



# ANÁLISE E MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM CENTRO DE CONGRESSOS USANDO SIMULAÇÃO

DIOGO CORREIA FALCAO

outubro de 2024

# **ANÁLISE E MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UM CENTRO DE CONGRESSOS USANDO SIMULAÇÃO**

**Diogo Correia Falcão**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica Área de Especialização em  
Gestão Industrial**

**Orientador: Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira**

**Júri:**

Presidente:

Professora Eduarda Pinto Ferreira, Professora Coordenadora, Departamento de Matemática,  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, Professor Coordenador  
Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Professor Doutor Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar, Departamento de  
Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro

Porto, Setembro de 2024



# Agradecimentos

Agradeço com gratidão à Alfândega do Porto por disponibilizar o seu estabelecimento para a realização desta dissertação, ao senhor Artur por me ter encaminhado ao espaço e ter-me colocado à vontade para tirar todas as minhas dúvidas.

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), expresso a minha gratidão pela orientação dedicada e valiosos insights fornecidos ao longo deste trabalho. Pelo seu apoio constante, orientação profissional e incentivo durante todo o processo de elaboração desta dissertação.

Agradeço também aos meus colegas de curso pela colaboração, troca de experiências e apoio mútuo ao longo deste percurso académico.

Aos meus pais, familiares e amigos, cujo apoio incondicional e encorajamento foram fundamentais para alcançar este objetivo académico, expresso a minha profunda gratidão.



# Resumo

Com a expansão contínua da escala da cidade e o rápido crescimento da população urbana, as atividades sociais e económicas das pessoas e as atividades de intercâmbio cultural são cada vez mais frequentes. No entanto, devido aos ajuntamentos em grande escala e a situações imprevisíveis, ocorrem frequentemente numerosas vítimas em acidentes fatais. O planeamento da evacuação potencial de um grande número de pessoas de uma zona devido a uma emergência ou ameaça é uma aplicação em que a modelação baseada em agentes tem sido utilizada em simulações para ajudar a compreender os potenciais problemas.

A presente dissertação tem como objetivo a análise de diferentes estratégias de evacuação num centro de congressos/eventos através de uma análise extensiva do espaço, recorrendo ao software Pathfinder a fim, de facilitar o processo, e identificar possíveis pontos de estrangulamento, analisar a evacuação em si, sugerindo melhorias e analisando os resultados. Foram assim analisadas 6 estratégias diferentes, para determinar o menor tempo de evacuação possível, identificando pontos de gargalo e locais de congestionamento dos ocupantes. O modelo foi utilizado para evacuar a ala poente do piso 2 da Alfândega do Porto com lotação máxima em todas as salas, fazendo várias combinações com as saídas disponíveis. Posteriormente, realizou-se o mesmo para a zona este /centro e oeste do piso em análise.

Os resultados obtidos nas simulações permitem concluir que a evacuação mais eficiente é a situação em que temos todas as saídas disponíveis, uma vez que permite um fluxo variado por todo o espaço, sendo que os ocupantes se espalham e não provocam congestionamento nas portas intermédias. Por vezes a indecisão das pessoas atrasa todo o processo; assim esta evacuação tem um tempo total de 678 segundos equivalente a 11 minutos aproximadamente. Conclui-se assim que a utilização de portas de emergência com portas duplas, permite um maior fluxo de pessoas por segundo, que certamente reduziria substancialmente o tempo total de evacuação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estratégias de Evacuação; Centro de Congressos; Tempo de evacuação; PathFinder; Simulações

# Abstract

With the continuous expansion of the city's scale and the rapid growth of the urban population, people's social and economic activities and cultural exchange activities are becoming more and more frequent. However, due to large-scale gatherings and unpredictable situations, there are often numerous victims in fatal accidents. Planning for the potential evacuation of large numbers of people from an area due to an emergency or threat is an application in which agent-based modeling has been used in simulations to help understand the potential problems.

This dissertation aims to analyze different evacuation strategies in a congress/event center through an extensive analysis of the space, using Pathfinder software to facilitate the process, identify possible bottlenecks, analyze the evacuation itself, suggest improvements and analyze the results. Six different strategies were analyzed to determine the shortest possible evacuation time, identifying bottlenecks and places where occupants were congested. The model was used to evacuate the west wing of floor 2 of Alfândega do Porto with maximum capacity in all the rooms, making various combinations with the available exits. Subsequently, the same was done for the east/center and west areas of the floor under analysis.

The results obtained in the simulations allow us to conclude that the most efficient evacuation is the situation in which we have all the exits available, since it allows a varied flow throughout the the entire space, with the occupants spreading out and not causing the intermediate doors. Sometimes people's indecision slows down the whole process, so this evacuation takes a total of 678 seconds, equivalent to approximately 11 minutes. It can therefore be concluded that the use of double emergency doors allows for a greater flow of people per second, which would certainly substantially reduce the total evacuation time.

**KEYWORDS:** Evacuation Strategies; Congress Center; Evacuation Time; PathFinder; Simulations



# Índice

Lista de Figuras .....	xi
Lista de Tabelas.....	xii
Acrónimos e Símbolos.....	xiii
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento do Trabalho .....	1
1.2. Objetivos do Trabalho .....	2
1.3. Metodologia de Investigação.....	2
1.4. Apresentação da empresa Alfândega do Porto .....	3
1.5. Conteúdo e Organização.....	4
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Segurança e Gestão de Riscos em Centros de Congressos .....	5
2.2. A importância dos planos de emergência na evacuação de um centro de Congressos..	7
2.3 Casos de Estudo da Aplicação da Simulação a Evacuação de centros de congressos e edifícios culturais .....	8
2.4 Evacuação de Centros de Congressos .....	14
3. Análises de Estratégias de Evacuação num centro de Congressos.....	19
3.1. Modelação do Edifício .....	19
3.1.1. Piso -1.....	20
3.1.2. Piso 0.....	20
3.2. Estudo da Simulação.....	24
3.3. Modelação .....	24
3.3.1. Validação do modelo .....	27
3.4. Estratégias de Evacuação.....	29
3.4.1. Estratégia 1 – Evacuação pela saída mais próxima com todos os espaços com lotação máxima .....	31
Podemos ver agora, o fluxo de ocupantes nas portas de saída; primeiramente nas portas de saída principal e posteriormente nas saídas de emergência. (ver figura 22 e 23) .....	32
3.4.2. Estratégia 2- Evacuação com lotação máxima em todos os espaços usando bloqueio das saídas de emergência.....	34
3.4.3. Estratégia 3 - Evacuação da sala do Infante, usando a saída mais próxima .....	39
3.4.4. Estratégia 4 - Evacuação da sala do Infante, usando bloqueio das saídas.....	40
3.4.5. Estratégia 5 - Evacuação da sala do Infante e auditórios situados em frente, usando a saída mais próxima .....	42
3.4.6. Estratégia 6 - Evacuação da sala do Infante e auditórios situados em frente apenas, usando o bloqueio das saídas .....	42

