



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

# Relatório do Projeto

**Licenciatura em Engenharia Biomédica**

**Algoritmos e Técnicas de Programação**  
**Ano Letivo 2025/2026**

Catarina Peixoto, A112402

Joana Sousa, A111697

Mafalda Sequeira, A112113

Docentes: José Carlos Ramalho e Luís Filipe Cunha

7 de janeiro de 2025

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Análise e Especificação</b>	<b>2</b>
2.1	Descrição informal do problema . . . . .	2
2.2	Especificação de requesitos . . . . .	2
2.2.1	Dados . . . . .	2
2.2.2	Pedidos . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Conceção da Resolução</b>	<b>5</b>
3.1	Estrutura de dados . . . . .	5
3.2	Modelação do sistema . . . . .	8
3.3	Interface gráfica . . . . .	10
3.3.1	Estrutura geral da Interface . . . . .	10
3.3.2	Botões de controlo . . . . .	11
3.3.3	Estrutura de Tabs para resultados . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Codificação e Testes</b>	<b>16</b>
4.1	Alternativas, Decisões e Problemas de Implementação . . . . .	16
4.1.1	Problemas e Implementação . . . . .	16
4.2	Exemplo de Execução . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Referências</b>	<b>25</b>

## Lista de Figuras

1	Interface . . . . .	10
2	Botão Executar simulação . . . . .	11
3	Botão Sair . . . . .	11
4	Tab de Log . . . . .	12
5	Tab de Estatística - Resultados Gerais . . . . .	12
6	Tab de Estatística - Enfermeiros . . . . .	13
7	Tab de Estatística - Médicos . . . . .	13
8	Gráfico - Evolução das Filas . . . . .	14
9	Gráfico - Ocupação dos Enfermeiros . . . . .	14
10	Gráfico - Ocupação dos Médicos . . . . .	14
11	Gráfico - Sensibilidade . . . . .	15
12	Mensagem se inserir texto . . . . .	17
13	Mensagem se inserir números decimais . . . . .	17
14	Mensagem se inserir números negativos . . . . .	17
15	Mensagem se o tempo de simulação for superior a 24h . . . . .	17
16	Mensagem se for inserido um tempo de consulta/triagem superior ao de simulação . . . . .	17
17	Configurações . . . . .	19
18	Médicos gerados e as suas especialidades . . . . .	20
19	Início do Log de simulação . . . . .	20
20	Resultados gerais . . . . .	20
21	Taxa de Ocupação dos Enfermeiros . . . . .	21
22	Taxa de Ocupação dos Médicos . . . . .	21
23	Gráfico Filas de Espera . . . . .	22
24	Simulação - Taxa de Ocupação dos Enfermeiros . . . . .	22
25	Simulação - Taxa de Ocupação dos Médicos . . . . .	23
26	Simulação - Fila média vs Taxa de chegada . . . . .	23

## 1 Introdução

No âmbito da Unidade Curricular de Algoritmos e Técnicas de Programação, foi solicitado o desenvolvimento de uma aplicação em Python para simular o atendimento de doentes numa clínica médica. Este projeto laboratorial, intitulado "Simulação de uma Clínica Médica", tem como objetivo principal a modelação de sistemas do mundo real através de processos probabilísticos, implementando uma simulação de eventos discretos que replica o fluxo de pacientes num ambiente clínico.

A aplicação desenvolvida permite simular a chegada aleatória de doentes segundo uma distribuição de Poisson, o seu atendimento por um conjunto de médicos cujo tempo de consulta segue distribuições probabilísticas (exponencial, normal ou uniforme), e a gestão de uma fila de espera quando todos os médicos se encontram ocupados. Durante a simulação, são registados diversos parâmetros de desempenho, incluindo tempos de espera, tamanhos das filas e percentagem de ocupação dos médicos.

Para além da simulação base, o sistema oferece funcionalidades de análise que permitem estudar o comportamento da clínica sob diferentes condições operacionais, como a variação da taxa de chegada de pacientes ou a alteração dos parâmetros de duração das consultas. A aplicação inclui uma interface gráfica desenvolvida com o módulo simpleGUI, onde é possível configurar parâmetros, executar simulações e visualizar resultados através de gráficos informativos.

O projeto exige ainda a consideração e tratamento de casos específicos do sistema de saúde simulado, o desenvolvimento de uma interface intuitiva, e a capacidade de gerar análises estatísticas relevantes para a gestão de recursos médicos. Através desta implementação, os alunos aplicam conceitos fundamentais de programação, análise de dados e modelação de sistemas, consolidando competências técnicas essenciais para a Engenharia Biomédica.

## 2 Análise e Especificação

### 2.1 Descrição informal do problema

O sistema a desenvolver deve simular o funcionamento de uma clínica médica na qual os pacientes chegam de forma aleatória, seguindo uma distribuição de Poisson. Logo a seguir, são triados por enfermeiros, que atribuem pulseiras, também de forma aleatória (verde, amarela, vermelha) indicando a sua prioridade. De seguida, são encaminhados para especialidades médicas específicas onde aguardam em fila de espera até um médico da especialidade estar disponível. Quando este se encontra disponível, os pacientes são atendidos e, no final da consulta, saem da clínica.

O sistema deve registrar estatísticas importantes como tempos de espera, tamanhos das filas, taxa de ocupação de médicos e enfermeiros e número de pacientes atendidos. Estes dados seguem distribuições aleatórias, tornando cada simulação diferente e mais próxima da realidade. No final da simulação, o objetivo é analisar estes resultados e perceber como diferentes configurações afetam o desempenho da clínica.

