



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Relatório do Trabalho Prático

Algoritmos e Técnicas de Programação

Licenciatura em Engenharia Biomédica

A107272, Beatriz Ribeiro

A107186, Pedro Gomes

Docentes:

Prof José Carlos Ramanho

Prof Luís Filipe Cunha

Data: 11 de janeiro de 2026



Índice

1	Introdução	1
2	Arquitetura do Sistema	2
2.1	Bibliotecas utilizadas	2
2.2	Lógica da Simulação	2
2.3	Implementação de Datasets de pessoas e de médicos reais	3
3	Implementação das Funcionalidades na Interface	4
3.1	Configuração da Simulação	4
3.1.1	Taxa de chegada	5
3.1.2	Número de Médicos	5
3.1.3	Disbuição dos Serviços	6
3.1.4	Tempo Médio da Consulta	6
3.1.5	Duração da Simulação	6
3.1.6	Detalhes Considerados	6
3.2	Dashboard - KPIs Principais	8
3.2.1	Métricas de Pacientes	8
3.2.2	Métrica de Fila	8
3.3	Registros	9
3.4	Gráficos	10
3.4.1	Evolução da Fila de Espera	11
3.4.2	Evolução da Ocupação dos Médicos	12
3.4.3	Fila Por Especialidade	12
3.4.4	Distribuição do Tempo de Espera	13
3.4.5	Procura por Especialidade	13
3.4.6	Comparação da Evolução da Fila de Espera	15
3.4.7	Comparação Evolução da Ocupação dos Médicos	15
4	Extras	16
4.1	Métricas dos Médicos	16
4.2	Importar especialidades médicas e vários tipos de doente	17
4.3	Gráficos Complementares	18
5	Conclusão e Reflexão sobre os resultados	19
6	Referências	20



1 Introdução

O presente trabalho tem como objetivo central o desenvolvimento e a implementação de uma aplicação computacional destinada à simulação do fluxo de atendimento num ambiente de clínica médica. A capacidade de modelar sistemas complexos de saúde é uma competência fundamental, permitindo a análise de cenários reais através de representações digitais controladas. Este projeto foca-se na criação de um modelo de simulação de eventos discretos, onde o comportamento dinâmico da clínica é reproduzido através do processamento sequencial de ocorrências, nomeadamente a chegada e a saída de doentes.

A simulação proposta visa replicar a incerteza intrínseca a este tipo de unidades de prestação de cuidados, recorrendo a processos que definam tanto o ritmo de entrada dos pacientes como a duração dos atos médicos. O objetivo não é apenas criar um sistema funcional, mas sim construir uma ferramenta de análise que permita observar como a variação de variáveis externas e internas impacta a eficiência operacional da clínica.

Em última análise, o trabalho propõe-se a explorar a relação entre a procura e a capacidade de resposta do sistema, utilizando a simulação como um veículo para compreender a gestão de recursos num contexto clínico. Ao focar-se na interação entre doentes e profissionais de saúde, o projeto procura cumprir os requisitos de análise estatística previstos para a otimização de sistemas de engenharia aplicados à saúde.



2 Arquitetura do Sistema

2.1 Bibliotecas utilizadas

Para o desenvolvimento da aplicação, foram selecionadas bibliotecas que permitem a gestão eficiente de dados estatísticos, a representação visual dos resultados e a criação de uma interface de utilizador funcional:

- FreeSimpleGUI: Esta biblioteca é utilizada para a conceção da interface gráfica da aplicação. Através dela, é possível parametrizar a simulação, permitindo ao utilizador definir variáveis como o número de médicos e a taxa de chegada de doentes de forma intuitiva antes de executar o processo. Serve ainda como o suporte para a visualização dos gráficos e dashboards gerados no final da simulação.
- Matplotlib: É a ferramenta central para a análise e visualização de dados do projeto. É utilizada para gerar todos os gráficos que desenvolvemos e de que falaremos mais adiante. Além disso, permite realizar a análise comparativa dem parâmetros que impactam o desempenho do sistema.

2.2 Lógica da Simulação

A fidelidade de uma simulação de eventos discretos depende da correta modelação da incerteza e da variabilidade dos processos reais. No contexto desta clínica médica, foram utilizados dois modelos probabilísticos fundamentais para simular o comportamento do sistema:

- **Distribuição de Poisson:** A chegada dos doentes à clínica é modelada como um processo de Poisson, que é o modelo padrão para representar a ocorrência de eventos independentes num intervalo de tempo contínuo. Este modelo assume que a probabilidade de um doente chegar é constante ao longo do tempo, independentemente de quando ocorreu a última chegada. O parâmetro central é a taxa de chegada (λ), expressa em doentes por hora. Na implementação técnica, a distribuição de Poisson dita o intervalo de tempo entre chegadas sucessivas, garantindo que o fluxo de entrada não seja linear, mas sim aleatório e imprevisível, tal como acontece numa clínica real.
- **Distribuições de Consulta:** Ao contrário das chegadas, a duração de uma consulta médica não é uniforme e depende de múltiplos fatores clínicos. Para simular esta variabilidade, o sistema permite configurar o tempo de atendimento através de três distribuições distintas:

- **Distribuição Exponencial:** Utilizada frequentemente para modelar tempos de serviço onde consultas rápidas são mais prováveis do que consultas muito longas. É caracterizada por possuir uma grande variabilidade em torno da média.
- **Distribuição Normal:** Aplicada quando os tempos de consulta tendem a agrupar-se em torno de um valor médio central (tempo médio de consulta), com desvios simétricos para mais ou para menos, representando processos de atendimento mais padronizados.
- **Distribuição Uniforme:** Define que o tempo de consulta pode ocorrer com igual probabilidade dentro de um intervalo específico (mínimo e máximo), sendo útil para simular procedimentos que têm uma duração rigorosamente controlada.

