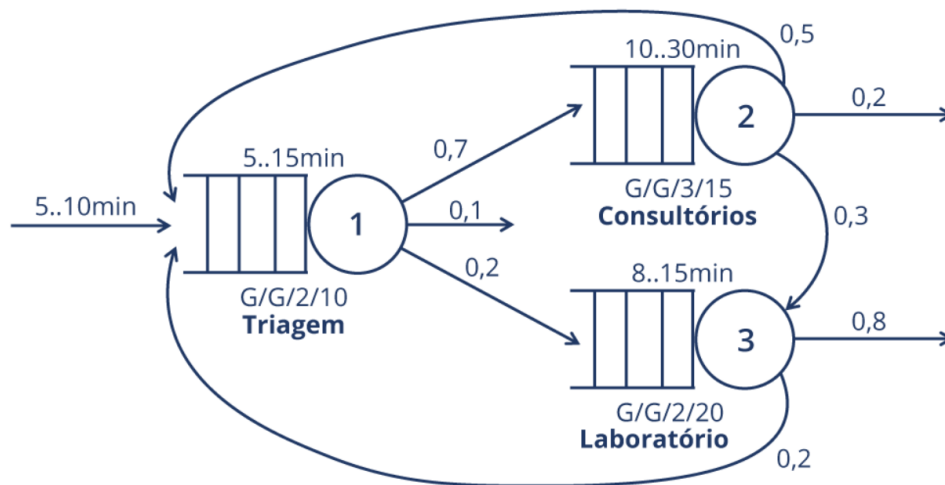


## AVALIAÇÃO DE UM MODELO SIMULADO

Em sua jornada de aprendizagem até este ponto, você aprendeu em detalhes os fundamentos da simulação baseada em eventos discretos, começando pela criação de um simulador para uma única fila e expandindo seu conhecimento para simular filas em *tandem*. Você explorou como os eventos de chegada, saída e passagem entre filas se interconectam e afetam a dinâmica do sistema. Além disso, você enfrentou o desafio de adaptar seu simulador para contemplar diferentes topologias de redes, aprendendo a importância do roteamento de clientes com probabilidades variadas entre múltiplas filas. Logo, até este momento, você enfrentou muitos desafios práticos de programação. Partiremos então para uma nova etapa, onde será explorado os conceitos estudados na disciplina, fazendo uma análise crítica sobre um modelo simulado.

Para colocar em prática este processo de análise de um modelo simulado, imagine o seguinte sistema de atendimento hospitalar:



Neste modelo, você pode observar as três filas que representam a triagem dos pacientes, consultórios dos médicos e laboratório para coleta e realização de exames. No próximo objeto interativo de aprendizagem, acompanhe a análise destas filas:

### Triagem (Fila 1)

Todos os pacientes que desejam atendimento iniciam nesta fila obrigatoriamente. Em média, os pacientes chegam a cada 5 e 10 minutos para realizarem uma triagem.

A triagem conta com 2 enfermeiros para o primeiro atendimento dos pacientes e uma capacidade para acomodar até 10 pacientes (incluindo os 2 que se encontram em atendimento). Um enfermeiro, em média, leva entre 5 e 15 minutos para realizar a triagem.

Após passarem pela triagem, 70% dos pacientes são encaminhados para os consultórios (Fila 2), onde receberão atendimento médico, 20% são direcionados para realização de algum exame específico no laboratório (Fila 3), e os 10% restantes dos pacientes são liberados com orientações, não precisando de atendimento adicional.

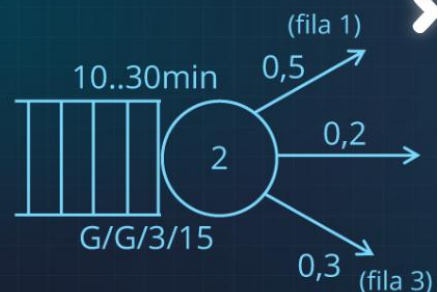


### Consultórios (Fila 2)

Neste ambiente hospitalar, há três consultórios para o atendimento dos médicos, onde um médico leva entre 10 e 30 minutos em média para realizar uma consulta.

Além dos 3 consultórios, há uma pequena sala de espera em frente aos consultórios que comportam no máximo 12 pacientes.