3.4.7. Estratégia 7 - Evacuação da sala Miragaia, São João, Arrábida e Porto, usando a saída mais próxima .....	43
3.4.8. Estratégia 8 - Evacuação da sala Miragaia, São João, Arrábida e Porto, usando o bloqueio das saídas .....	44
4. Discussão de resultados .....	45
5. Conclusões e trabalho futuro .....	47
5.1. Principais contributos do trabalho .....	47
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	48
6. Referências .....	49
Declaração de Integridade .....	55

# Lista de Figuras

Figura 1 - Alfândega do Porto (Invicta de Azul e Branco 2023) .....	3
Figura 2 - Vista aérea da Alfândega do Porto (Google Maps, 2024) .....	19
Figura 3- Piso -1 .....	20
Figura 4 - Salão Nobre .....	20
Figura 5 - Sala dos Despachantes.....	21
Figura 6 - Sala das Miniaturas.....	21
Figura 7 - Sala do Piquete .....	22
Figura 8 - Piso 1.....	22
Figura 9 - Ala Poente do Piso 2 .....	23
Figura 10 - Lotação de cada sala .....	23
Figura 11 - Planta do piso 2 importada .....	24
Figura 12 – Importar uma planta .....	25
Figura 13 – Divisão criada no software .....	25
Figura 14 - Modelo finalizado .....	26
Figura 15 - Porta intermédia .....	26
Figura 16 - Porta de saída.....	26
Figura 17 - Largura, comprimento e espessura da porta .....	26
Figura 18 - Obstáculos espalhados por diversas salas .....	27
Figura 19 - Velocidade do ocupante (distribuição normal) .....	29
Figura 20 - Fluxo de ocupantes nas portas mencionadas .....	31
Figura 21 - Estrangulamento de ocupantes na evacuação.....	31
Figura 22 - Fluxo de ocupantes nas saídas de emergência .....	32
Figura 23 - Fluxo de ocupantes na saída principal.....	32
Figura 24 - Estrangulamento na evacuação .....	33
Figura 25 - Número de ocupantes evacuados e não evacuados ao longo do tempo .....	33
Figura 26 - Fase intermédia da evacuação .....	34
Figura 27 - Número de ocupantes ao longo do tempo .....	35
Figura 28 - Congestionamento de ocupantes perto das saídas de emergência.....	36
Figura 29 - Obstrução de porta intermédia na evacuação.....	36
Figura 30 - Aglomeração de ocupantes.....	37
Figura 31 - Aglomeração de ocupantes 2.....	37
Figura 32 - Fluxo de pessoas nas portas intermédias .....	38
Figura 33 - Fluxo de ocupantes na evacuação .....	39
Figura 34 - Portas intermédias .....	41
Figura 35 - Distribuição dos ocupantes na zona oeste do piso .....	43

# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos .....	8
Tabela 2 - Tempos de pré-movimentação .....	16
Tabela 3 - Tempos de evacuação reais e simulados e erro percentual .....	28
Tabela 4 - Tempo de evacuação com todas as saídas disponíveis .....	31
Tabela 5 - Tempos de evacuação com saídas de emergência bloqueadas .....	34
Tabela 6 - Tempos de evacuação com duas saídas disponíveis .....	35
Tabela 7 - Tempos de evacuação com duas saídas disponíveis 2.....	36
Tabela 8 - Tempo de evacuação com saída principal bloqueada .....	38
Tabela 9 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante1.....	39
Tabela 10 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 2 .....	40
Tabela 11 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 3 .....	40
Tabela 12 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 4 .....	40
Tabela 13 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 5 .....	41
Tabela 14 - Tempo de evacuação para a zona este 1 .....	42
Tabela 15 - Tempo de evacuação para a zona este 2 .....	42
Tabela 16 - Tempo de evacuação para a zona este 3 .....	42
Tabela 17 - Tempo de evacuação para a zona este 4 .....	42
Tabela 18 - Tempo de evacuação para a zona este 5 .....	43
Tabela 19 - Tempo de evacuação para a zona oeste 1 .....	43
Tabela 20 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 2 .....	44
Tabela 21 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 3 .....	44
Tabela 22 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 4 .....	44
Tabela 23 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 5 .....	44
Tabela 24 - Tabela resumo .....	45

# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
ISO	Organização Internacional de Normalização



# 1. Introdução

No presente capítulo, realiza-se o enquadramento de todo o trabalho, a importância do mesmo nos dias de hoje, referenciando os principais objetivos do mesmo, a metodologia utilizada, e feita uma breve apresentação da empresa escolhida para o estudo, e por fim, aborda-se toda a estrutura e organização da dissertação.

## 1.1. Enquadramento do Trabalho

Nos dias de hoje, com o aumento considerável de eventos por todo o mundo em espaços fechados, o aumento populacional e o aumento de popularidade deste tipo de espetáculo, e cada vez mais importante e, de certa forma obrigatório rever a segurança dos seus ocupantes.

Assim, o rápido crescimento económico mundial conduz a uma urbanização acelerada; o número de edifícios altos e de grandes locais públicos aumentou consideravelmente, incluindo instalações como estações ferroviárias, estações de metro, aeroportos, estádios, salas de eventos e outros. Estes locais reúnem muitas vezes um grande número de pessoas e, em caso de emergência, como um incêndio, um terramoto ou um ataque terrorista, é provável que haja um número significativo de vítimas e perdas de bens.

Assim, a questão da segurança tornou-se um problema proeminente no desenvolvimento de uma sociedade sustentável.

Neste sentido, a garantia importante para assegurar a segurança das pessoas é uma evacuação segura (Chen, et al. 2020).

É óbvio que a evacuação e a sua eficácia dependem de muitos fatores. Para que a evacuação seja o mais bem-sucedida possível, é importante prever de alguma forma esses fatores. Uma das formas mais eficazes de evacuação é a utilização de software de simulação adequado. A utilização deste software na evacuação tem grandes vantagens que se refletem na segurança, economia e precisão (Jevtić & PaKSoM 2021).

Este trabalho enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Projeto/Dissertação/Estágio do Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – especialidade Gestão Industrial, e permite desenvolver e melhorar a estratégia de evacuação da Alfandega do Porto, através da simulação.

## 1.2. Objetivos do Trabalho

Os principais objetivos da dissertação passam por analisar e melhorar o processo de evacuação de emergência de uma sala de eventos, mais concretamente a Alfandega do Porto. Procura-se reduzir o tempo de evacuação do edifício, analisar as estratégias já utilizadas, e otimizar todo este processo, de forma a garantir a segurança dos ocupantes em caso de desastre, quer natural quer provocado pelo Homem.

Assim os objetivos passam por:

- Desenvolvimento de um modelo de simulação utilizando o software Pathfinder;
- Análise da estratégia de evacuação utilizada atualmente
- Análise de diferentes estratégias possíveis
- Comparação e escolha da mais adequada
- Discussão dos resultados obtidos

## 1.3. Metodologia de Investigação

Para este trabalho, foi utilizado a metodologia do Caso de Estudo, uma vez que estamos perante um caso de investigação. O estudo de caso é uma metodologia de investigação, tipicamente utilizada nas ciências sociais e da vida, e pode ser definido como um estudo intensivo sobre uma pessoa, um grupo de pessoas ou uma unidade, cujo objetivo é generalizar para várias unidades".

