

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**UNESP – Campus de Rio Claro**

**Gabriella Alves de Oliveira**

**Lucas Ferrarotto Vieira**

**Rafael Silva Teixeira**

## **Relatório de Sistemas de Filas**

**Modelagem e Avaliação de Desempenho de Sistemas Computacionais**

**Rio Claro**

**2024**



# **Relatório de Sistemas de Filas**

Modelagem e Avaliação de Desempenho de Sistemas Computacionais

Sistema de filas apresentada a Profa. Dra.  
Carmen Maria Andreazza na  
Universidade Estadual Paulista, UNESP  
de Rio Claro, no curso de Ciências da  
Computação.

Rio Claro

2024

## SUMÁRIO

OBJETIVOS	4
RESUMO	4
INTRODUÇÃO	5
METODOLOGIA	6
01   Modelo Conceitual:	6
02   Modelo Computacional:	7
RESULTADOS	9

## **OBJETIVOS**

O objetivo do presente trabalho é simular um posto bancário com base no conceito de sistema de filas. O sistema é feito a partir de números fixos de funcionários e clientes. Há três tipos de clientes no sistema (1, 2 e 3) que são determinados por cálculos descritos posteriormente com base em um número pseudo-aleatório.

Além dos tipos dos clientes, os cálculos de tempo de chegadas (TEC) e de tempo de serviço (TS) também utilizam números pseudo-aleatórios.

Realizamos uma análise estatística dos tempos de espera, atendimento e ociosidade no sistema. A finalidade é aprimorar o processo e medir a eficiência do atendimento em diferentes situações, oferecendo dados para implementar melhorias no serviço.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de simulação computacional para analisar filas de espera, com base em conceitos de modelagem e simulação. O objetivo principal foi estudar o comportamento de sistemas que envolvem filas, utilizando modelos probabilísticos para determinar métricas de desempenho, como tempos médios de espera e utilização dos recursos.

A metodologia incluiu a criação de um modelo conceitual, que definiu as hipóteses, dados de entrada e distribuições de probabilidade, e sua posterior implementação computacional, com validação e análise detalhadas. Os resultados foram documentados e analisados, destacando a obtenção de intervalos de confiança para os tempos médios determinados. O código fonte documentado foi disponibilizado para permitir a replicação e validação do simulador desenvolvido. Este projeto busca demonstrar a relevância da simulação como ferramenta para tomada de decisão em sistemas complexos.

# INTRODUÇÃO

A simulação estocástica é uma técnica computacional usada para modelar sistemas que envolvem incerteza ou variabilidade aleatória, com base em distribuições de probabilidade. Em vez de usar um único valor determinístico para representar variáveis de entrada, a simulação estocástica leva em consideração diferentes possíveis resultados para essas variáveis, gerando múltiplos cenários possíveis e analisando como esses cenários afetam o sistema em questão.

Simular um sistema de filas de espera é um ótimo estudo de caso de simulação estocástica, já que o número de chegadas e o tempo que cada cliente leva para ser atendido é incerto. Além disso, mais de um parâmetro afeta o desempenho do sistema, como a taxa de chegada de clientes, o tempo de atendimento e o número de servidores disponíveis, o que é útil para gerar diferentes cenários de operação.

# METODOLOGIA

## 01 | Modelo Conceitual:

Inicialmente simulamos manualmente o sistema de filas, calculando o TEC (Tempo entre chegadas), TS (Tempo de serviço), tempo de chegada no relógio, tempo de início do serviço, tempo de fim do serviço, tempo na fila, tempo no sistema e tempo ocioso para 5 clientes de tipos diferentes (todos os parâmetros em segundos).