### 2.2 Especificação de requisitos

#### 2.2.1 Dados

Para a realização deste projeto, foi-nos fornecido um ficheiro JSON (`pessoas.json`) contendo informações de pessoas simuladas que serão utilizadas como pacientes em formato de dicionário. Cada pessoa possui:

- Id: identificador único (formato "p1", "p2", etc.)
- Nome completo do paciente
- Idade do paciente
- Sexo do paciente
- Informações adicionais conforme necessário

Para além disso, foi também fornecido pelos docentes um código base em Python (`clinic_alunos.py`) que implementa uma versão simplificada da simulação, servindo como ponto de partida para o desenvolvimento do projeto completo.

O código base implementa um cenário mais simples onde os pacientes chegam aleatoriamente à clínica segundo uma distribuição de Poisson; são atendidos por médicos disponíveis em regime de "primeiro a chegar, primeiro a ser atendido"; se não há médico disponível, aguardam numa fila de espera; o tempo de consulta varia de acordo com uma distribuição configurável (exponencial, normal ou uniforme); e após a consulta, o paciente sai e o médico fica disponível para atender o próximo da fila.

Após a análise cuidadosa deste código, fomos capazes de colocá-lo noutro patamar, implementando mais funções que vão ser descritas já de seguida.

### 2.2.2 Pedidos

Como vimos antes, são pedidas diversas funções na formulação do sistema, em seguida enumeramos o que é pedido para cada uma das funções requesitadas.

#### Parâmetros de configuração

Portanto, deve haver no trabalho, parâmetros configuráveis como:

- Número de enfermeiros na clínica
- Número de médicos disponíveis
- Taxa de chegada de pacientes (pacientes/hora)
- Tempo médio de triagem (minutos)
- Tempo médio de consulta (minutos)
- Duração total da simulação (minutos)
- Tipo de distribuição (exponential, normal, uniform)

## Resultados esperados

Tal como qualquer trabalho, é esperado atingirmos resultados específicos, neste caso é fundamental reconhecer:

- Tempo médio de espera para os doentes
- Tempo médio de consulta
- Quanto tempo em média esteve cada doente na clínica
- Tamanho da fila de espera (média e máximo)
- Percentagem de tempo em que os médicos estão ocupados
- Número total de doentes atendidos

## Interface gráfica

Deverá ter uma interface gráfica desenvolvida com o módulo simpleGUI na qual deverá ser possível:

1. **Executar uma simulação** - Processar eventos de chegada, triagem e saída.
2. **Alterar os parametros da simulação** - Permitir ao utilizador definir todos os parâmetros antes de executar a simulação.
3. **Visualizar resultados** - Tabela de Log que mostra cronologicamente todos os eventos da simulação.
4. **Visualização de gráficos** - a fila de espera e ocupação dos médicos.

## 3 Conceção da Resolução

### 3.1 Estrutura de dados

Para a realização deste projeto, foi necessário definir cuidadosamente as estruturas de dados que suportariam toda a lógica da simulação. A escolha adequada destas estruturas foi crucial para garantir eficiência, clareza do código e facilidade de manutenção.

#### Fila de Eventos

A simulação baseia-se no conceito de eventos discretos, organizados numa lista cronológica denominada `queueEventos`. Cada evento é representado por um tuplo de três elementos: o tempo de ocorrência (valor decimal em minutos), o tipo de evento ("chegada", "fim\_triagem" ou "saída") e o id do paciente envolvido.

Para garantir o funcionamento correto, a lista deve manter sempre a ordem temporal. Assim, ao criar um novo evento, é preciso inseri-lo na posição adequada. Para isso existem três funções: uma que encontra a posição de inserção, outra que adiciona o evento (`enqueue`) e uma terceira que remove o próximo evento a processar (`dequeue`).

#### Fila de espera

O sistema possui duas filas de espera distintas, cada uma servindo um propósito específico no fluxo de atendimento.

A primeira é a fila de triagem (`fila_triagem`), onde aguardam os pacientes que chegaram à clínica mas ainda não foram atendidos por um enfermeiro. Cada elemento desta fila é um tuplo contendo o id do paciente e o momento em que chegou à clínica.

A segunda é a fila de médicos (`queue`), significativamente mais complexa que a anterior. Aqui aguardam os pacientes que já foram triados e estão à espera de serem atendidos por um médico da especialidade apropriada. Esta fila não funciona num simples regime de "primeiro a chegar, primeiro a ser atendido- em vez disso, implementa um sistema de prioridades baseado na cor da pulseira atribuída durante a triagem. Quando um médico fica disponível, o sistema procura na fila o paciente com maior prioridade (pulseira vermelha > amarela > verde) que necessita daquela especialidade específica. Em caso de empate na prioridade, prevalece quem chegou primeiro.

## Dicionário do Paciente

Toda a informação sobre cada paciente é armazenada num dicionário Python (`doentes`), onde a chave é o id único do paciente e o valor é outro dicionário contendo todos os seus dados. Estes dados incluem as informações originais carregadas do ficheiro JSON (como nome e ID), bem como atributos atribuídos dinamicamente durante a simulação que seguem a seguinte distribuição:

### Cor da pulseira:

- Verde: 70% dos casos (baixa prioridade)
- Amarela: 20% dos casos (prioridade média)
- Vermelha: 10% dos casos (alta prioridade)

### Especialidade médica:

- Medicina Geral: 35%
- Ortopedia: 20%
- Gastroenterologia: 15%
- Cardiologia: 15%
- Neurologia: 10%
- Psiquiatria: 5%

## Lista de Enfermeiros

Os enfermeiros são representados numa lista (`enfermeiros`), onde cada enfermeiro é outra lista contendo cinco elementos: identificador (string no formato "e1", "e2", etc.), estado de ocupação (booleano indicando se está a atender alguém), identificador do paciente atual (None se estiver livre), tempo total acumulado em que esteve ocupado (para calcular estatísticas) e o momento em que iniciou a triagem atual.