Após terem sido atendidos por um médico, 30% dos pacientes necessitam realizar algum tipo de exame (Fila 3), 50% são encaminhados de volta para a triagem (Fila 1) para reavaliação (ou encaminhamento para outros serviços), e 20% dos pacientes recebem alta (indo então embora do sistema).



### Laboratório (Fila 3)

O laboratório conta com 2 técnicos para realização dos exames e uma sala de espera que comporta até 18 pacientes. Um técnico leva entre 8 e 15 minutos em média para realização de um exame.

Após realizarem exames, 80% dos pacientes são liberados, não necessitando retornar aos consultórios, enquanto 20% retornam à triagem (Fila 1) para acompanhamento ou novas orientações.



Uma vez tendo definido os detalhes do modelo, é possível então descrever esta realidade no simulador para termos uma primeira análise sobre o desempenho do sistema como um todo, bem como o desempenho de cada uma das filas do sistema. Para fins de exemplificação, vamos utilizar o simulador disponível no Moodle para realizarmos esta análise. O arquivo Hospital.yml, que está disponível no item Complementando ao final desse módulo, é o arquivo de entrada para o simulador para a realidade descrita anteriormente deste sistema hospitalar. A simulação para esta análise foi definida com a utilização de 100.000 números pseudoaleatórios e semente com valor “1”. O primeiro paciente está agendado para chegar na triagem no tempo 5,0 minutos. No objeto interativo de aprendizagem a seguir, tem-se o resultado da simulação desta realidade junto com a sua análise.

# Hospital.txt

```
*****
Queue:   TRIAGEM (G/G/2/10)
Arrival: 5.0 ... 10.0
Service: 5.0 ... 15.0
*****
```

State	Time	Probability
0	13.8314	0.01%
1	101.0382	0.10%
2	302.9738	0.29%
3	719.2561	0.70%
4	1664.7171	1.62%
5	3816.2500	3.72%
6	8368.6587	8.15%
7	15855.8105	15.44%
8	26847.9764	26.14%
9	29482.9119	28.70%
10	15541.6003	15.13%

Number of losses: 2072

```
*****
Queue:   LABORATORIO (G/G/2/20)
Service: 8.0 ... 15.0
*****
```

State	Time	Probability
0	34347.9130	33.44%
1	39959.5613	38.90%
2	20995.1751	20.44%
3	6078.4543	5.92%
4	1153.1911	1.12%
5	137.1682	0.13%
6	27.4796	0.03%
7	14.9902	0.01%
8	1.0917	0.00%

Number of losses: 0

```
*****
Queue:   CONSULTORIOS (G/G/3/15)
Service: 10.0 ... 30.0
*****
```

State	Time	Probability
0	669.4825	0.65%
1	4927.9919	4.80%
2	12785.9702	12.45%
3	19387.1056	18.87%
4	19991.7357	19.46%
5	16254.4693	15.82%
6	11131.7885	10.84%
7	6621.2342	6.45%
8	4119.4800	4.01%
9	2588.4978	2.52%
10	1884.9870	1.84%
11	1166.9115	1.14%
12	621.2515	0.60%
13	336.5169	0.33%
15	151.8277	0.15%
15	75.7740	0.07%

Number of losses: 6

Simulation average time: 102715.0244

Como pode ser observado na distribuição de probabilidade das filas, a triagem (Fila 1) encontra-se bem **sobrecarregada**, visto que durante o período de simulação houve uma **perda de 2.072 pacientes** (isto é, 2.072 pessoas procuraram atendimento neste hospital e quando chegaram na triagem ela estava lotada).

Além disso, você pode notar que, na maior parte do tempo a triagem tem 7 ou mais pacientes no local.

O laboratório (Fila 3) nunca teve perda de pacientes e encontra-se até ocioso de certa forma, visto que um terço - aproximadamente 33% - do tempo observado na simulação ele permaneceu **vazio**.

Os consultórios (Fila 2), por outro lado, não se encontram sobrecarregados, visto que há uma boa distribuição de probabilidades entre os estados possíveis da fila, já que a fila se encontra com 6 ou menos pacientes nos consultórios grande parte do tempo.