Os tipos de cliente, o TEC e o TS foram definidos a partir de variáveis geradas aleatoriamente com o método congruencial linear, utilizando a semente com valor 20. Como eram 5 clientes, geramos 17 números pseudo aleatórios (descartamos os dois primeiros). Com as variáveis aleatórias em mãos, aplicamos nas seguintes fórmulas:

- Para definir o tipo, verificamos em que intervalos um número aleatório (entre 0 e 1) se encontrava:
  - Maior ou igual a 0 e menor que 0,6: **tipo 1**
  - Maior ou igual a 0,6 e menor que 0,9: **tipo 2**
  - Maior ou igual a 0,9: **tipo 3**
- Para o TEC, usamos a fórmula:  $TEC = -15 \times \ln(\text{número aleatório})$
- Já para definir o TS, utilizamos as seguintes fórmulas dependendo do tipo:
  - Tipo 1:  $-15 \times \ln(\text{número aleatório}) + 15$
  - Tipo 2:  $-40 \times \ln(\text{número aleatório}) + 30$
  - Tipo 3:  $-140 \times \ln(\text{número aleatório}) + 60$

Os demais parâmetros para análise foram definidos utilizando o TEC e o TS, e são definidos da seguinte forma:

- **Tempo de chegada do relógio:** Para o primeiro cliente é o TEC, e para os demais é sempre o TEC + o tempo de chegada do relógio do cliente anterior
- **Tempo início do serviço:** Se o tempo de chegada do cliente em questão for maior que o tempo de fim de serviço do cliente anterior, o tempo de início será o tempo de chegada, caso contrário será o tempo de fim de serviço do cliente anterior
- **Tempo de fim de serviço:** Representa o fim do atendimento. É calculado somando o tempo de início do serviço com o tempo de serviço, indicando o momento em que o caixa é liberado para o próximo possível cliente.

- **Tempo na fila:** Representa o tempo que o cliente ficou esperando na fila para ser atendido. É calculado como a diferença entre o tempo de início de serviço e o tempo de chegada do relógio
- **Tempo no sistema:** Corresponde ao tempo total que o cliente passou no banco. Ele é calculado somando o tempo de serviço com o tempo na fila
- **Tempo ocioso do funcionário:** Representa o tempo que o caixa ficou sem nenhum cliente entre os atendimentos. É calculado pela diferença entre o tempo de início de serviço do próximo cliente e o tempo de fim de serviço do cliente anterior.

Como resultado da simulação manual chegamos na seguinte tabela:

cliente	tipo	tec	ts	Tempo de chegada no relógio	tempo início serviço	tempo fim serviço	tempo na fila	tempo no sistema	tempo ocioso
1	1	8,2409	22,1875	8,2409	8,2409	30,4284	0	22,1875	8,2409
2	1	8,0191	20,5356	16,2600	30,4284	50,9640	14,1684	34,7039	0
3	2	5,4825	136,8302	21,7425	50,964	187,7942	29,2215	166,0516	0
4	1	6,0072	22,8131	27,7496	187,7942	210,6073	160,0446	182,8577	0
5	3	14,1897	180,4536	41,9393	210,6073	391,0609	168,6680	349,1216	0
Média			76,5640				74,4205	150,9845	1,6482

## 02 | Modelo Computacional:

Inicialmente definimos as variáveis de semente para geração aleatória, o número de simulações a serem realizadas e a configuração dos funcionários. Utilizando o método congruencial linear, criamos uma função para gerar números pseudo aleatórios a partir de uma semente, para gerar os números aleatórios a serem usados para cálculo do tipo do cliente, TEC e TS.

Após a geração dos números pseudo-aleatórios, definimos os clientes e utilizamos as funções `determinar_tipo`, `calcular_tec` e `calcular_ts` para preencher os dados necessários que estavam contidos na tabela vista anteriormente.

Depois disso, ajustamos o tempo da simulação para corresponder ao momento do próximo evento, seja uma nova chegada ou o término de um atendimento. Processamos o tempo de chegada do cliente caso o tempo limite não tenha sido atingido (30 minutos), se o critério for cumprido, definimos a chegada do cliente. Verificamos a disponibilidade dos funcionários e alocamos o cliente à fila caso todos estejam ocupados. O tempo de inatividade dos funcionários é registrado sempre que eles não estão atendendo, permitindo medir a eficiência do sistema de atendimento.