Um estudo de caso também tem sido descrito como uma investigação intencional e sistemática de um único indivíduo, grupo, comunidade ou outra unidade em que o investigador examina dados aprofundados relativos a diversas variáveis.

Este método de investigação permite ao investigador pegar num tema complexo e vasto, ou fenómeno, e reduzi-lo a uma ou mais questões de investigação manejáveis. Ao recolher conjuntos de dados qualitativos ou quantitativos sobre o fenómeno, o investigador obtém uma visão mais aprofundada do fenómeno do que a que obteria utilizando apenas um tipo de dados (Heale & Twycross, A. 2018).

O desenvolvimento do mesmo pode ser dividido em 3 fases:

- Investigação
- Recolha de dados

- Análise, interpretação e divulgação de resultados

#### 1.4. Apresentação da empresa Alfândega do Porto

A alfândega do Porto situa-se na margem do Rio Douro, na freguesia de Miragaia no Porto, e foi mandado construir a 25 de setembro de 1859. É utilizado para diversas atividades e eventos, sendo atualmente um centro de congressos. Este conjunto de modificações é por muitos considerada como uma das mais profundas alterações urbanísticas e paisagísticas da cidade do Porto no século XIX.

A construção envolveu a criação da vasta estrutura do cais que suporta a Alfândega, substituindo a antiga praia de Miragaia. Além disso, para facilitar o transporte de mercadorias, foi estabelecida uma ligação ferroviária em 1888 entre a Alfândega e a Estação de Campanhã, chamada de Ramal da Alfândega. Adicionalmente, a Rua Nova da Alfândega foi inaugurada como parte desse desenvolvimento. Na figura 1 vemos a alfândega do Porto.



Figura 1 - Alfândega do Porto (Invicta de Azul e Branco 2023)

## 1.5. Conteúdo e Organização

A dissertação esta dividida em 4 capítulos principais.

Primeiramente, e feita uma introdução ao trabalho, onde e realizado um enquadramento do projeto, de forma a clarificar a importância do tema e em que medida se enquadra nas necessidades da sociedade atual. Posteriormente são apresentados os objetivos do trabalho e o método de investigação utilizado, bem como as suas vantagens. E feita também uma apresentação da empresa escolhida para a dissertação.

No capítulo 2, e feita uma revisão teórica da literatura sobre o tema em questão, apontando assim as principais vantagens da utilização da simulação como ferramenta de apoio a decisão, a fundamentação teórica sobre a evacuação de centros de congressos, legislação respetiva, e a importância dos planos de emergência na evacuação destes centros.

No capítulo 3, e feito todo o processo de simulação, as configurações da Alfandega, a construção do modelo de simulação, bem como os diversos cenários e estratégias utilizadas no Pathfinder para otimização do plano de evacuação do espaço.

Já no último capítulo, são apresentados os resultados obtidos, principais dificuldades e respetivas conclusões.

A dissertação termina com a discussão dos resultados e bibliografia utilizada para a realização da mesma.

## 2. Revisão Bibliográfica

No capítulo em questão, e feita uma revisão bibliográfica das estratégias de simulação na evacuação de centros de congressos, a importância dos planos de emergência, bem como são aprofundados alguns casos de estudo da aplicação da simulação neste tipo de edifícios, referindo tempos, principais fatores, entre outros. Por fim, apresenta-se a legislação exercida neste tipo de edifícios.

### 2.1. Segurança e Gestão de Riscos em Centros de Congressos

A segurança e gestão de risco tem assumido nos últimos anos um papel preponderante na organização de eventos (Saunders, A., & Allen, L. 2002). Começando por definir o conceito “Risco”, e uma combinação da probabilidade de uma ocorrência de um evento perigoso, exposição de uma lesão ou doença que pode ser causada ou exposta (BSI, 2007). Ainda de acordo com diversas literaturas o risco é tido como a combinação da probabilidade ou frequência da ocorrência de um dano e a sua gravidade.

Embora as pessoas que trabalham nas diferentes de gestão do risco tenham sempre o mesmo objetivo: fornecer uma base sólida para decisões sobre se os riscos são aceitáveis e, se necessário, obter informações fiáveis sobre a forma como podem ser tratados, existem muitas definições diferentes de risco, dos elementos do processo de gestão do risco e muitas versões diferentes do processo a seguir. Todas elas se desenvolveram por boas razões históricas, mas os indivíduos e as organizações, com ou sem fins lucrativos, reguladas ou reguladoras, precisam de tomar decisões confiantes e equilibradas sobre todos os riscos com que têm de lidar, numa base consistente e fiável.

As pessoas responsáveis pelas decisões sentem-se desconfortáveis com a resolução de partes de informação aparentemente semelhantes, mas fundamentalmente diferentes, obtidas a partir de processos diferentes e com diferentes pressupostos, que são descritos utilizando as mesmas palavras, mas que têm significados diferentes.

Por estas razões, a ISO, a organização internacional encarregada da normalização propôs-se a alcançar consistência e fiabilidade na gestão do risco, criando uma norma aplicável a todas as formas de risco. Esta norma contém:

1. Um vocabulário;

2. Um conjunto de critérios de desempenho;
3. Um processo comum e abrangente para identificar, analisar, avaliar e tratar riscos
4. Orientações sobre a forma como esse processo deve ser integrado nos processos de tomada de decisão de qualquer organização.

Quando falamos em centros de congressos, e edifícios de larga amplitude, a má gestão dos riscos em grandes edifícios espaciais, como estádios desportivos, salas de concertos e edifícios religiosos, resultou em catástrofes de multidões em vários locais em todo o mundo. Fruin sugeriu que a Força, a Informação, o Espaço e o Tempo (FIST) são os principais fatores que influenciam a ocorrência de desastres de multidões (Alkhadim et al. 2018).

Assim, estudos anteriores concluíram que a segurança é o inverso do risco - quanto menor for o risco, maior é a segurança (Moller et al., 2006).

O Instituto Britânico de Gestão de Instalações (BIFM, 2014) classificou a Gestão de Riscos (GR) como um dos 24 componentes-chave da Gestão de Instalações (FM). A FM abrange todos os aspetos do planeamento, gestão do espaço, conceção, controlo ambiental, saúde e segurança e serviços de apoio (Alexander, 1996). Contribui significativamente para a realização de objetivos estratégicos e operacionais numa base diária (Nazali, et al. 2009).

Quando os eventos são realizados em edifícios de grandes dimensões (Ali, et al., 2011) salientaram que os gestores de instalações devem estar envolvidos antes, durante e depois do evento para reduzir os riscos e aumentar a segurança. (Chotipanich 2004) mencionou que as organizações que possuem grandes espaços para uso público frequentemente adotam a estratégia de reduzir os riscos como um dos principais dos objetivos de segurança e prioridade para lhes permitir obter uma vantagem sobre os seus concorrentes.

## **2.2. A importância dos planos de emergência na evacuação de um centro de Congressos**

A evacuação envolve a deslocação em massa de uma população, na sequência de um perigo iminente, de uma região geográfica afetada para destinos mais seguros (Wu, et al. 2019).