2.3 Implementação de Datasets de pessoas e de médicos reais

Em vez de processar doentes como meros contadores e médicos como recursos estáticos, o sistema foi expandido para suportar a importação de dados reais via ficheiros JSON.

A utilização de um dataset de pessoas reais permite que cada evento de chegada na simulação seja associado a um perfil individualizado associado a parâmetros como nome, causa da visita à clínica e respetiva especialidade requerida. A inclusão destes dados permite, em desenvolvimentos futuros, gerir o tempo médio da fila de espera, o seu tamanho, bem como outras métricas, visto que os utentes serão atendidos consoante a disponibilidade dos médicos aptos para a especialidade requerida.

```
{
    "nome": "Marco Martins",
    "causa": "Dor no olho e visão turva",
    "especialidade_requerida": "Oftalmologista"
},
```

Figura 1: Utente no dataset utentes.json

Por sua vez, a estrutura dos médicos foi igualmente adaptada para suportar uma maior complexidade organizacional. Estes estão associados ao seu nome e podem ser categorizados por especialidades médicas, influenciando o tipo de doentes que podem atender, como já referido.

```
{
    "nome": "João Silva",
    "especialidade": "Cardiologista"
},
```

Figura 2: Médico no dataset médicos.json

3 Implementação das Funcionalidades na Interface

A estrutura deste documento foi planeada para refletir fielmente a arquitetura da aplicação desenvolvida. Uma vez que a interface gráfica foi segmentada em módulos funcionais distintos, optou-se por organizar os capítulos seguintes de acordo com as quatro abas principais que compõem o sistema. Esta abordagem permite correlacionar diretamente as escolhas de programação com as funcionalidades apresentadas ao utilizador final.

3.1 Configuração da Simulação

Esta aba funciona como o painel central para a definição das condições experimentais do sistema. No estado atual, a plataforma indica que já existe um dataset carregado (`registos_5000.json`), o qual serve de base para a execução imediata.

SIMULAÇÃO DA CLÍNICA

Sistema de Simulação de Eventos de uma Clínica Médica

Parâmetros | Dashboard | Registos | Gráficos

Configuração da Simulação

CARREGAR CONFIGURAÇÃO

Parâmetros de Entrada

Taxa de Chegada (doentes/hora)	20
Número de Médicos	8
Distribuição de Serviço	exponencial
Tempo Médio de Consulta (min)	15
Duração da Simulação (min)	480

Estado do Dataset:

Dataset Carregado (`registos_5000.json`)

EXECUTAR SIMULAÇÃO

Figura 3: Aba Parâmetros da Simulação

No entanto, o sistema oferece flexibilidade ao utilizador através do botão "CARREGAR CONFIGURAÇÃO", permitindo a importação de ficheiros externos em formato JSON. Estes ficheiros contêm os parâmetros de simulação previamente definidos, facilitando a replicação de cenários específicos sem a necessidade de introdução manual e até minimizando erros humanos neste processo.

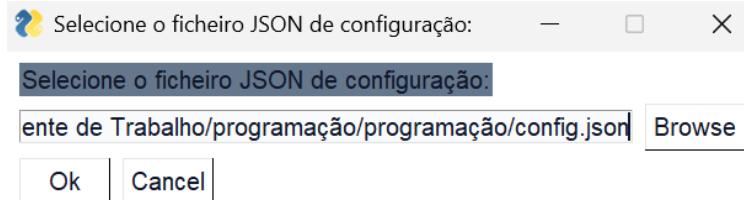


Figura 4: Carregar Configuração Pré-definida num Ficheiro JSON

Após a parametrização e ao clicar em "EXECUTAR SIMULAÇÃO", o utilizador tem a possibilidade de gerir o histórico de dados gerados. Existe a opção de guardar a simulação, sendo permitido atribuir-lhe um nome personalizado para facilitar a sua posterior identificação e análise comparativa nas abas de "Registros" ou "Gráficos". Esta funcionalidade é essencial para manter um fluxo de trabalho organizado, permitindo que diferentes iterações do modelo sejam armazenadas de forma independente.

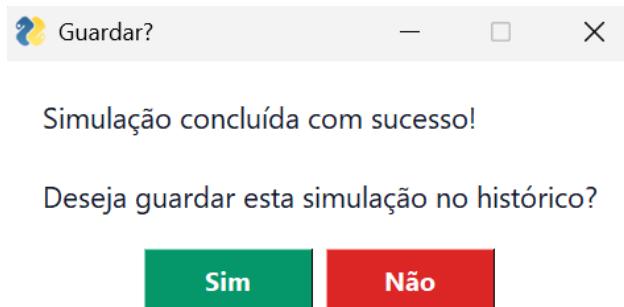


Figura 5: Botão Guardar Simulação

3.1.1 Taxa de chegada

Este parâmetro determina a intensidade do fluxo de entrada no sistema. Ao definir o número de doentes que chegam por hora, o simulador utiliza processos estatísticos para distribuir estas chegadas ao longo do tempo, permitindo observar como a clínica lida com picos de procura e a formação de filas na receção.

