

---

# Trabalho Laboratorial 3

Sistemas de Telecomunicações

---

Diogo Remião & Miguel Pinheiro

Maio 2021



## Caracterização geral da simulação

Este *Call center* tem dois sistemas separados:

- Sistema GP, que atende todas as chamadas e reencaminha chamadas para o sistema AS se necessário
- Sistema AS, que atende as chamadas de carácter específico reencaminhadas pelo sistema GP

Definimos os seguintes parâmetros de funcionamento do *Call center*:

- N° de servidores no sistema GP
- N° de servidores no sistema AS
- Tamanho da fila de espera no sistema GP (infinita no sistema AS)

Sendo esta uma simulação de um *Call center*, duas situações podem acontecer:

- 30% de probabilidade de uma chamada apenas precisar de ser atendida no sistema GP.
- 70% de probabilidade de uma chamada precisar de ser no sistema GP e depois no sistema AS.

Distinguem-se 3 tipos de eventos no sistema:

- **CHEGADA**: Uma chamada que chega a um sistema, sem discriminação do seu tipo.
- **PARTIDA\_GP**: Uma chamada que é atendida no sistema GP e depois sai do sistema.
- **PARTIDA\_AS**: Uma chamada que é atendida no sistema GP e entra no sistema AS / Chamada que é atendida no AS

As distinção entre **PARTIDA\_GP** e **PARTIDA\_AS** é apenas relevante no sistema GP. No sistema AS, faz-se uma abstração para apenas **PARTIDA**.

Cada evento tem um *timestamp* associado. No evento de **CHEGADA**, define o momento em que chegou. Nos de **PARTIDA**, o momento em que partiu. Estes valores são gerados conforme indicado no guião.

A **lista\_eventos\_gp** é uma fila onde serão guardados todos os eventos que chegam ao sistema GP. A **lista\_espera\_gp** é uma fila onde serão guardados todos os eventos que estão num determinado momento na fila de espera para serem processados pelo sistema GP. Um evento é colocado na fila de espera quando todos os servidores estão ocupados. Se a fila estiver cheia, a chamada é considerada como perdida e removida.

A **lista\_eventos\_as** e a **lista\_espera\_as** têm a mesma funcionalidade mas para o sistema AS. Um evento é colocado na fila de espera quando os servidores estão ocupados. A fila de espera é infinita, pelo que não haverá chamadas perdidas.