Esta estrutura permite não apenas saber quem está disponível, mas também calcular a taxa de ocupação de cada enfermeiro ao longo da simulação. Para equilibrar a carga de trabalho, implementamos um algoritmo que, ao procurar um enfermeiro disponível, seleciona aquele que tem o menor tempo total de ocupação acumulado.

## **Lista de médicos**

Semelhante aos enfermeiros, os médicos são representados numa lista (`medicos`), mas com um elemento adicional: a especialidade. Cada médico é uma lista com seis elementos: identificador, estado de ocupação, paciente atual, tempo total ocupado, momento de início da consulta atual e especialidade médica.

A atribuição de especialidades aos médicos é feita durante a inicialização da simulação, seguindo uma distribuição específica:

- Medicina Geral: 30%
- Ortopedia: 20%
- Gastroenterologia: 15%
- Cardiologia: 20%
- Neurologia: 10%
- Psiquiatria: 5%

Os primeiros médicos criados recebem automaticamente as seis especialidades principais (garantindo que há pelo menos um médico de cada especialidade), e os restantes recebem especialidades de forma probabilística, com maior peso para Medicina Geral e Cardiologia.

## **Estruturas para visualização gráfica**

Para permitir a criação dos gráficos analíticos, implementamos cinco listas paralelas que registam a evolução do sistema ao longo do tempo:

- `h_t`: regista cada momento de tempo em que ocorreu um evento
- `h_f_tri`: regista o tamanho da fila de triagem em cada momento
- `h_f_med`: regista o tamanho da fila de médicos em cada momento
- `h_oc_med`: regista a percentagem de médicos ocupados em cada momento
- `h_oc_enf`: regista a percentagem de enfermeiros ocupados em cada momento

Estas listas são atualizadas a cada evento processado, criando um histórico completo que alimenta os gráficos apresentados na interface.

### 3.2 Modelação do sistema

A modelação do sistema foi concebida para replicar de forma realista o funcionamento de uma clínica médica, capturando a complexidade das interações entre pacientes, enfermeiros e médicos.

#### Fluxo do atendimento

O ciclo de vida de um paciente na clínica passa por três fases principais.

Na primeira fase, um paciente chega à clínica. Este momento é um evento de tipo "chegada" gerado antes do início da simulação, seguindo uma distribuição de Poisson que modela chegadas aleatórias mas com uma taxa média definida. Quando este evento é processado, o sistema carrega os dados do paciente tenta atribuí-lo a um enfermeiro disponível. Se existe um enfermeiro livre (especificamente, aquele que tem o menor tempo acumulado de trabalho), a triagem inicia imediatamente e é agendado um evento de "**fim\_triagem**" para o futuro. Caso contrário, o paciente entra na fila de triagem e aguarda.

A segunda fase inicia quando ocorre um evento de "**fim\_triagem**". Neste momento, o enfermeiro que realizou a triagem fica disponível novamente e, se há pacientes na fila de triagem, o próximo é imediatamente chamado. O paciente triado recebe então dois atributos cruciais: uma cor de pulseira e uma especialidade médica necessária (determinadas aleatoriamente de acordo com as distribuições mencionadas em 3.1). Logo a seguir, o sistema procura um médico disponível da especialidade correta e, se encontrado, a consulta inicia e agenda-se um evento de "**saída**". Se não, o paciente entra na fila de médicos.

A terceira e última fase ocorre com o evento de "**saída**", quando a consulta termina. O médico fica livre e incrementa-se o contador de pacientes atendidos. Crucialmente, se existe uma fila de espera, não é simplesmente chamado o próximo paciente, em vez disso, executa-se um algoritmo de priorização que percorre toda a fila procurando o paciente prioritário que necessita daquela especialidade específica.

## Sistema de prioridades

O sistema de priorização implementado é sofisticado e multi-critério. Quando um médico de uma determinada especialidade fica disponível, o algoritmo percorre a fila de espera considerando três critérios hierárquicos:

1. Considera apenas pacientes que necessitam daquela especialidade específica (exemplo: um paciente que precisa de Ortopedia nunca será atendido por um cardiologista, independentemente da sua prioridade).
2. Entre os pacientes da especialidade correta, dá preferência absoluta à cor da pulseira: vermelha (valor 1) é atendida antes de amarela (valor 2), que é atendida antes de verde (valor 3).
3. Em caso de empate na cor da pulseira, prevalece quem chegou primeiro (FIFO - First In, First Out).

## Distribuições Probabilísticas

A simulação utiliza três distribuições probabilísticas diferentes, cada uma modelando um aspecto específico do sistema:

- **Distribuição de Poisson** governa as chegadas de pacientes. Esta é uma escolha clássica em teoria das filas porque modela bem eventos aleatórios que ocorrem de forma independente a uma taxa média constante.
- **Distribuição Exponencial** é usada por defeito para os tempos de triagem e pode também ser usada para os tempos de consulta.
- **Distribuição normal** para os tempos de consulta, o que gera valores concentrados em torno da média com menor variabilidade, ou uma distribuição uniforme, onde qualquer valor entre metade e uma vez e meia da média é igualmente provável.

### 3.3 Interface gráfica

A interface gráfica foi desenvolvida com o objetivo de tornar a simulação acessível, intuitiva e visualmente informativa, permitindo que utilizadores sem conhecimentos de programação possam explorar diferentes cenários.

