4.89
	Triagem	80.39	19.61
Tarde	Suporte	90.14	9.86
	Vendas	97.33	2.67
	Triagem	99.10	0.90
Noite	Suporte	97.65	2.35
	Vendas	100	0
	Triagem	98.11	1.89

**Anexo 6 - Resultados C5 (100 réplicas), por tipo de período e recurso**

Período	Recurso	Ocupação média (%)	Ociosidade (%)
Manhã	Suporte	85.72	14.28
	Vendas	96.51	3.49

	Suporte	95.35	4.65
Tarde	Vendas	99.29	0.71
	Polivalente	96.98	3.02
Noite	Suporte	94.93	5.07
	Vendas	100	0

**Anexo 7 - Resultados C6 (cenário recomendado) (100 réplicas), por tipo de cliente**

<b>Tipo</b>	<b>Chegadas (n)</b>	<b>Atendidos (n)</b>	<b>Desistentes (n)</b>	<b>Taxa desistência (%)</b>	<b>Espera média (min)</b>	<b>Espera máxima (min)</b>	<b>Serviço médio (min)</b>	<b>Serviço máximo (min)</b>
<b>Compra</b>	10266	8531	1735	16.90%	16.167	25	19.927	80.772
<b>Levantamento</b>	4555	3346	1209	26.54%	4.210	8	3.985	21.187
<b>Reclamação</b>	5947	4378	1569	26.38%	18.152	30	12.026	100.982
<b>Subscrição</b>	8948	5285	3663	40.94%	14.908	20	14.999	52.857
<b>Total</b>	29716	21540	8176					