3.1.2 Número de Médicos

Representa a capacidade total de atendimento em paralelo, funcionando como o número de servidores no modelo de filas. Este campo possui um limite máximo pré-definido para garantir a estabilidade do sistema e refletir as limitações físicas de uma clínica real, impedindo a configuração de recursos humanos infinitos.

3.1.3 Disbuição dos Serviços

O utilizador pode selecionar entre três tipos de distribuições estatísticas (Exponencial, Normal ou Uniforme) para modelar a variabilidade dos atendimentos. Esta escolha é crucial, pois permite simular desde consultas de rotina com tempos muito previsíveis até casos de urgência onde a duração das consultas varia de forma drástica.

3.1.4 Tempo Médio da Consulta

Define a duração esperada para cada atendimento médico individual. Este valor é utilizado como a base para a distribuição de serviço selecionada, sendo o indicador principal para o cálculo da ocupação dos médicos e do tempo de espera dos doentes que aguardam no sistema.

3.1.5 Duração da Simulação

Este parâmetro estabelece o horizonte temporal total sobre o qual os eventos serão processados, simulando, por exemplo, um dia completo de trabalho (480 min). É o limite temporal que encerra a recolha de dados e a geração das métricas finais de desempenho da clínica.

3.1.6 Detalhes Considerados

O sistema verifica automaticamente se o Tempo Médio de Consulta é superior à Duração da Simulação. Caso esta condição se verifique, a execução da simulação é bloqueada e é emitido um erro, uma vez que seria impossível completar sequer um atendimento dentro do tempo de operação definido, tornando os resultados estatisticamente irrelevantes.

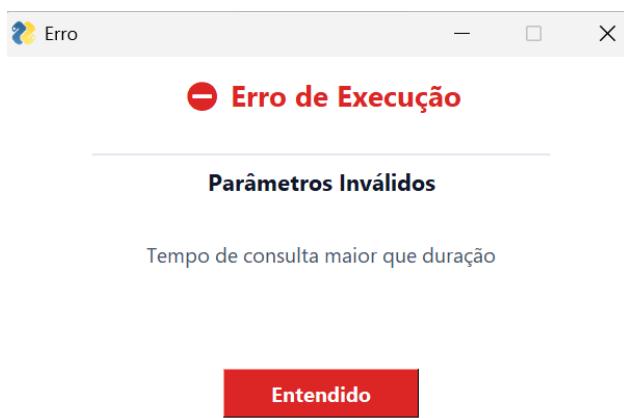


Figura 6: Erro - Tempo Consulta vs Tempo Simulação

O campo Número de Médicos possui um limite máximo definido pelo sistema. Esta restrição evita a alocação irrealista de recursos e garante que a simulação opere dentro das



capacidades computacionais e lógicas do modelo de filas de espera. Deste modo, se o utilizador introduzir um valor neste campo que ultrapasse a quantidade de médicos estabelecida no dataset dos médicos utilizado, é emitido um erro que impede proceder com a simulação até alterar este campo para um valor válido.

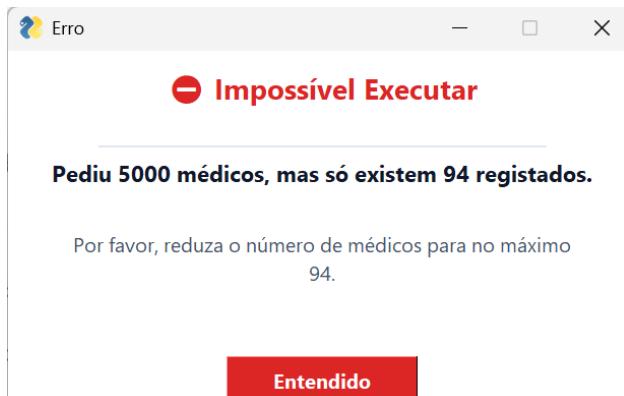


Figura 7: Erro - Nº de Médicos superior ao do ficheiro JSON

Da mesma forma que acontece no campo do Número de Médicos disponíveis durante uma simulação, o campo Taxa de Chegada de Doentes por Hora apresenta limite do número de utentes. Desta forma, se colocarmos um valor superior à quantidade ditada no dataset dos utentes, será também emitido um erro semelhante, que impedirá o utilizador de executar uma simulação com tais parâmetros.



Figura 8: Erro - Nº Utentes superior ao do ficheiro JSON



3.2 Dashboard - KPIs Principais

O Dashboard é a componente visual onde são consolidados os indicadores de desempenho da simulação, permitindo uma análise multinível, desde a eficiência global até ao detalhe individual.