#### 3.3.1 Estrutura geral da Interface

A janela principal foi organizada seguindo princípios de design de interfaces (1). No topo, um título em destaque identifica a aplicação. Abaixo, encontra-se a secção de configurações, onde todos os parâmetros da simulação podem ser ajustados através de campos de entrada numéricos simples. Esta secção inclui:

- Número de enfermeiros (valor inteiro)
- Número de médicos (valor inteiro)
- Taxa de chegada de pacientes em pacientes por hora (valor inteiro)
- Duração total da simulação em minutos (valor inteiro)
- Tempo médio de triagem em minutos (valor decimal)
- Tempo médio de consulta em minutos (valor decimal)
- Tipo de distribuição para tempos de consulta (menu de seleção)

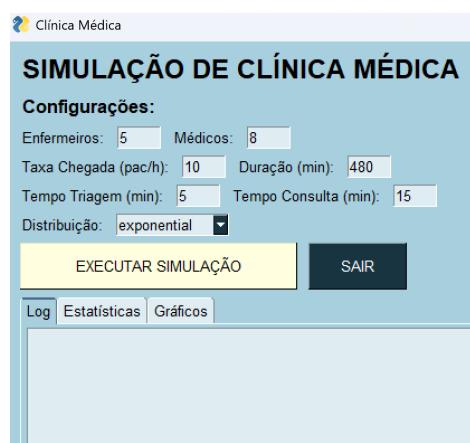


Figura 1: Interface

### 3.3.2 Botões de controlo

Dois botões principais controlam a aplicação, o botão "Executar Simulação" e o botão Sair.

Um aspeto importante do design foi garantir que a simulação pode ser executada múltiplas vezes sem fechar a aplicação. Cada execução limpa os resultados anteriores e processa uma nova simulação independente, permitindo comparações rápidas entre diferentes configurações.

#### Botão Executar Simulação

O botão "Executar Simulação"(2), destacado visualmente com cor de fundo amarela clara, inicia todo o processo de simulação com os parâmetros atualmente configurados.

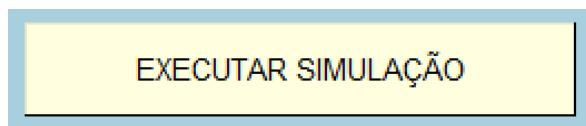


Figura 2: Botão Executar simulação

#### Botão Sair

O botão "SAIR"(3) permite fechar a aplicação de forma limpa.

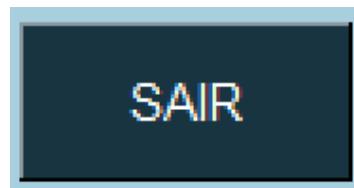


Figura 3: Botão Sair

### 3.3.3 Estrutura de Tabs para resultados

Os resultados são apresentados através de um sistema de tabs (separadores) que organiza a informação em três categorias distintas:

## Tab de Log

A Tab de Log (4) apresenta um registo cronológico completo de todos os eventos da simulação. Cada linha mostra o tipo de evento (Chegada, Triagem, Fim Triagem, Atendido, Espera, Saída), o tempo em que ocorreu, o id do paciente envolvido e o seu nome, e detalhes adicionais contextuais. Por exemplo, ao ver "Triado", são mostradas a cor da pulseira atribuída e a especialidade. Este log é apresentado numa caixa de texto de múltiplas linhas, não editável mas com scroll automático.

TRIAGEM	364.62	p57 - Melissa Maria Rosendo	Iniciou triagem com e2
FIM TRIAGEM	364.93	p56 - Heden Torroo	Terminou triagem
TRIADO	364.93	p56 - Heden Torroo	Triado: verde   Neurologia
ATENDIDO	364.93	p56 - Heden Torroo	Atendido por m5 (Neurologia)
FIM TRIAGEM	365.82	p54 - Leandro Nilton Ramalhete	Terminou triagem
TRIADO	365.82	p54 - Leandro Nilton Ramalhete	Triado: amarela   Ortopedia
ATENDIDO	365.82	p54 - Leandro Nilton Ramalhete	Atendido por m2 (Ortopedia)
CHEGADA	368.18	p58 - Rawanne Sebastião	Entrou na clínica
TRIAGEM	368.18	p58 - Rawanne Sebastião	Iniciou triagem com e1
FIM TRIAGEM	368.44	p57 - Melissa Maria Rosendo	Terminou triagem
TRIADO	368.44	p57 - Melissa Maria Rosendo	Triado: verde   Medicina Geral
ESPERA	368.44	p57 - Melissa Maria Rosendo	Aguarda médico (Fila: 1)

Figura 4: Tab de Log

## Tab de Estatística

A Tab de Estatísticas apresenta métricas calculadas sobre o desempenho do sistema. Este primeiro tab consta com os resultados gerais. Destes, a quantidade total de doentes atendidos, o tempo médio de espera, tempo médio de consulta, tempo médio na clínica e a fila de médicos (média e máxima), tais como nos foram pedidos.

<b>RESULTADOS GERAIS:</b>		
Doentes Atendidos: 83		
Tempo Médio de Espera: 7.59 min		
Tempo Médio de Consulta: 15.29 min		
Tempo Médio na Clínica: 28.14 min		
Fila Médicos (Média): 1.20		
Fila Médicos (Máxima): 5		

Figura 5: Tab de Estatística - Resultados Gerais

Para cada enfermeiro, mostra o seu identificador e a percentagem de tempo que passou ocupado durante toda a simulação (6).

Log	Estatísticas	Gráficos
<b>ESTATÍSTICAS ENFERMEIROS:</b>		
e1: Ocupação 10.34%		
e2: Ocupação 10.99%		
e3: Ocupação 10.33%		
e4: Ocupação 10.41%		
e5: Ocupação 13.57%		

Figura 6: Tab de Estatística - Enfermeiros

Para cada médico, mostra adicionalmente a sua especialidade entre parênteses. Estas estatísticas permitem identificar rapidamente se há recursos subutilizados (baixa ocupação) ou sobrecarregados (ocupação próxima de 100%)(7).