Assim o planeamento de emergências e catástrofes envolve um processo coordenado e de cooperação de preparação para fazer corresponder as necessidades urgentes aos recursos disponíveis. As fases deste planeamento são a investigação, a redação, a divulgação, o teste e a atualização.

Por conseguinte, um plano de emergência tem de ser um documento vivo que seja periodicamente adaptado à evolução das circunstâncias e que forneça um guia para os protocolos, procedimentos e divisão de responsabilidades na resposta a emergências, respondendo a questões essenciais como (Jafari, et al. 2003):

- Quanto tempo seria necessário para a evacuação?
- Quais são as rotas ideais que devem ser utilizadas para a evacuação?
- Como deve ser gerido o fluxo de tráfego com uma infraestrutura limitada?

O planeamento de emergência é assim um processo exploratório que fornece procedimentos genéricos para a gestão de imprevistos e deve utilizar cenários cuidadosamente construídos para antecipar as necessidades que serão geradas por perigos previsíveis quando estes ocorrerem.

São necessários planos, não só para responder aos impactos da possível catástrofe, mas também para manter a continuidade da atividade enquanto se gere a crise e para orientar eficazmente a recuperação e a reconstrução (Alexander, et al 2015).

## 2.3 Casos de Estudo da Aplicação da Simulação a Evacuação de centros de congressos e edifícios culturais

Na Tabela 1 encontram-se diversos casos de estudo relativos a evacuação de centros de congressos usando a simulação como ferramenta de apoio à decisão.

*Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos*

Referências	Descrição
Coffas et al. (2022)	Este estudo investiga a modelagem baseada em agentes para evacuação de grandes eventos, realizado na Arena Romana em Bucareste, Romênia, utilizando o BehaviourSpace do NetLogo. As simulações revelaram que, com um maior número de participantes, a Saída D é a última a ser utilizada, recomendando-se aumentar sua largura para reduzir o tempo de evacuação. A Saída B é crucial, devendo ser mantida desobstruída e funcional em emergências.
Caliendo et al. (2020).	O artigo apresenta os resultados da simulação de incêndio e dos processos de evacuação dos visitantes de um edifício histórico de vários andares com uma saída, utilizado predominantemente como museu. A análise foi realizada no Fruscione Palace, na Itália, utilizando softwares como modelos CFD e STEPS. Os resultados mostraram que, em todos os cenários de incêndio, as temperaturas perigosas ocorreram apenas na sala onde o incêndio começou. A presença de detectores de incêndio ativos que desencadeiam a evacuação rapidamente assegura que quase todos os ocupantes saiam do edifício antes da ocorrência de riscos, exceto aqueles que hesitam ou demoram a reagir.
Spearpoint et al. (2011)	O estudo compara evacuações experimentais de auditórios universitários com simulações de um modelo de evacuação em rede de Monte Carlo. Usando o sistema EvacuationNZ em Melbourne, Austrália, os resultados mostraram previsões razoáveis, especialmente quando se consideram as saídas e larguras dos corredores. No entanto, a inclusão de redução da velocidade devido às filas de assentos resultou em previsões excessivas. O modelo não lida bem com detalhes posicionais, mas fornece estimativas aceitáveis para grandes espaços tipo auditório. A simplicidade do EvacuationNZ permite obter tempos de evacuação e fluxos de saída razoáveis para esses ambientes.
Macatulad et al. (2014)	O artigo um Sistema de geo simulação multiagente baseado no 3D GIS para simular a evacuação de edifícios. Os agentes criados pelo sistema interagem uns com os outros na evacuação do edifício em caso de emergência. O artigo baseou se na análise ao edifício Melchior Hall localizado na Universidade das

	Filipinas. O objetivo do estudo passa por demonstrar a importância da visualização 3D na análise de evacuações, uma vez que permite aos pesquisadores e profissionais avaliar o desempenho das evacuações.
Mirahadi et al. (2020)	Neste artigo, os autores apresentam uma abordagem chamada “EvacuSafe” para auxiliar na seleção de estratégias de evacuação de edifícios. Baseia-se na avaliação de estratégias com base num índice de risco de rota. O objetivo principal da “EvacuSafe” é fornecer uma ferramenta que permita aos responsáveis tomarem decisões acertadas sobre a estratégia de evacuação. Foi usado um edifício com 66 pisos, cada um com cerca de 17 quartos, havendo um total de 1073 quartos. Assumiu-se um mínimo de 2146 agentes para realizar a simulação. Os resultados da implementação mostraram que a estratégia de evacuação mais eficaz e mais segura varia consoante o nível do piso e o ponto de início do incêndio na planta do piso. O teste de 20 novos locais não apresentados ao sistema de apoio à decisão resultou numa decisão válida em 85% dos casos.
Chen et al. (2012)	Este artigo discute a análise e otimização dos procedimentos de evacuação de emergência no Museu do Louvre em Paris. A pesquisa concentra-se em aprimorar a segurança e eficiência na evacuação de visitantes e funcionários em caso de emergências. O estudo envolve o uso de simulações por computador e técnicas de modelagem para analisar os vários aspetos da evacuação. Os modelos usados são o TEM (tourist evacuation management model), o segundo RDE (route damage evacuation model) e o terceiro MTTE (multi-type tourist evacuation model). O modelo usado tem alguns pontos fortes e outras fracas, mostrando se modelos adaptáveis a diferentes condições.
Wu et al. (2011)	Este artigo aborda a análise de incertezas e riscos relacionados à evacuação de coleções no Museu Nacional do Palácio. O foco da pesquisa é avaliar e mitigar as incertezas e os riscos envolvidos na evacuação de valiosas coleções de arte e artefactos em caso de desastres naturais ou emergências. Os autores utilizam técnicas de modelagem e simulação para analisar diversos fatores que afetam a evacuação das coleções, incluindo a incerteza relacionada à disponibilidade de recursos, a logística de transporte, a segurança das peças e o tempo disponível para a evacuação. O estudo usa o software Monte-Carlo Simulation Method. A investigação adota 600 segundos como condição limite. Com a adoção de 3 grupos de efetivos para apoiar a missão de evacuação, cerca de 58,5% das coleções podem ser evacuadas em segurança. Cerca de 41,5% das coleções não podem ser evacuadas no prazo de 600 segundos, o que causaria danos.

*Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos (continuação)*

Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos (continuação)

Wagner et al (2014)	<p>Neste artigo, é apresentado um sistema de simulação baseado em agentes para modelar a evacuação de multidões em locais de concertos durante um desastre de incêndio. O protótipo foi concebido para simular uma sala de concertos, como um estádio ou um auditório, e é altamente configurável, permitindo a definição pelo utilizador de salas de concertos com qualquer disposição de lugares, caminhos, palcos, saídas e pessoas, bem como a definição de vários incêndios com a dinâmica do fogo e do fumo incluída. O software utilizado foi o ABS system. Os benefícios potenciais da tradução deste protótipo num sistema comercial viável são significativos, uma vez que esse sistema permite que os gestores executem testes de cenários múltiplos e fornece apoio à decisão com base em dados.</p>
Chu et al (2019)	<p>Este estudo aborda a simulação de evacuações de emergência e otimização da gestão durante situações de crise em comunidades urbanas residenciais. Para este estudo, como caso exemplo foi utilizada uma comunidade residencial em Shanghai, China, uma zona muito antiga, com edifícios geralmente de baixa altura. De forma a fazer a simulação e a respetiva otimização, O software utilizado para este estudo foi o Pathfinder. A vantagem deste estudo reside principalmente em três aspetos: (1) O método pode identificar escadas de fácil acesso na evacuação interior e estradas de fácil acesso na evacuação exterior após simulações exaustivas 2) Os comportamentos de evacuação da família dos residentes, que são bastante diferentes dos comportamentos de evacuação em locais públicos (como edifícios de escritórios, metropolitanos ou parques), podem ser simulados neste método. (3) As medidas detalhadas de otimização da gestão podem ser descritas espacialmente em mapas com base na análise multinível e na comparação de dados.</p>
Zhang et al. (2012)	<p>Este artigo trata da modelagem e análise de interiores de edifícios complexos em três dimensões (3D) com o objetivo de aprimorar simulações de evacuação eficazes. O estudo concentra-se na criação de modelos tridimensionais detalhados do interior de edifícios complexos. Como base para a realização do estudo, foi utilizado Southwest Building of Beijing Normal University, localizado na China. Os principais resultados passam. A abordagem seguida neste artigo reduz ao máximo o tempo que os evacuados necessitam para evacuar de estruturas com vários níveis. Pode também descobrir estrangulamentos e as áreas com maior probabilidade de se tornarem intransitáveis. Além disso, fornece ao projetista, informações gráficas sobre onde podem surgir estrangulamentos; além disso, este método facilita o estudo da forma como algumas alterações no edifício podem modificar uma evacuação global.</p>

Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos (continuação)

Lino et al (2009)	<p>O artigo em questão aborda a modelagem e simulação da dinâmica de evacuação de multidões em ambientes que podem ser representados como eventos discretos. Concentra-se criação de modelos que representam como as multidões se movem durante evacuações em ambientes específicos, onde os eventos ocorrem em pontos discretos no tempo e no espaço. O estudo teve como base a área de salas de eventos na Universidade Técnica de Bari, consistindo em 5 salas de aula, e uma sala de eventos grande, conectadas a um corredor. Este artigo introduziu uma representação em rede de filas de espera dos procedimentos de saída de um edifício. O método sistemático é modular e pode ser alargado a edifícios mais complexos. Os testes de simulação validaram o modelo em relação aos processos de evacuação observados em condições normais.</p>
Bina et al (2021)	<p>Este artigo descreve uma simulação BIM-ABM (Building Information Modeling - Agent-Based Modeling) para evacuação de emergência de uma sala de conferências, levando em consideração a segregação por gênero e o design arquitetônico. O estudo tem como objetivo simular como diferentes grupos de pessoas, separados por gênero, evacuam de forma eficaz uma sala de conferências, levando em conta as características do edifício e o comportamento humano. A sala de conferencias escolhida esta localizada no edifício principal da National Iranian Gas Company (NIGC), Mashhad, Iran. Foram analisados 5 cenários, considerando portas diferentes, tamanho das mesmas e respetiva eficiência. Concluiu-se que os cenários 3 e 5 foram os mais eficientes, sendo o 1 e o 4 os piores cenários.</p>
Delcea et al (2020)	<p>Este artigo investiga o impacto da simetria das saídas no processo de evacuação de salas de aula e auditórios, utilizando uma abordagem de modelagem baseada em agentes. A pesquisa examina como a disposição simétrica das saídas afeta o comportamento e o tempo de evacuação dos ocupantes durante emergências. O estudo emprega técnicas de simulação e modelagem baseada em agentes para analisar o cenário e fornecer insights sobre como a simetria das saídas pode desempenhar um papel crucial na eficiência da evacuação em espaços educacionais. Foi utilizado a tecnologia ABM usando o software Net Logo. Para as simulações foram usadas modelos de salas com diversas configurações.</p>
Lee et al (2022)	<p>Este artigo aborda a simulação da resposta de evacuação de emergência em um espaço de auditório. O objetivo principal é analisar como as pessoas reagem e evacuam durante emergências em um ambiente específico, como um auditório. Neste estudo foi usado um modelo conceptual de um auditório, sendo que o modelo vai simular o movimento das pessoas desde o momento que se começam a mover até a última pessoa a sair do auditório. O software utilizado foi o Arena Simulation Software, desenvolvido para este propósito. Com base nos resultados deste modelo de simulação, ter um espaço de auditório com uma capacidade elevada aumenta o risco envolvido num evento de evacuação. Os tempos de saída do modelo continuaram a aumentar à medida que as pessoas eram adicionadas, porque cada pessoa é uma barreira adicional para os outros e obstrui o caminho de saída.</p>

*Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos (continuação)*

Mattsson et al (2022)	<p>Este artigo explora o impacto da disposição das salas de aula na evacuação usando simulações de multidões. O estudo investiga como o layout das salas de aula afeta o processo de evacuação durante emergências. O artigo usa o Unity 3D para avaliar inúmeras evacuações de multidões. O cenário escolhido para a simulação foi a sala de eventos F2 do Royal Institute of Technology localizada em Estocolmo, na Suécia. Os resultados mostram:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Três saídas são melhores do que duas, pois a taxa de evacuação melhora, mas o mesmo já não acontece quando se introduzem quatro saídas.</li><li>2. A diminuição do tamanho das saídas conduziu a evacuações mais lentas em geral.</li><li>3. À medida que a largura da fila aumentava, as passagens diminuam, permitindo a passagem de menos agentes e, conseqüentemente, diminuindo a taxa de evacuação.</li></ol>
--------------------------	---