3.2.1 Métricas de Pacientes

Aqui, o sistema contabiliza dados que são cruciais para avaliar o estado da clínica, bem como a satisfação dos utentes:

- nº de pacientes atendidos
- tempo médio de espera
- tempo médio de consulta
- tempo médio na clínica

3.2.2 Métrica de Fila

Aqui é monitorizado o fluxo de espera através de dados fundamentais para identificar congestionamentos no sistema e validar se a capacidade de atendimento configurada é adequada à procura simulada:

- tamanho médio da fila
- tamanho máximo da fila

Dashboard Operacional

Métricas de Pacientes

Pacientes Atendidos:	44
Tempo Médio de Espera:	9.22 min
Tempo Médio de Consulta:	50.00 min
Tempo Médio na Clínica:	55.54 min

Métrica de Fila:

Tamanho Médio da Fila:	0.89
Tamanho Máximo da Fila:	4

Figura 9: Métricas Pacientes e Métrica de Fila

3.3 Registos

A aba de Registos oferece uma visão cronológica de cada consulta que ocorreu durante a simulação, permitindo uma auditoria detalhada de cada interação entre médico e paciente.

O sistema gera um log que detalha o médico assistente, a sua especialidade, o paciente atendido e os tempos exatos de espera e duração de cada consulta. Também para facilitar a identificação rápida de problemas, utilizou-se um código de cores baseado no Tempo de Espera. As entradas a verde destacam casos de elevada eficiência (tempo de espera inferior a 10 minutos), enquanto as entradas a vermelho sinalizam situações críticas onde o paciente aguardou mais de 30 minutos, permitindo focar a análise nos pontos de rutura do sistema.

Log Real da Simulação

Médico	Especialidade Méd.	Paciente	Especialidade Req.	Tempo Espera (min)	Duração (min)
Dr. Maria Santos	Dermatologista	Ana Werneck (ID-1)	Dermatologista	0.00	42.63
Dr. Ricardo Marques	Psiquiatra	Olga Igrejas (ID-2)	Psiquiatra	0.00	43.69
Dr. Helena Gomes	Urologista	Quintino Ramos (ID-3)	Urologista	0.00	59.08
Dr. João Silva	Cardiologista	Fábio Xisto (ID-4)	Cardiologista	0.00	39.88
Dr. Inês Oliveira	Oftalmologista	Eduarda Gomes (ID-5)	Oftalmologista	0.00	44.03
Dr. Ana Rodrigues	Neurologista	Sofia Pires (ID-8)	Neurologista	0.00	58.57
Dr. Inês Oliveira	Oftalmologista	Paulo Jesus (ID-6)	Oftalmologista	26.14	42.86
Dr. Miguel Pereira	Gastroenterologista	Tomás Ferreira (ID-10)	Gastroenterologista	0.00	54.97
Dr. Helena Gomes	Urologista	Zé Teixeira (ID-7)	Urologista	32.40	40.28
Dr. Maria Santos	Dermatologista	Tomás Yanes (ID-12)	Dermatologista	0.00	55.17
Dr. Luís Fernandes	Ortopedista	Rita Yanes (ID-13)	Ortopedista	0.00	49.87
Dr. Helena Gomes	Urologista	Eduarda Jesus (ID-9)	Urologista	44.74	56.72
Dr. Ricardo Marques	Psiquiatra	Paulo Silva (ID-16)	Psiquiatra	0.00	68.22
Dr. Ana Rodrigues	Neurologista	Quintino Zagalo (ID-14)	Neurologista	28.02	45.28
Dr. Miguel Pereira	Gastroenterologista	Eduarda Henriques (ID-11)	Gastroenterologista	41.99	61.11

Figura 10: Aba Registos

3.4 Gráficos

A aba de Gráficos é a ferramenta que permite converter os dados brutos em conhecimento estratégico. Uma funcionalidade distintiva é a exibição dos parâmetros de entrada diretamente abaixo dos respetivos gráficos, garantindo que o utilizador consiga interpretar as curvas de dados com o contexto exato da configuração que as gerou.

Gráficos da Simulação Atual e de Ficheiros JSON

O sistema permite visualizar o desempenho tanto da simulação presente como de simulações passadas carregadas via ficheiro JSON que se encontram presentes no histórico.

Da mesma forma que conseguimos guardar dados de uma simulação num ficheiro JSON e visualizá-los, também colocamos a possibilidade de limpar o histórico de simulações guardadas, caso já não queiramos trabalhar com as mesmas.

No total, este sistema permite-nos gerar cinco gráficos principais:

Gráficos Desta Simulação

Selecione para abrir:

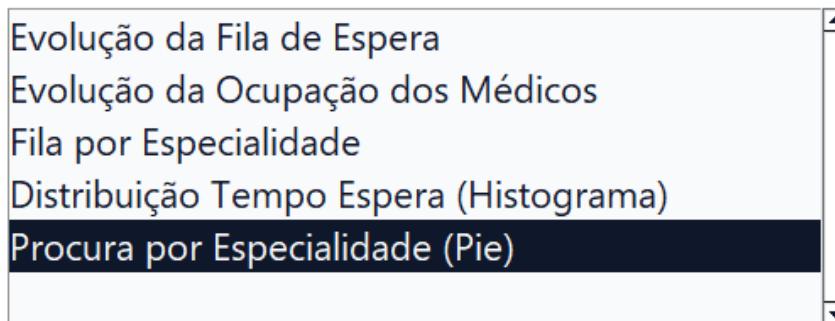


Figura 11: Gráficos Disponíveis

- **Evolução da Fila de Espera e Ocupação:** Gráficos de linha que mostram, ao longo do tempo, como a fila oscilou.
- **Fila por Especialidade:** Uma vista segmentada que identifica quais as áreas médicas que apresentam maiores tempos de espera.
- **Histograma de Distribuição:** Um gráfico estatístico que agrupa os tempos de espera globais, permitindo perceber rapidamente se a maioria dos pacientes é atendida dentro dos limites aceitáveis.
- **Gráfico de Procura:** Uma representação circular que mostra a distribuição percentual da procura por cada especialidade médica.

No geral, todos estes gráficos permitem identificar padrões de comportamento da clínica que seriam difíceis de detetar apenas ao guardar simulações teste. Ao reunir métricas de evolução temporal, distribuição estatística e segmentação por especialidade, estas ferramentas oferecem uma visão que facilita a deteção de gargalos operacionais e a validação da eficiência das políticas de atendimento implementadas.