Log	Estatísticas	Gráficos
<b>ESTATÍSTICAS MÉDICOS:</b>		
m1 (Medicina Geral ) : 69.94%		
m2 (Ortopedia ) : 48.63%		
m3 (Gastroenterologia ) : 47.98%		
m4 (Cardiologia ) : 29.61%		
m5 (Neurologia ) : 7.77%		
m6 (Psiquiatria ) : 12.35%		
m7 (Psiquiatria ) : 10.80%		
m8 (Ortopedia ) : 9.36%		

Figura 7: Tab de Estatística - Médicos

## Tab de Gráficos

A Tab de Gráficos é a mais complexa visualmente. Apresenta quatro gráficos de linha empilhados verticalmente, cada um mostrando a evolução temporal de métricas diferentes:

- O primeiro gráfico mostra simultaneamente duas linhas: o tamanho da fila de triagem (azul turquesa) e o tamanho da fila de médicos (rosa choque), permitindo comparar visualmente como as duas filas evoluem (8)

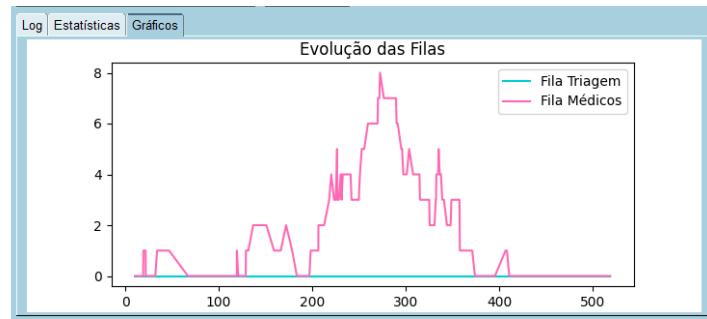


Figura 8: Gráfico - Evolução das Filas

- O segundo gráfico mostra a taxa de ocupação dos enfermeiros ao longo do tempo, em percentagem (9)

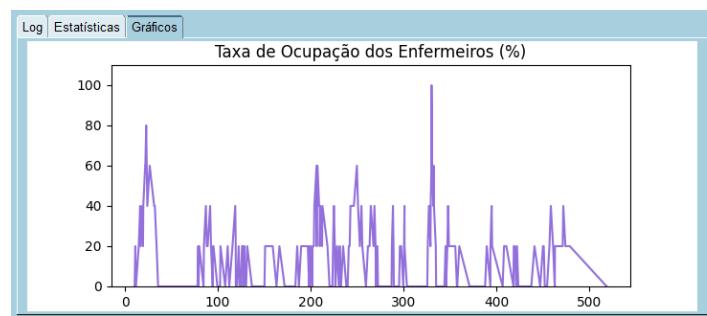


Figura 9: Gráfico - Ocupação dos Enfermeiros

- O terceiro gráfico mostra a taxa de ocupação dos médicos ao longo do tempo, também em percentagem (10)

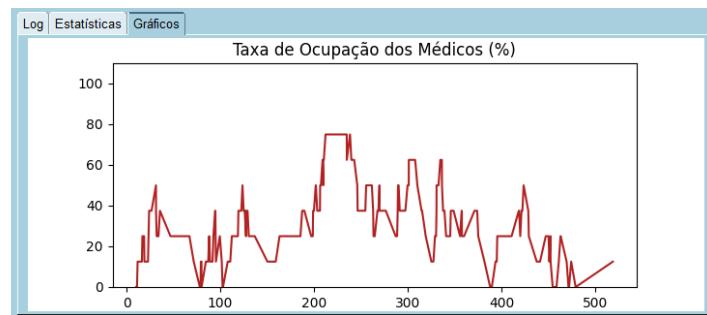


Figura 10: Gráfico - Ocupação dos Médicos

- O quarto e último gráfico mostra a sensibilidade, ou seja, a fila média em função da taxa de chegada (11)

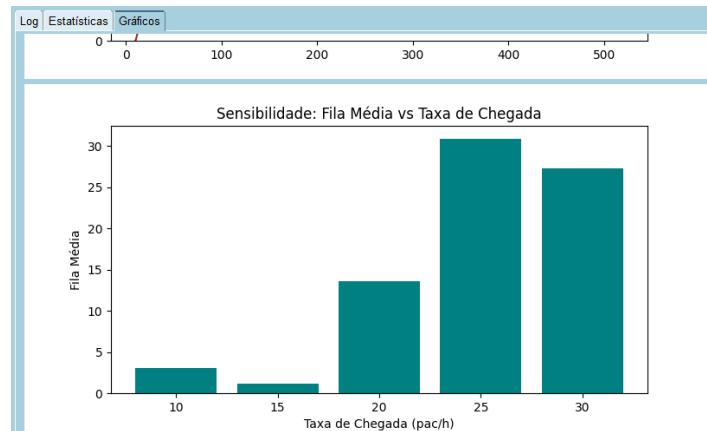


Figura 11: Gráfico - Sensibilidade

Esta secção foi implementada como uma coluna com scroll vertical, permitindo que o utilizador visualize confortavelmente os quatro gráficos mesmo em ecrãs mais pequenos.

## 4 Codificação e Testes

### 4.1 Alternativas, Decisões e Problemas de Implementação

Durante o desenvolvimento deste projeto, foram encontrados diversos desafios técnicos que exigiram análise cuidadosa, pesquisa de soluções e, em alguns casos, refatorização significativa do código. Esta secção documenta os principais problemas enfrentados e as soluções implementadas.