Hu et al (2022)	Este artigo concentra-se na simulação de evacuação num incêndio em um local cultural e analisa o impacto das instalações de evacuação de emergência para pessoas com deficiência no tempo de evacuação. O estudo investiga como a presença de instalações específicas para pessoas com deficiência influencia o tempo necessário para evacuar o local em uma situação de incêndio. O estudo usa o Chiayi City Hall, localizado no Taiwan. Foi usado o software Pathfinder de simulação. Existem três cenários de evacuação e o número de pessoas acomodadas é fixado em 730, em conformidade com a legislação aplicável. Ao simular os 3 cenários verifica-se que a velocidade lenta das pessoas com deficiência provoca o congestionamento ou a estagnação inicial da multidão e que esse problema afeta diretamente o nível psicológico dos evacuados, provocando o pânico do grupo e um número ainda maior de vítimas.
Marzouk et al (2022)	Este artigo aborda a modelagem da evacuação e proximidade de visita em museus por meio de simulações baseadas em agentes (ABS). O estudo visa analisar como as pessoas se movem e evacuam em museus, considerando a localização das saídas e a proximidade de objetos ou exposições que desejam visitar. O estudo foi realizado baseando-se no Tutankhamun's Gallery Hall of Grand Egyptian Museum. Podemos perceber que o modelo é capaz de realizar análises de proximidade em cenários de visita, nas quais é possível determinar o efeito da manutenção de uma certa distância relativa entre os ocupantes sobre a capacidade e a experiência de visita. Quanto ao cenário de evacuação, o modelo fornece um meio para avaliar o desempenho da evacuação utilizando vários critérios, além de considerar os aspectos psicológicos dos seres humanos em casos de incidentes de incêndio.
Xiang, et al (2007)	Este artigo trata da previsão do tempo de evacuação em salas de aula ou auditórios. O objetivo é desenvolver um modelo que permita estimar o tempo necessário para evacuar completamente uma sala de aula ou espaço semelhante em emergências. Foram realizadas uma serie de experimentos em três blocos de edifícios na Universidade de Canterbury. Foi usada a EvacuationNZ, para simular e os resultados foram obtidos com os dados experimentais obtidos anteriormente. Os resultados mostraram que a equação desenvolvida apresentava um melhor desempenho na previsão do tempo de evacuação de salas de aula do que outros métodos disponíveis, mas tinha algumas limitações.
Matevski et al (2008)	Este artigo aborda a evacuação de salas de assembleia que contêm cadeiras soltas e cadeiras ligadas entre si. O estudo investiga como a presença de cadeiras, especialmente aquelas que podem estar conectadas, afeta o processo de evacuação durante emergências em espaços de reunião. O estudo foi realizado numa sala de eventos na Lund University na Suécia, através de situações experimentais, com vários cenários possíveis para os intervenientes e posteriormente os resultados foram comparados para avaliar a eficácia de cada um.

*Tabela 1 - Casos de estudo sobre evacuação de centros de congressos (continuação)*

## 2.4 Evacuação de Centros de Congressos

O impacto das catástrofes, que também é responsável pelo risco de evacuação, varia consoante o tipo, a intensidade, a dinâmica e o ambiente. As catástrofes podem ser classificadas em termos gerais como naturais ou provocadas pelo homem, e o seu mecanismo de desencadeamento e impacto nas áreas circundantes podem ser muito diferentes (Ebert, 2000).

Assim, a evacuação de emergência é o processo de remoção de pessoas de uma área de ameaça iminente ou real à segurança individual e à vida para uma área segura.

Trata-se de uma estratégia de proteção há muito reconhecida, quer antes quer depois de um acontecimento catastrófico, que evoluiu muito nas últimas décadas e se tornou uma componente essencial da preparação social e infraestrutural (Wang, et al,2021).

Um fator importante, ambíguo e imprevisível na evacuação é a natureza do comportamento humano. Durante o processo de evacuação, as ações das vítimas e dos socorristas estão ligadas entre si e estão sujeitas a alterações. (Chen, et al, 2012).

A perceção de risco dos indivíduos é focada através das suas próprias "lentes sociais e contextos culturais" (Dash & Gladwin, 2007).

Estudos anteriores forneceram sugestões valiosas para analisar os padrões dos comportamentos de encaminhamento dos evacuados. Por exemplo, (Løvas 1998) estudou os diferentes comportamentos das pessoas na procura de caminhos em edifícios durante emergências e conseguiu modelar diferentes padrões de escolha de percursos com base na familiaridade das pessoas com o meio envolvente.

A evacuação de emergência de um local durante um evento é de grande importância devido ao grande número de pessoas que participam, em geral, no evento (S.A. ParrandE.Kaisar J. Transp. Saf. Secur., Mar. 2011).

Quando falamos em centros de congressos/eventos, e necessário ter em conta um grande número de pessoas.

A emergência de um determinado comportamento tem sido observada em situações de evacuação com populações aglomeradas, em que as pessoas tendem a colidir umas com as outras no seu caminho para as saídas, com o objetivo de escapar mais rapidamente do local de onde estão a evacuar para se protegerem (N. R. Johnson, Oct. 1987).

## 2.5 Tempos de Evacuação

O tempo total de evacuação é o tempo desde o começo da evacuação até à saída da última pessoa do edifício (Li, Y., & Yu, J. 2021) sendo constituído pelo tempo de resposta (o tempo

necessário para que os afetados se desloquem fisicamente para um local seguro, também conhecido como tempo de evacuação), o tempo de decisão (tempo entre a detecção da incidência e a decisão oficial de ordenar uma evacuação), o tempo de notificação (aviso de evacuação) e o tempo de preparação.

O tempo de evacuação ou tempo total de evacuação inclui o tempo de pré-movimento e o tempo de movimento. O tempo de pré-movimento inclui vários eventos, alguns dos quais são mais prováveis de ocorrer num determinado tipo de edifício (RakMK 2002).

Em qualquer plano de evacuação, os tempos de evacuação devem ser determinados, ou aproximados, para permitir que os planeadores desenvolvam estratégias que permitam a evacuação segura dos respetivos ocupantes.

Assim, quando falamos de tempo de evacuação em espaços fechados, mais concretamente em centros de congressos e espaços fechados equivalentes, é necessário ter conhecimento de aspetos essenciais como (Xiang, X. P. 2007):

- Atraso na tomada de decisões
- Velocidade de marcha em vários tipos de superfícies, como escadas
- Características dos ocupantes, incluindo idade, sexo, grau de formação, familiaridade
- Efeitos das obstruções ao longo dos percursos de deslocação
- Escolha das saídas de emergência

É importante frisar também que centros de congressos e salas de eventos são espaços com características específicas, tais como (Spearpoint, et al 2011):

- Filas de bancos que podem ser fixas ou articuladas;
- Um ou mais corredores que podem ser fixos ou de largura variável;
- Pisos inclinados, em degraus ou planos (e combinações dos dois ou dos três);
- Saídas únicas ou múltiplas que podem ter dimensões e localizações diferentes;
- Cargas de ocupantes variáveis e uma gama de características dos ocupantes.

Assim, a tabela 2 mostra uma estimativa dos tempos de pré movimentação em situações de incêndio, baseando se no tipo de alarme (W) e do tipo de ocupação do edifício (CPFA,2009).

Tabela 2 - Tempos de pré-movimentação (s)

Tipo de ocupação	W1	W2	W3
Escritórios, edifícios comerciais e industriais, escolas e universidades	< 60 s	180 s	> 240 s
Hospitais, centros de cuidados médicos e outros estabelecimentos institucionais	< 180 s	300 s	> 480 s
Lojas, museus, centros desportivos e outros edifícios de lazer	< 120 s	180 s	> 360 s
Dormitórios e edifícios residenciais médios e altos	< 120 s	240 s	> 300 s
Hotéis e pensões	< 120 s	240 s	> 360 s

Onde:

**W1** - o alarme é realizado por um sistema de comunicação por voz em tempo real, a partir de uma sala de controlo, de forma a informar a existência de uma emergência e o procedimento de evacuação a ser realizado.

**W2** - mensagens vocais gravadas previamente e/ou avisos visuais informativos com pessoal formado

**W3** - sistema de alerta com sinal de alarme de incêndio e pessoal sem formação adequada

Assim, O tempo necessário para completar uma evacuação em segurança é conhecido como o Required Safe Egress Time (RSET) e o tempo disponível para uma evacuação em segurança dos ocupantes é denominado Available Safe Egress Time (ASET) (Babrauskas., 2009).