3.4.1 Evolução da Fila de Espera



Figura 12: Gráfico Evolução da Fila de espera de uma simulação

3.4.2 Evolução da Ocupação dos Médicos

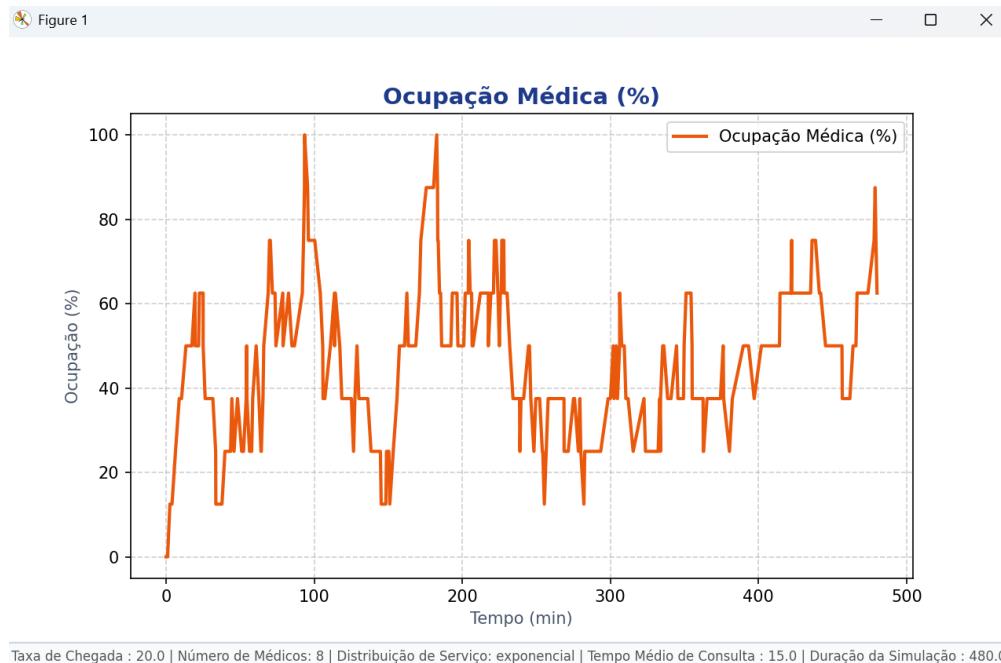


Figura 13: Gráfico Evolução da Ocupação dos Médicos de uma simulação

3.4.3 Fila Por Especialidade

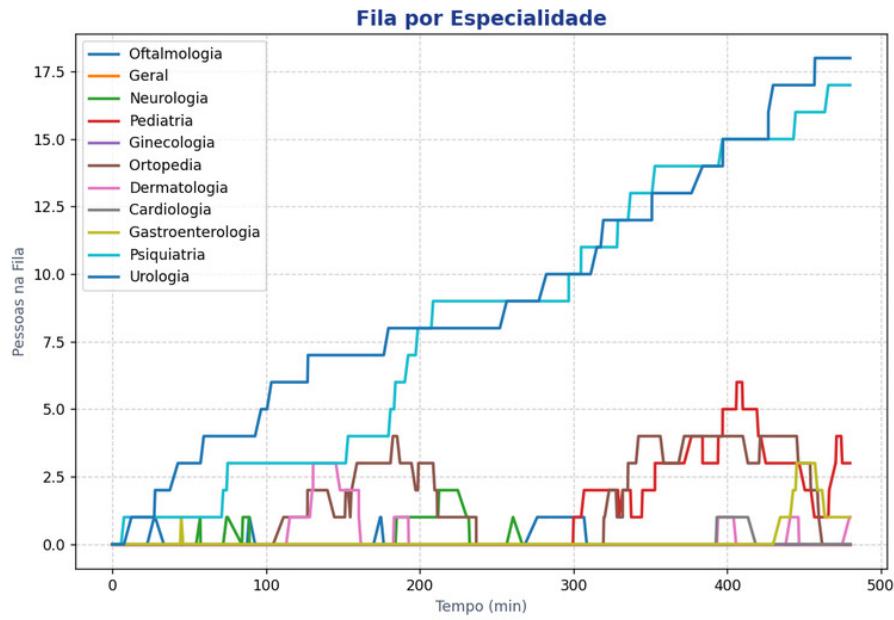


Figura 14: Gráfico Fila por Especialidade

3.4.4 Distribuição do Tempo de Espera

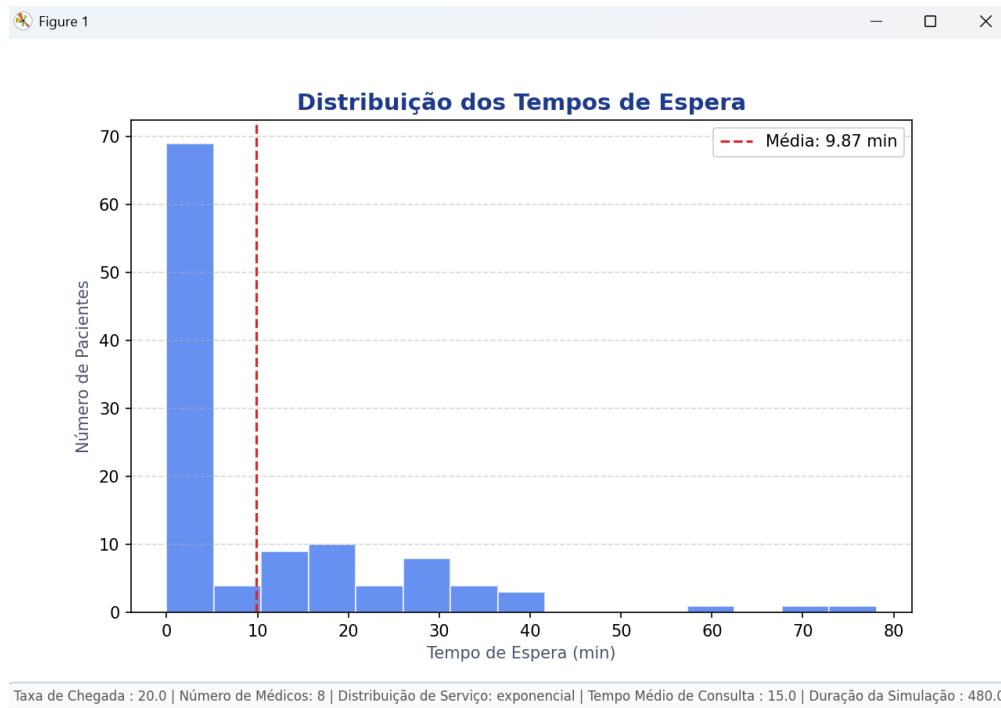


Figura 15: Gráfico Distribuição do Tempo de Espera

3.4.5 Procura por Especialidade



Figura 16: Gráfico Procura por Especialidade

Para além disto, a plataforma suporta a comparação de múltiplas simulações em simultâneo. Através desta funcionalidade, é possível sobrepor os gráficos de evolução da fila e de ocupação dos médicos de diferentes execuções, facilitando a identificação de qual a configuração de recursos (n.º de médicos vs. taxa de chegada) que oferece o melhor equilíbrio entre custo e nível de serviço. Estas ferramentas de comparação são essenciais para a validação do modelo, pois permitem provar que as alterações nos parâmetros têm o efeito esperado nos gráficos de desempenho.

Histórico e Comparação

1. Selecione simulação(ões):

- exp20
- norm30
- djawoijdwijdaw
- 2

LIMPAR HISTÓRICO

2. Ver Gráfico Individual (Selecione 1 acima):

- Evolução da Fila de Espera
- Evolução da Ocupação dos Médicos
- Fila por Especialidade
- Distribuição Tempo Espera (Histograma)