Entretanto, mesmo que pequena (apenas 6 pacientes), houve **perda de pacientes** na espera do atendimento dos médicos. **Por se tratar de casos de saúde, o ideal aqui seria que não houvesse perda de pacientes**, isto é, que ao chegar nos consultórios, eles não estivessem lotados e o paciente não precisasse ir embora sem conseguir atendimento.

O tempo total de simulação foi de aproximadamente 102.715 minutos. Isso equivale a dizer que a simulação nestas condições observou o sistema durante aproximadamente 1.711 horas (ou aproximadamente 71 dias).

Após esta primeira análise, onde identificamos possíveis gargalos (ou algum comportamento não desejado das filas), é possível então propormos melhorias no sistema de forma a melhorarmos seu desempenho.

Este processo em simulação é “extremamente barato” visto que não é preciso empregar qualquer tipo de esforço de programação a fim de obtermos uma nova análise do sistema. O fato de simplesmente atualizar os valores das características do sistema já nos permite compor um novo cenário da realidade do sistema a ser analisado via o processo de simulação.

Desta forma, uma possível melhoria para o que foi observado neste processo de simulação seria a contratação de um novo enfermeiro para auxiliar na triagem, ou seja, passaríamos a ter 3 enfermeiros realizando a triagem nos pacientes.

Outro ponto passível de melhoria seria nos consultórios, onde poderíamos tentar “zerar” a perda de pacientes nesta fila. Logo, a solução mais simples para este caso seria a contratação de um novo médico para atuar nos consultórios, passando então de 3 para 4 médicos.

No objeto interativo de aprendizagem, confira o modelo adaptado com a análise dos resultados. Lembre-se que você pode acessar o arquivo com esses dados, chamado Hospital-melhorias.yml, no item Complementando ao final desse módulo.

Hospital.txt

```
*****
Queue:   TRIAGEM (G/G/3/10)
Arrival: 5.0 ... 10.0
Service: 5.0 ... 15.0
*****
```

State	Time	Probability
0	978.1626	1.11%
1	13432.2389	15.19%
2	26669.8351	30.16%
3	24377.6380	27.57%
4	13973.5675	15.80%
5	5883.0161	6.65%
6	2063.1475	2.33%
7	682.1330	0.77%
8	260.1756	0.29%
9	91.1481	0.10%
10	19.9956	0.02%

Number of losses: 3

```
*****
Queue:   LABORATORIO (G/G/2/20)
Service: 8.0 ... 15.0
*****
```

State	Time	Probability
0	23156.5938	26.19%
1	32539.9527	36.80%
2	21282.7992	24.07%
3	8372.6392	9.47%
4	2454.5560	2.78%
5	543.0705	0.61%
6	75.2977	0.09%
7	6.1489	0.01%

Number of losses: 0

```
*****
Queue:   CONSULTORIOS (G/G/4/15)
Service: 10.0 ... 30.0
*****
```

State	Time	Probability
0	830.6635	0.94%
1	4869.1235	5.51%
2	12395.6650	14.02%
3	18516.5559	20.94%
4	18558.9565	20.99%
5	13937.4607	15.76%
6	8333.6093	9.42%
7	4617.7593	5.22%
8	2741.5021	3.10%
9	1765.5485	2.00%
10	944.5711	1.07%
11	461.6790	0.52%
12	262.6075	0.30%
13	120.2204	0.14%
14	53.4216	0.06%
15	21.7139	0.02%

Number of losses: 4

```
=====
Simulation average time: 88431.0579
=====
```

Como podemos observar neste "novo" modelo, houve uma melhora significativa na triagem (Fila 1), pois durante todo o tempo de simulação tivemos apenas 3 perdas de pacientes. Ou seja, o fato de termos contratado 1 enfermeiro a mais para atuar na triagem possibilitou que mais de 2.000 pacientes pudessem ser atendidos no hospital.

Em contrapartida, a contratação de um novo médico para atuar nos consultórios não resultou em uma verdadeira melhora, visto que reduzimos apenas de 6 para 4 pacientes perdidos nesta fila, entretanto, o custo de contratar e manter este profissional no hospital não justificaria o fato de termos somente 2 atendimentos a mais neste período.