#### 4.1.1 Problemas e Implementação

##### Validação de Inputs Numéricos

Um dos primeiros problemas identificados relacionou-se com a entrada de dados por parte do utilizador. Como a interface permite configurar diversos parâmetros numéricos, era essencial garantir que apenas valores válidos fossem aceites.

A solução implementada envolveu uma validação em duas etapas. Primeiro, todos os valores são convertidos para decimais (float) dentro de um bloco try-except, capturando qualquer tentativa de inserir texto não numérico. Se esta conversão for bem-sucedida, verifica-se então quais campos devem ser especificamente inteiros (número de enfermeiros, número de médicos, taxa de chegada e duração da simulação). Apenas se ambas as validações passarem é que os valores são aceites e a simulação pode prosseguir.

Esta abordagem permite dar feedback específico ao utilizador: se inserir texto, recebe uma mensagem a indicar que deve introduzir apenas números (12); se inserir um decimal num campo que requer inteiro, recebe uma mensagem diferente explicando que aqueles campos específicos devem ser números inteiros (13); se inserir números negativos, recebe uma mensagem para introduzir apenas números positivos (14); no campo de introduzir o tempo de simulação, está imposto um limite de 24h (15); no campo de introduzir um o tempo de consulta e de triagem, recebe uma mensagem sobre o tempo destes campos serem obrigatoriamente menores do que o tempo de simulação imposto(16).

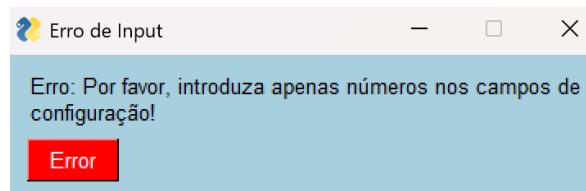


Figura 12: Mensagem se inserir texto

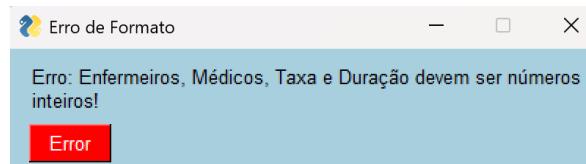


Figura 13: Mensagem se inserir números decimais

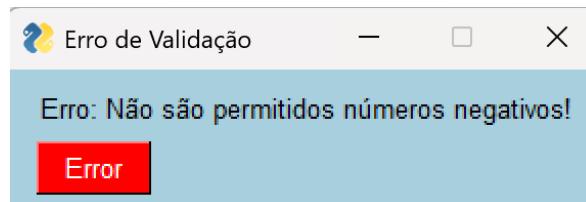


Figura 14: Mensagem se inserir números negativos

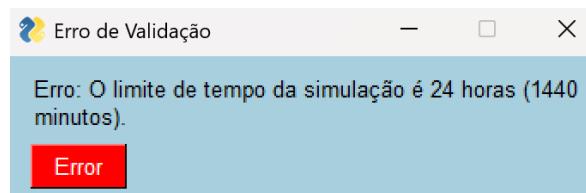


Figura 15: Mensagem se o tempo de simulação for superior a 24h

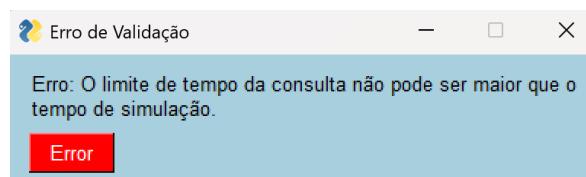


Figura 16: Mensagem se for inserido um tempo de consulta/triagem superior ao de simulação

## Gestão de múltiplos Gráficos

A visualização gráfica apresentou um problema particular: quando a simulação era executada múltiplas vezes, os novos gráficos sobreponham-se aos anteriores em vez de os substituir, criando uma interface confusa e consumindo memória progressivamente.

A solução implementada verifica, antes de criar novos gráficos, se já existem canvas anteriores. Se existirem, os seus widgets Tkinter são explicitamente destruídos. Este processo é repetido para os três canvas (fila de espera, ocupação de enfermeiros e ocupação de médicos). Apenas após garantir que todos os canvas anteriores foram destruídos é que se criam as novas figuras matplotlib e se desenham os novos gráficos.

## Balanço de carga entre Enfermeiros

Durante os testes iniciais, observou-se um padrão não desejado: o primeiro enfermeiro da lista tinha consistentemente uma taxa de ocupação muito superior aos restantes. A análise do código revelou que a função de procura de enfermeiro livre simplesmente retornava o primeiro que encontrasse disponível, sem qualquer critério de balanceamento.

Para resolver este problema, foi implementado um algoritmo que, em vez de retornar o primeiro enfermeiro livre, percorre todos os enfermeiros disponíveis e seleciona aquele que tem o menor tempo total acumulado de ocupação. Isto distribui a carga de trabalho equitativamente.

## Sistema de prioridades na fila de Médicos

A implementação do sistema de prioridades foi um dos pontos mais difíceis, porque não bastava ordenar a fila por cor da pulseira: era preciso considerar especialidade, prioridade e tempo de chegada ao mesmo tempo.

O algoritmo faz uma procura linear, mantendo o melhor candidato encontrado até então. Para isso, começa com valores sentinelas: índice = -1, prioridade = 999 e tempo de chegada = 999999.

Depois percorre toda a fila. Para cada paciente, verifica primeiro se a especialidade necessária coincide com a do médico livre; se não coincidir, ignora-o. Se coincidir, obtém a prioridade numérica da pulseira (vermelha=1, amarela=2, verde=3).

Um paciente passa a ser o novo “melhor” se tiver prioridade superior (número menor) ou, em caso de empate, se tiver chegado mais cedo.