3. Comparar Várias (Selecione 2+ acima):

- Comparar Evolução da Fila
- Comparar Ocupação dos Médicos

Figura 17: Histórico e Comparação

3.4.6 Comparação da Evolução da Fila de Espera

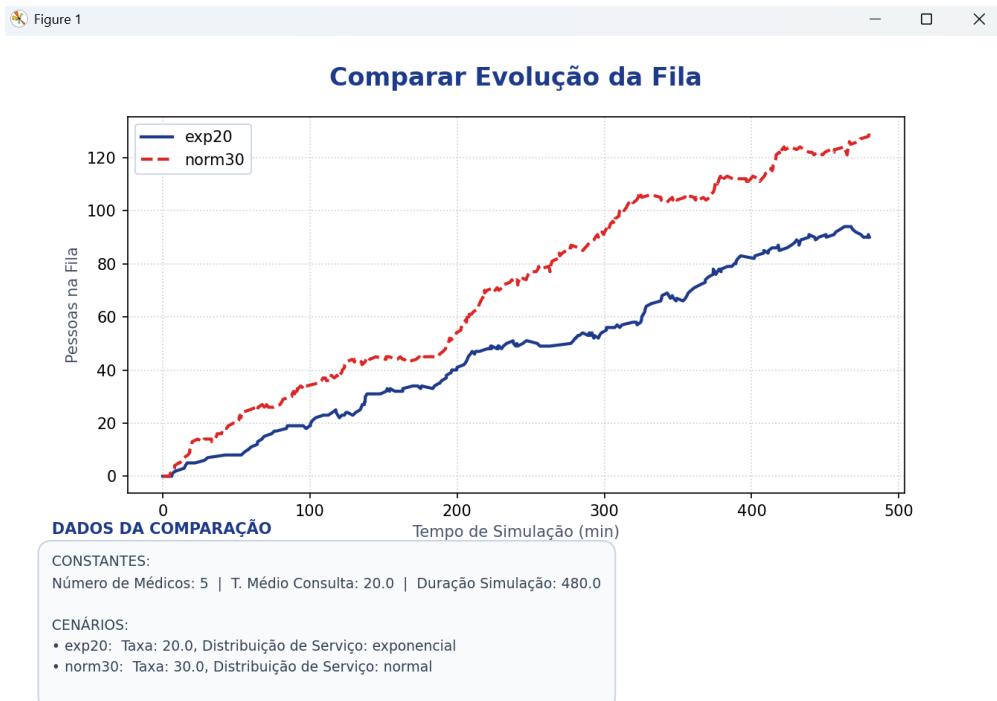


Figura 18: Gráfico Comparação da Evolução da Fila de Espera

3.4.7 Comparação Evolução da Ocupação dos Médicos

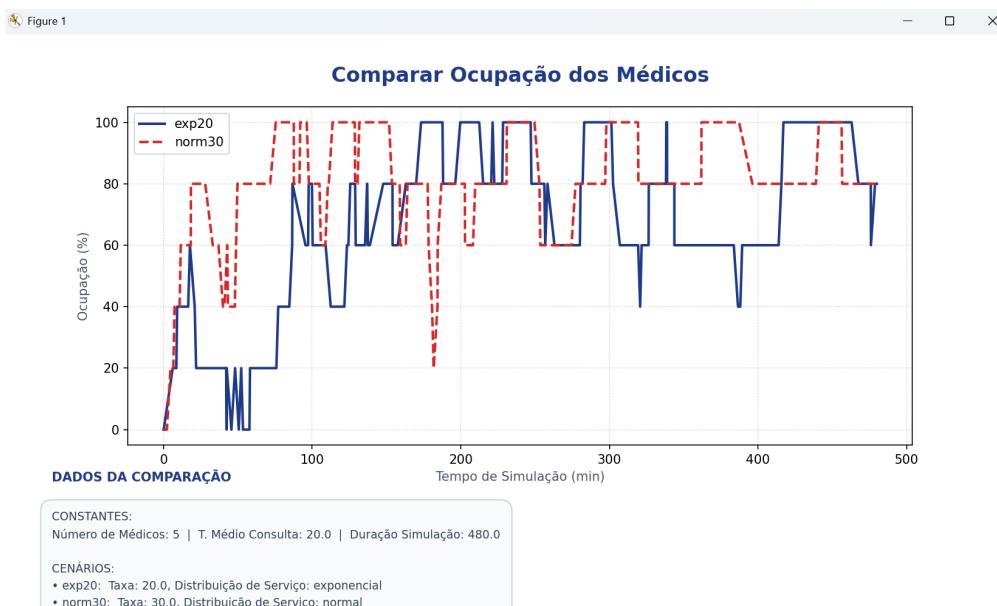


Figura 19: Gráfico Comparação Evolução da Ocupação dos Médicos

4 Extras

4.1 Métricas dos Médicos

Este indicador apresenta a percentagem média de tempo em que o profissional de saúde esteve efetivamente a realizar consultas face ao tempo total da simulação. É a métrica fundamental para avaliar o dimensionamento da clínica, permitindo identificar se a equipa está sob uma carga excessiva (próxima dos 100%) ou se existe uma subutilização dos recursos humanos disponíveis.

Além da visão global, o sistema permite desagregar os dados e analisar o desempenho de cada médico individualmente. Nesta vista, é possível consultar métricas específicas de produtividade e, de forma mais detalhada, aceder à lista cronológica de todos os pacientes que foram atendidos por esse profissional durante o período simulado.

Detalhes dos Médicos

Taxa Ocupação Média: **34.0%**

Pesquise ou selecione o Médico:
Dr. Maria Santos

Nome:	Dr. Maria Santos
Especialidade:	Dermatologista
Ocupação:	49.2%
Consultas Realizadas:	6
Tempo Médio/Consulta:	49.18 min

Pacientes Atendidos:

- Ana Werneck (ID-1)
- Tomás Yanes (ID-12)
- Kelly Almeida (ID-28)