Vale ressaltar que o tempo de chegada dos clientes é calculado de forma acumulativa, ou seja, o próximo cliente chega em um momento baseado na soma do TEC ao horário do cliente anterior.

Por fim, realizamos os cálculos dos tempos médios nas fila, de serviço, no sistema e o de ociosidade (tempo em que os funcionários ficaram sem atender os clientes).



## RESULTADOS

Para analisar os resultados da simulação podemos inicialmente alterar os valores das variáveis, e assim tirar conclusões com base nos dados resultantes. Em uma primeira análise, tomaremos como exemplo uma situação onde o número de funcionários será baixo (igual a 2), e o número de cliente será equivalente a 50, sendo assim:

Semente = 1 ~ 1000

Clientes = 50

Funcionários = 2 (**Poucos funcionários**)

Tempo Máximo = 1800

Métrica	Intervalo de Confiança
Tempo na Fila	[315.50, 332.02]
Tempo de Serviço	[57.44, 58.67]
Tempo no Sistema	[373.06, 390.56]
Tempo em Ociosidade	[1.47, 1.62]

Com esses resultados podemos concluir que o tempo médio de espera na fila foi elevado, variando entre 315,50 e 332,02 unidades, indicando que o número de funcionários disponíveis não é suficiente para atender à demanda de maneira eficiente. O tempo de serviço, por outro lado, apresentou consistência, com média entre 57,44 e 58,67 unidades. Já o tempo total que os clientes passaram no sistema, incluindo fila e atendimento, ficou entre 373,06 e 390,56 unidades, sendo claramente influenciado pelo longo tempo de espera na fila. Além disso, o tempo médio de ociosidade dos funcionários foi muito baixo, entre 1,47 e 1,62 unidades, sugerindo que eles estão sendo utilizados de forma eficiente, mas potencialmente sobrecarregados.

Semente = 1 ~ 1000

Clientes = 50

Funcionários = 10 (**Muitos funcionários**)

Tempo Máximo = 1800

Métrica	Intervalo de Confiança
Tempo na Fila	[0.02, 0.04]
Tempo de Serviço	[57.44, 58.67]
Tempo no Sistema	[57.47, 58.71]
Tempo em Ociosidade	[92.52, 95.05]

Na simulação com 50 clientes, 10 funcionários e um tempo máximo de 1800 unidades, os resultados mostram um sistema extremamente eficiente, mas com excesso de recursos. O tempo médio de espera na fila foi praticamente inexistente, variando entre 0,02 e 0,04 unidades, graças ao elevado número de funcionários. O tempo de serviço permaneceu consistente, entre 57,44 e 58,67 unidades, refletindo a estabilidade do processo de atendimento. Como o tempo na fila foi desprezível, o tempo total no sistema coincidiu com o tempo de serviço, variando entre 57,47 e 58,71 unidades. Por outro lado, o tempo médio de ociosidade dos funcionários foi muito elevado, entre 92,52 e 95,05 unidades, indicando que a maior parte dos funcionários permaneceu sem atender clientes durante a simulação. Isso demonstra que o número de funcionários é superior ao necessário para a demanda apresentada.