No fim, se o índice encontrado não for -1, remove-se esse paciente da fila, mesmo que não esteja na primeira posição, e inicia-se o seu atendimento.

## 4.2 Exemplo de Execução

Para demonstrar o funcionamento do sistema, apresentamos um cenário de teste que ilustra o funcionamento equilibrado da simulação, onde os recursos são dimensionados adequadamente para a demanda esperada (17). Os parâmetros utilizados foram:

- Enfermeiros: 5
- Médicos: 8
- Taxa de Chegada: 10 pacientes/hora
- Tempo Médio de Triagem: 5 minutos
- Tempo Médio de Consulta: 15 minutos
- Duração da Simulação: 480 minutos (8 horas de funcionamento)
- Distribuição dos Tempos de Consulta: Exponencial

<b>Configurações:</b>			
Enfermeiros:	<input type="text" value="5"/>	Médicos:	<input type="text" value="8"/>
Taxa Chegada (pac/h):	<input type="text" value="10"/>	Duração (min):	<input type="text" value="480"/>
Tempo Triagem (min):	<input type="text" value="5"/>	Tempo Consulta (min):	<input type="text" value="15"/>
Distribuição:	<input type="text" value="exponential"/>		

Figura 17: Configurações

Ao executar a simulação com estes parâmetros, o sistema primeiro apresentou no terminal a tabela de especialidades atribuídas aos médicos. Esta distribuição é feita automaticamente pelo sistema, garantindo que todas as seis especialidades têm pelo menos um médico(18)

O log gerado apresentou cronologicamente todos os eventos da simulação (19).

Médico	Especialidade
m1	Medicina Geral
m2	Ortopedia
m3	Gastroenterologia
m4	Cardiologia
m5	Neurologia
m6	Psiquiatria
m7	Gastroenterologia
m8	Neurologia

Figura 18: Médicos gerados e as suas especialidades

Evento	Tempo	Doente	Detalhes
CHEGADA	4.61	p0 - Neyanne Sampaio	Entrou na clinica
TRIAGEM	4.61	p0 - Neyanne Sampaio	Iniciou triagem com e1
FIM TRIAGEM	4.82	p0 - Neyanne Sampaio	Terminou triagem
TRIADO	4.82	p0 - Neyanne Sampaio	Triado: amarela   Medicina Geral
ATENDIDO	4.82	p0 - Neyanne Sampaio	Atendido por m1 (Medicina Geral)
CHEGADA	9.04	p1 - Santiago Cláudio Balsa	Entrou na clinica
TRIAGEM	9.04	p1 - Santiago Cláudio Balsa	Iniciou triagem com e2
FIM TRIAGEM	10.07	p1 - Santiago Cláudio Balsa	Terminou triagem
TRIADO	10.07	p1 - Santiago Cláudio Balsa	Triado: verde   Medicina Geral
ATENDIDO	10.07	p1 - Santiago Cláudio Balsa	Atendido por m7 (Medicina Geral)

Figura 19: Início do Log de simulação

As estatísticas calculadas ao final da simulação mostraram um sistema bem平衡ado. Os resultados gerais foram:

RESULTADOS GERAIS:
Doentes Atendidos: 77
Tempo Médio de Espera: 2.47 min
Tempo Médio de Consulta: 13.67 min
Tempo Médio na Clinica: 20.45 min
Fila Médicos (Média): 0.50
Fila Médicos (Máxima): 3

Figura 20: Resultados gerais

Para os enfermeiros, as taxas de ocupação foram:

ESTATÍSTICAS ENFERMEIROS:		
e1:	Ocupação	16.96%
e2:	Ocupação	15.94%
e3:	Ocupação	15.78%
e4:	Ocupação	16.04%
e5:	Ocupação	15.80%

Figura 21: Taxa de Ocupação dos Enfermeiros

A proximidade destes valores confirma que o algoritmo de balanceamento de carga está a funcionar corretamente. Nenhum enfermeiro ficou significativamente mais sobrecarregado do que os restantes.

Para os médicos, as taxas de ocupação variaram mais significativamente devido à variação das diferentes probabilidades de cada especialidade:

ESTATÍSTICAS MÉDICOS:		
m1	(Medicina Geral ):	76.34%
m2	(Ortopedia ):	51.69%
m3	(Gastroenterologia ):	14.64%
m4	(Cardiologia ):	22.38%
m5	(Neurologia ):	20.65%
m6	(Psiquiatria ):	13.34%
m7	(Gastroenterologia ):	7.78%
m8	(Neurologia ):	12.46%

Figura 22: Taxa de Ocupação dos Médicos

O primeiro gráfico, (23) que mostra a evolução das filas, revelou padrões interessantes. A fila de triagem manteve-se uma linha reta, revelando que 5 enfermeiros chega perfeitamente para a taxa de chegada configurada.

A fila de médicos, em contraste, apresentou um comportamento mais irregular. Iniciou próxima de zero, cresceu gradualmente nas primeiras 2 horas até um pico de cerca de 14 pacientes por volta dos 300 minutos, depois foi diminuindo até ao fim da simulação.