## Descrição do funcionamento do algoritmo

### GP System

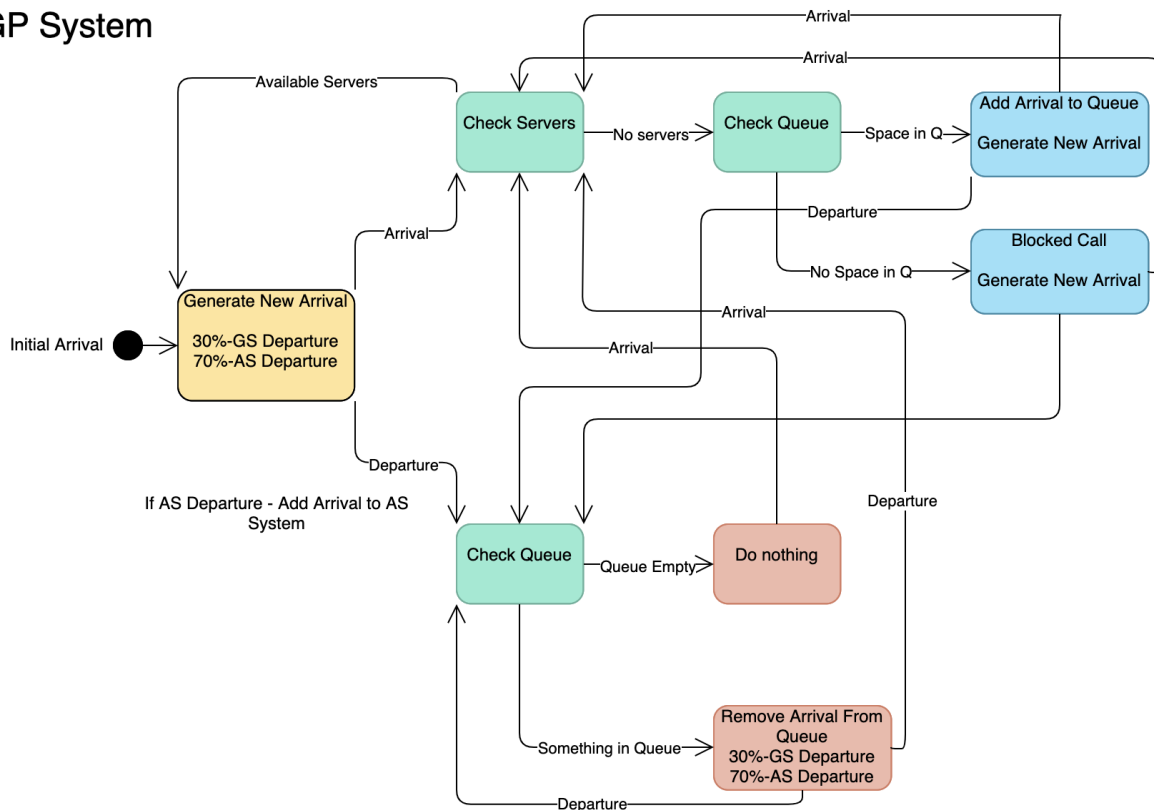


Figure 1: Máquina de estados do Sistema General Purpose

A figura 1 é uma máquina de estados que representa o algoritmo do **sistema GP**. Primeiro verifica-se o tipo de evento que está na **lista\_eventos\_gp**.

Se o evento for de **CHEGADA**, verifica-se o estado do sistema. Se os servidores estiverem ocupados, verifica-se a fila de espera. Se esta estiver livre, esse evento é colocado na **lista\_espera\_gp**. Caso contrário é bloqueado. Novas **CHEGADAS** são sempre geradas quando se processa uma **CHEGADA**.

Se o evento for de **PARTIDA**, verifica-se se há algum evento na **lista\_espera\_gp**. Se houver, começa-se imediatamente a processar esse evento, gerando uma nova **PARTIDA**. Caso contrário, passa-se para o próximo evento na **lista\_eventos\_gp**.

Por fim, considera-se que uma **CHEGADA** é gerada no **sistema AS** quando é processada uma **PARTIDA\_AS**.

O princípio de funcionamento do sistema AS é semelhante, ilustrado na figura 2. Destaca-se alguma diferenças.

As **CHEGADAS** não são geradas no **sistema AS**, mas sim no **sistema GP**, pelo que o sistema pode ficar inativo, algo que não acontece com o **sistema GP**. Além disso, não existe a risco de uma chamada ser bloqueada pois a fila é infinita. A **lista\_eventos\_as** é constantemente verificada para detetar se alguma chamada foi reencaminhada para ser atendida pela sistema. Quando o sistema fica *idle*, volta a este estado.

As **PARTIDAS** são geradas também quando uma **CHEGADA** é processada, no entanto a distribuição temporal é diferente das duas partidas do sistema GP.