## 2.6 Evacuação de Centros de Congressos - Legislação

O decreto 220/2008 compreende as normas de segurança contra incêndios que são relevantes para todos os tipos de edifícios e espaços, categorizados em 12 usos distintos. Cada uma dessas categorias, por sua vez, é subdividida em quatro níveis de risco de incêndio. Essas regulamentações abrangem não apenas edifícios de uso exclusivo, mas também aqueles destinados a ocupações mistas.

A legislação de centros de congressos está inserida dentro da legislação para proteção de edifícios, estando caracterizado no capítulo 2, artigo 8, tipo VI, como:

«Espetáculos e reuniões públicas», corresponde a edifícios, partes de edifícios, recintos itinerantes ou provisórios e ao ar livre que recebam público, destinados a espetáculos, reuniões públicas, exibição de meios audiovisuais, bailes, jogos, conferências, palestras, culto religioso e exposições, podendo ser, ou não, polivalentes e desenvolver as atividades referidas em regime não permanente, nomeadamente teatros, cineteatros, cinemas, coliseus, praças de touros, circos, salas de jogo, salões de dança, discotecas, bares com música ao vivo, estúdios de gravação, auditórios, salas de conferências, templos religiosos, pavilhões multiúso e locais de exposições não classificáveis na utilização-tipo X;

A legislação portuguesa, de acordo com o Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de novembro:

“A legislação sobre segurança contra incêndio em edifícios encontra-se atualmente dispersa por um número excessivo de diplomas avulsos, dificilmente harmonizáveis entre si e geradores de dificuldades na compreensão integrada que reclamam. Esta situação coloca em sério risco não apenas a eficácia jurídica das normas contidas em tal legislação, mas também o seu valor pedagógico.

Com efeito, o atual quadro legal é pautado por um edifício legislativo heterogêneo e de desigual valor hierárquico normativo. De tudo se encontra, resoluções do Conselho de Ministros, decretos-leis, decretos regulamentares, portarias, uns com conteúdo excessivamente minucioso, outros raramente ultrapassando o plano genérico.”

A mesma tem como princípios gerais os seguintes:

1 — O presente decreto-lei baseia-se nos princípios gerais da preservação da vida humana, do ambiente e do património cultural.

2 — Tendo em vista o cumprimento dos referidos princípios, o presente decreto-lei é de aplicação geral a todas as utilizações de edifícios e recintos, visando em cada uma delas:

- a) Reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios;
- b) Limitar o desenvolvimento de eventuais incêndios, circunscrevendo e minimizando

os seus efeitos, nomeadamente a propagação do fumo e gases de combustão;

- c) Facilitar a evacuação e o salvamento dos ocupantes em risco;
- d) Permitir a intervenção eficaz e segura dos meios de socorro.

De acordo com o artigo 10, “Classificação dos locais de risco”, o centro de congressos está inserido no local de risco B:

Local de risco B — local acessível ao público ou ao pessoal afeto ao estabelecimento, com um efetivo superior a 100 pessoas ou um efetivo de público superior a 50 pessoas, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:

- i) Mais de 90 % dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de perceção e reação a um alarme;
- ii) As atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;

Já no artigo 11, e evidenciado as restrições de uso, com as seguintes mandatárias:

1 — A afetação dos espaços interiores de um edifício a locais de risco B acessíveis a público deve respeitar as regras seguintes:

- a) Situar-se em níveis próximos das saídas para o exterior;
- b) Caso se situe abaixo das saídas para o exterior, a diferença entre a cota de nível dessas saídas e a do pavimento do local não deve ser superior a 6 m.

2 — Constituem exceção ao estabelecido no número anterior os seguintes locais de risco B:

- a) Espaços em anfiteatro, onde a diferença de cotas pode corresponder à média ponderada das cotas de nível das saídas do anfiteatro, tomando como pesos as unidades de passagem de cada uma delas;
- b) Plataformas de embarque afetas à utilização-tipo VIII.

E importante salientar que foi lançado outro decreto-lei em 2019 como terceira alteração ao artigo original de 2008, no entanto no se focou em nenhum dos pontos mencionados anteriormente

# 3. ANÁLISES DE ESTRATÉGIAS DE EVACUAÇÃO NUM CENTRO DE CONGRESSOS

Numa primeira fase, será apresentada e abordada a configuração do edifício e do respetivo piso a simular, com o objetivo de apresentar as plantas, acessos, divisões, lotações de cada espaço e o layout da secção da Alfândega em análise.

Posteriormente, é abordada a configuração e o modelo de simulação realizada no software PathFinder, bem como as várias estratégias e condicionantes utilizadas de simulação, de forma a obter a melhor e mais eficaz evacuação possível.

## 3.1. Modelação do Edifício

Como referido anteriormente, o edifício em estudo é a Alfândega do Porto, um centro de congressos, um importante espaço de eventos localizado na cidade do Porto, Portugal. Situado no edifício histórico da Alfândega do Porto, que foi construído no século XIX e é um marco arquitetónico da cidade.

O centro de congressos é conhecido por sediar uma variedade de eventos, incluindo conferências, exposições, feiras e convenções. Sua localização central e suas instalações modernas o tornam um local popular para eventos corporativos, culturais e sociais. Na figura 2 é possível observar a vista aérea da Alfândega do Porto

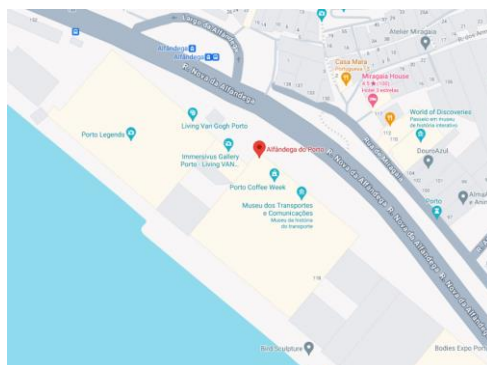


Figura 2 - Vista aérea da Alfândega do Porto (Google Maps, 2024)

### 3.1.1. Piso -1

O edifício é composto por 4 pisos principais, sendo um deles subterrâneo onde se localizam as furnas. Estas são espaços totalmente construídos em cantaria, com 72 pilares em cada sala a sustentar um teto abobadado. Possuem ambas 2000 m<sup>2</sup>.

Podemos ver a planta respetiva na figura 3:



Figura 3- Piso -1

### 3.1.2. Piso 0

O piso 0 é o piso principal da alfândega, onde é feita a entrada dos visitantes e do staff respetivo. É composto pelo auditório, sala dos despachantes, salão nobre, sala das miniaturas, sala do piquete e gabinetes e espaços comuns acessórios.

Começando pelo **salão nobre**, é orientado a sul, tendo o Rio Douro como cenário, possui também ligação direta ao cais através de 3 portas amplas. A sala tem um pé direito de 9 metros e é utilizada especialmente para eventos institucionais, sessões solenes e jantares. A figura 4 demonstra o salão em vista de planta.