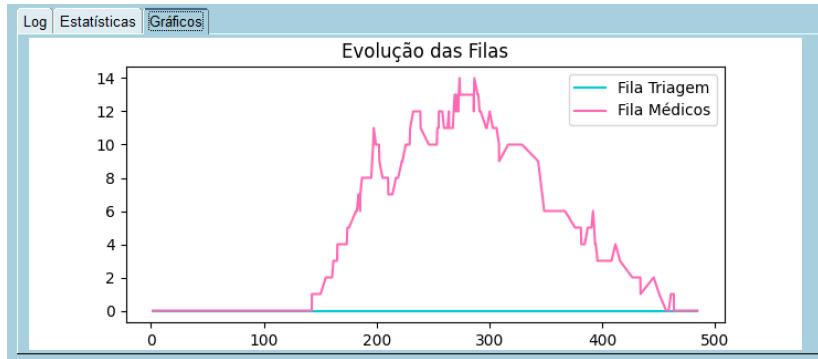


Figura 23: Gráfico Filas de Espera

O segundo gráfico (24) mostrou a taxa de ocupação dos enfermeiros oscilando entre 20% e 80%. Os períodos de 100% correspondiam a momentos onde todos os enfermeiros estavam simultaneamente ocupados. A média visual situou-se em torno de 20%, consistente com as estatísticas calculadas.

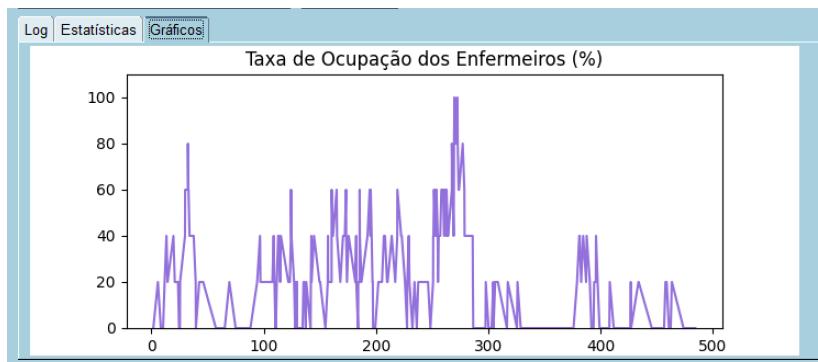


Figura 24: Simulação - Taxa de Ocupação dos Enfermeiros

O terceiro gráfico (25), de ocupação dos médicos, apresentou maior variabilidade. A taxa oscilou entre 20% e 80%, refletindo a heterogeneidade das especialidades. Períodos de alta ocupação ( $>90\%$ ) indicavam momentos onde quase todos os médicos estavam ocupados, o que, neste caso, acabou por não acontecer. Enquanto os períodos de menor ocupação refletiam desbalanceamentos temporários entre oferta e demanda de especialidades específicas.

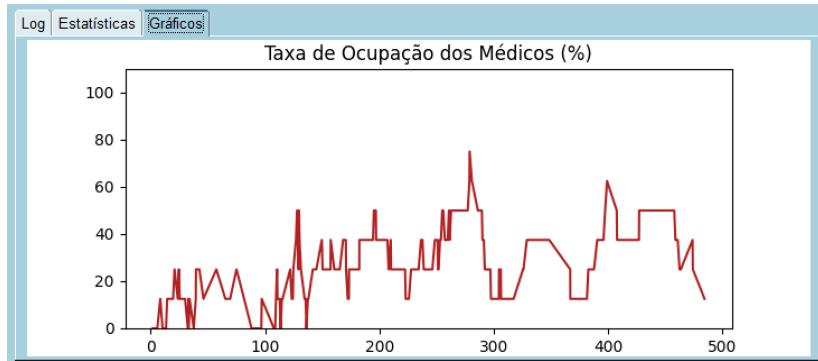


Figura 25: Simulação - Taxa de Ocupação dos Médicos

O quarto gráfico (26) apresenta uma análise de sensibilidade, mostrando através de barras como a fila média de espera varia em função de diferentes taxas de chegada de pacientes (10, 15, 20, 25 e 30 pacientes/hora). Esta análise permite avaliar rapidamente o impacto do aumento da demanda no sistema.

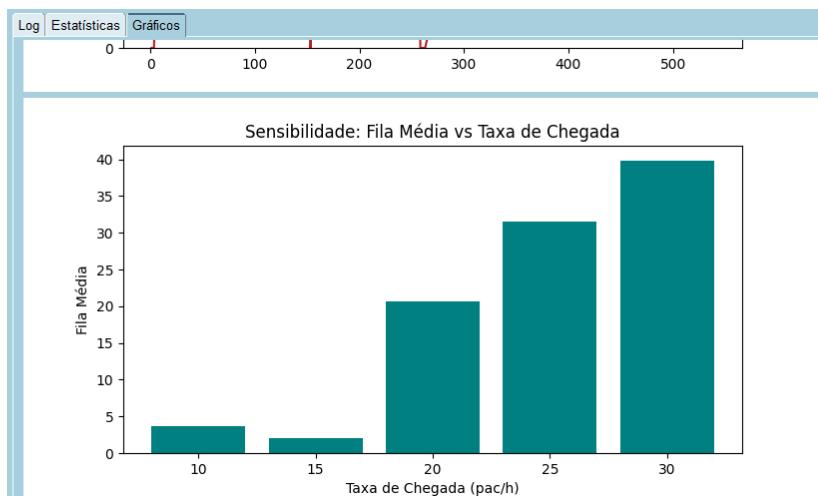


Figura 26: Simulação - Fila média vs Taxa de chegada

## 5 Conclusão

O desenvolvimento deste projeto revelou-se extremamente enriquecedor. A complexidade de coordenar múltiplos recursos (enfermeiros e médicos), gerir filas com diferentes prioridades e simular comportamentos estocásticos exigiu raciocínio lógico avançado e atenção aos detalhes.

Em suma, o projeto cumpriu os objetivos propostos e proporcionou uma sólida base de conhecimentos em simulação de sistemas, programação Python e análise de dados, competências essenciais para a Engenharia Biomédica.

## 6 Referências

Ficheiros fornecidos pelos docentes para realização do projeto  
<https://epl.di.uminho.pt/~jcr/AULAS/ATP2025/aulas2025.html>  
<https://pythontutor.com/>