Semente = 1 ~ 1000

Clientes = 50

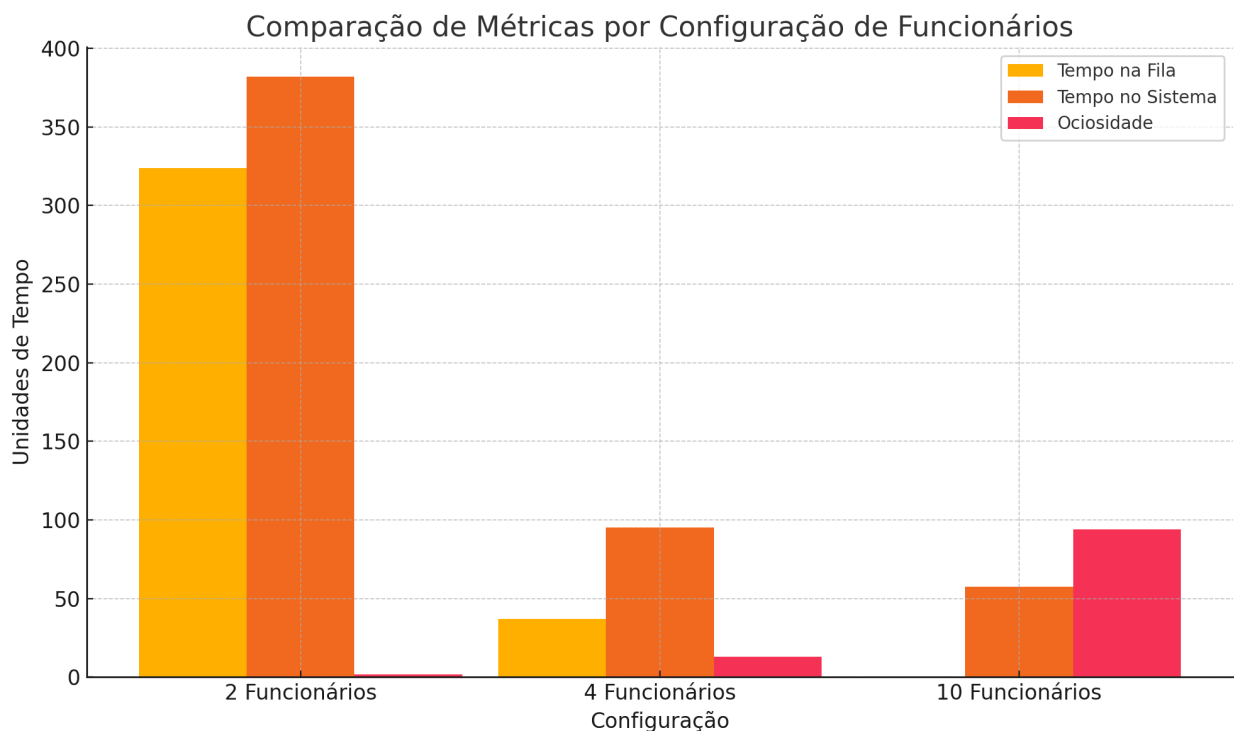
Funcionários = 4 (Número mediano de funcionários)

Tempo Máximo = 1800

Métrica	Intervalo de Confiança
Tempo na Fila	[34.87, 39.41]
Tempo de Serviço	[57.44, 58.67]
Tempo no Sistema	[92.48, 97.91]
Tempo em Ociosidade	[12.60, 13.53]

Na simulação com 50 clientes, 4 funcionários e um tempo máximo de 1800 unidades, os resultados indicam um desempenho mais equilibrado do sistema. O tempo médio de espera na fila variou entre 34,87 e 39,41 unidades, mostrando uma redução

significativa em relação à simulação com 2 funcionários, mas ainda maior do que na simulação com 10 funcionários. O tempo de serviço manteve-se consistente, entre 57,44 e 58,67 unidades, indicando estabilidade no processo de atendimento. O tempo total no sistema variou entre 92,48 e 97,91 unidades, com uma redução considerável em comparação ao cenário de 2 funcionários, mas superior ao cenário de 10 funcionários, reflexo do impacto do tempo de fila. O tempo médio de ociosidade dos funcionários foi baixo, entre 12,60 e 13,53 unidades, indicando que os recursos estão sendo bem utilizados, sem excesso de funcionários ou sobrecarga.



**Cenário com 2 Funcionários:** Alto tempo de fila e sistema, com ociosidade praticamente inexistente.

**Cenário com 4 Funcionários:** Equilíbrio entre tempo de fila moderado, tempo no sistema adequado e baixa ociosidade.

**Cenário com 10 Funcionários:** Quase nenhum tempo de fila ou sistema, mas ociosidade muito alta.