Figura 20: Detalhes dos Médicos

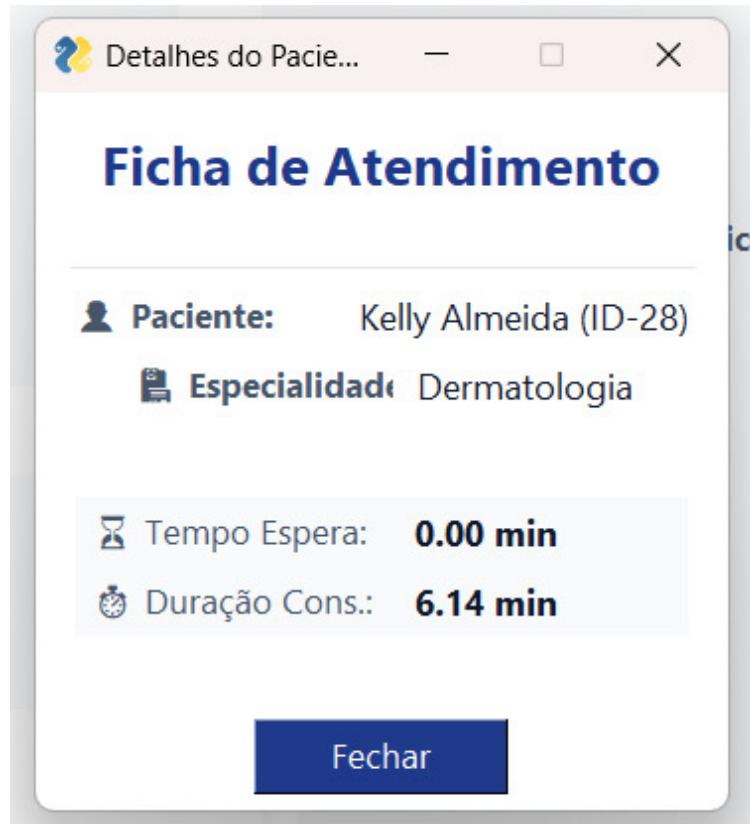


Figura 21: Ficha de Atendimento de um paciente

Ao selecionar um paciente específico na lista de atendimentos, o Dashboard exibe a sua ficha completa. Este nível de detalhe permite auditar o percurso do utente na clínica, apresentando informações como a hora de chegada, o tempo que permaneceu em fila de espera, a duração exata da sua consulta e o diagnóstico ou desfecho gerado pela simulação.

4.2 Importar especialidades médicas e vários tipos de doente

Como falado inicialmente neste relatório, elevou-se a complexidade desta simulação clínica ao sugerir o tratamento de dados de pessoas e de médicos reais, através de um ficheiro JSON previamente criado e tratado para funcionar neste ambiente e permitir um melhor tratamento das métricas pretendidas.



4.3 Gráficos Complementares

Também fomos mais além e pensamos em gráficos que poderiam complementar a análise dos dados e permitir retirar o máximo de conclusões possível, tudo isto de forma visualmente mais intuitiva. Assim, os gráficos que resolvemos adicionar foram os seguintes:

- Fila Por Especialidade
- Distribuição do tempo de Espera
- Procura por Especialidade

Com a análise destes gráficos consegue-se, por exemplo, em vez de saberem apenas que a clínica está cheia, conseguem apontar se o problema é a falta de pediatras ou o excesso de procura em clínica geral. Isso permite uma gestão direcionada de recursos. Noutra perspectiva, temos de admitir que na simulação, a média do tempo de espera pode ser enganadora. Por exemplo, se um paciente espera 5 min e outro 55 min e a média é 30 min. Um dos gráficos extra que realizamos mostra se a maioria dos pacientes está dentro de um limite aceitável ou se há casos extremos que prejudicam a reputação da clínica. Por fim, o último gráfico ajuda a decidir escalas de médicos. Se a procura por especialidade mostra que 70% dos pacientes procuram Oftalmologia, por exemplo, a gestão sabe que precisa de reforçar essa área especificamente.



5 Conclusão e Reflexão sobre os resultados

A realização deste projeto permitiu a transposição de conceitos teóricos de estatística para uma ferramenta prática de simulação de eventos discretos. Através da implementação em Python, foi possível observar como variáveis aleatórias governam a eficiência e a dinâmica de um sistema de saúde real.

O desenvolvimento deste simulador demonstrou que a eficiência de uma clínica não depende apenas do número de médicos disponíveis, mas sim da relação crítica entre a taxa de chegada (λ) e a variabilidade do tempo de consulta. Durante os testes realizados, ficou evidente que pequenos aumentos na taxa de chegada podem causar um crescimento exponencial nas filas de espera, um fenômeno típico em sistemas de saúde que operam perto do seu limite de capacidade.

A integração de datasets reais de doentes e médicos elevou, também, projeto de um simples exercício algorítmico para um protótipo de apoio à decisão. Esta personalização permitiu humanizar a simulação e prever cenários onde a identidade e as características dos agentes influenciam o fluxo de trabalho. Em jeito de reflexão, o projeto reforçou a importância da simulação computacional na Engenharia Biomédica. Antes de se aplicarem mudanças estruturais numa unidade hospitalar real, a capacidade de "testar" essas alterações num ambiente digital seguro permite otimizar recursos, reduzir tempos de espera e, talvez o mais importante, melhorar a qualidade do atendimento prestado ao doente.



6 Referências

- [1] **Markdown Guide** Cone, M. (s.d.). Markdown Cheat Sheet. Markdown Guide.
- [2] **Matplotlib** Matplotlib Development Team. (s.d.). Gallery. Matplotlib.
- [3] **W3Schools** W3Schools. (s.d.). W3Schools Online Web Tutorials.