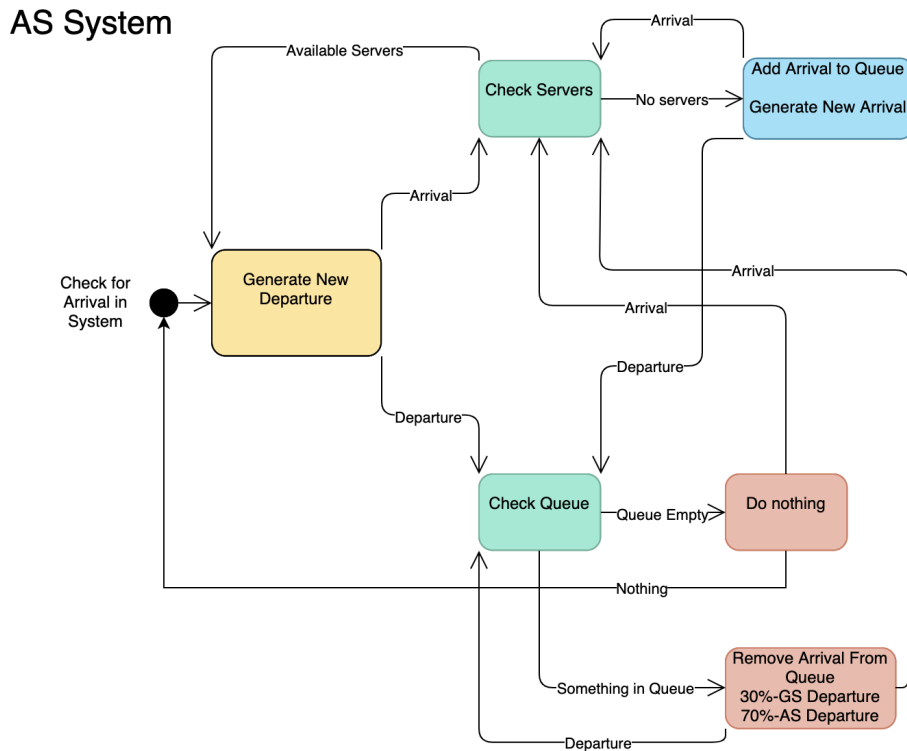


Figure 2: Máquina de estados do Sistema Area Specific

## Estimativa do tempo de espera

De forma a poder fornecer uma previsão do tempo de espera a cada chamada que chega, é necessário adotar um algoritmo de *running average*. Este algoritmo permite o calculo dinâmico da média do tempo de espera a cada chamada que chega, atualizando a cada iteração.

A estimativa do tempo de espera começa a 1. Quando uma chamada chega, duas situações podem acontecer:

- Chamada é imediatamente atendida, pelo que o delay é 0 segundos.
- Chamada é colocada na fila de espera. O delay é calculado no momento em que a chamada sai da fila de espera.

Quando um novo valor de delay é obtido, uma nova média é calculada. Por exemplo, com um delay de 60 segundos, a nova média será  $\frac{0+60}{2} = 30s$ . Quando uma nova chamada chegar, a estimativa de tempo de espera apresentada será de 30 segundos. A cada iteração, este valor é atualizado. Como este sistema tende para a estabilidade, este valor aproxima-se para um valor constante, que vai fornecer uma previsão mais sólida quantas mais chamadas forem atendidas.

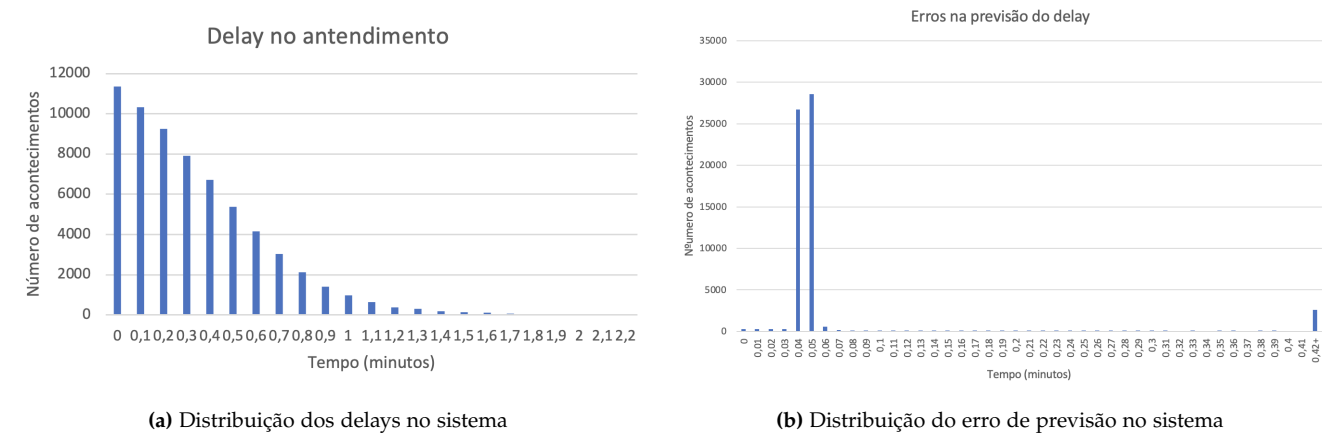
## Resultados da simulação

De modo a garantir os objetivos de performance mínimos, necessitamos de pelo menos **4 Servidores GP**, **2 Servidores AS** e **Fila de Espera GP de tamanho 2**. Os seguintes parâmetros foram obtidos:

| Parâmetro        | Mínimo | Obtido        |
|------------------|--------|---------------|
| Delay Prob       | 30%    | <b>12.83%</b> |
| Blocked Prob     | 2%     | <b>1.35%</b>  |
| Avrg Delay GS    | 30s    | <b>23.4s</b>  |
| Avrg Delay Total | 60s    | <b>24s</b>    |

O *Bottleneck* deste sistema é o **Avrg Delay GS**, que está muito mais próximo do limite do que os restantes parâmetros. Um relaxamento deste parâmetro para 40 segundo permitia que fosse utilizado apenas 3 servidores GP.

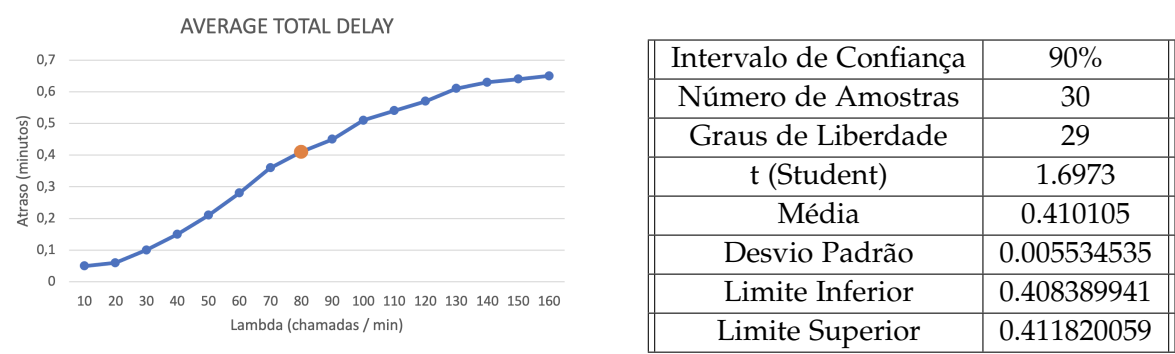
Com estes parâmetros, foram gerados histogramas que representam a distribuição dos atrasos e dos erros de previsão.



A distribuição dos dos *Delays* aproxima-se de uma distribuição exponencial, pois este sistema é estável, ou seja,  $\rho < 1$ . Se  $\rho > 1$ , esta distribuição seria crescente pois o tempo de espera iria aumentar com o tempo. Os delays 0 não estão representados.

Uma análise do histograma dos erros indica que grande parte dos erros foi na ordem dos 0.04-0.06 segundos, que é sensivelmente o valor médio de atraso. Mais uma vez, o facto do sistema ser estável fez com que os erros obtidos fossem da ordem da média.

## Análise de Sensibilidade e Estimador



**Figure 4:** Total Delay time com variação da frequência de chegadas

**Table 1:** Estimador do Average Total Wait Time com intervalo de confiança de 90% - 2 Tail

A figura 4 mostra a relação entre a *Arrival Rate* e o Atraso do sistema. Observamos, como esperado, que o atraso tende para 0 à medida que se diminui a *Arrival Rate*.

À medida que o valor aumenta, o atraso tende para um valor próximo de 0.65 minutos. Isto deve-se ao facto da fila de espera ter tamanho limite. O tempo que uma chamada tem que esperar se estiver no fim da fila não aumenta pois tem sempre o mesmo número de chamadas à sua frente. O que aumenta é a probabilidade de perder a chamada. É deste modo de esperar este comportamento.

Também foi calculado um estimar para o Average Total Wait Time com base em 30 amostras do parâmetro.