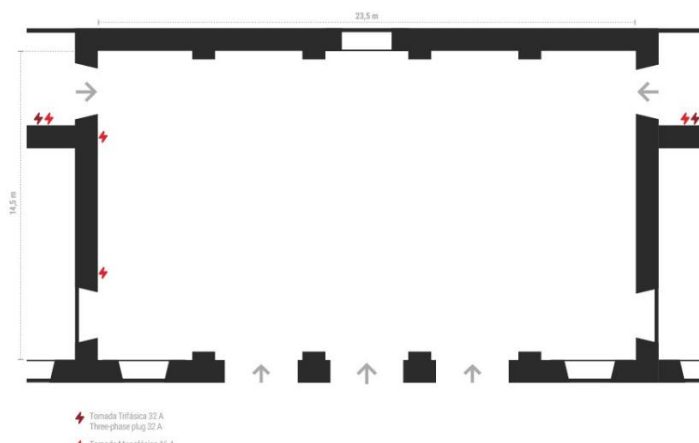


Figura 4 - Salão Nobre

A sala dos despachantes é localizada mesmo na entrada, caracterizada por ser ampla, versátil e é utilizada para qualquer tipo de evento. A figura 5 mostra a sala em análise.

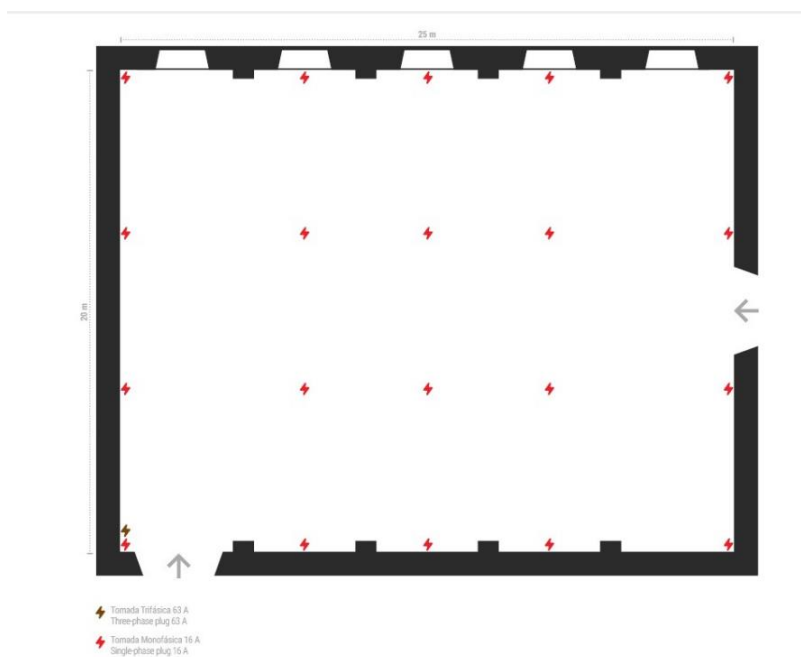


Figura 5 - Sala dos Despachantes

A sala das miniaturas é uma área secundária sendo caracterizada por ser um espaço complementar ao salão nobre. Possui 110m<sup>2</sup>. Na figura 6 observa-se a sala das miniaturas.

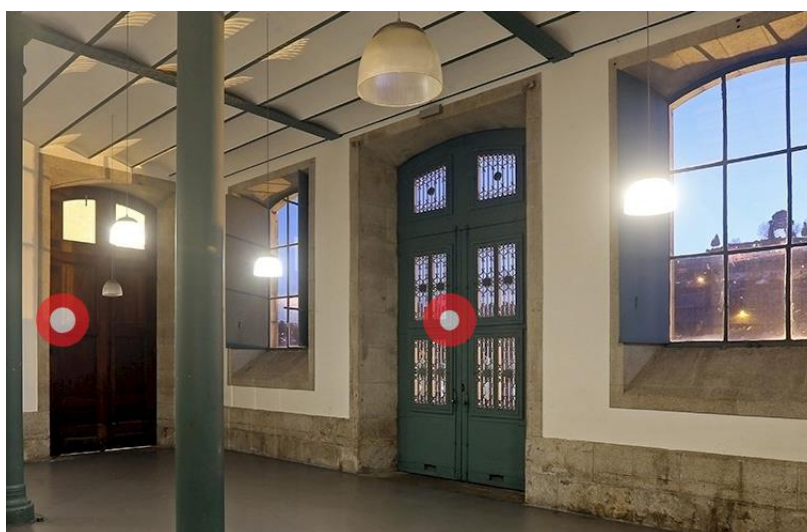


Figura 6 - Sala das Miniaturas

A sala Piquete é utilizada como sala de apoio a outras salas do mesmo piso e/ou para eventos de grandes dimensões servindo para sessões paralelas, apresentações, reuniões e exposições. É possível observar na figura 7 uma parte da sala do Piquete.

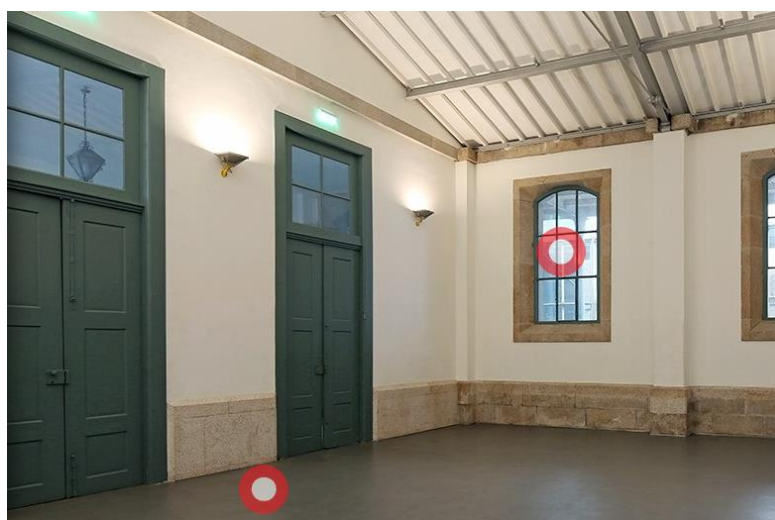


Figura 7 - Sala do Piquete

O piso 1 é um piso acessório que não terá tanto enfoque nesta dissertação. A figura 8 mostra a planta do piso em análise:

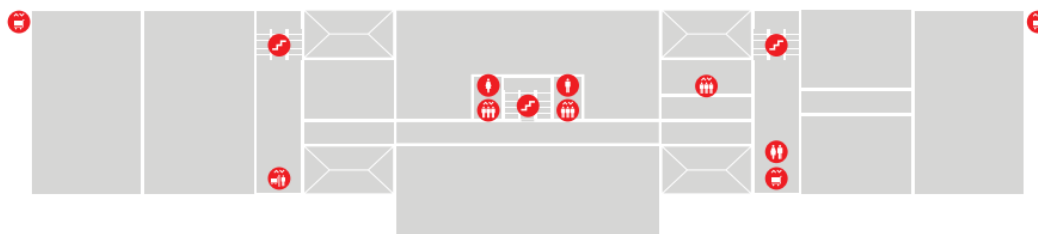


Figura 8 - Piso 1

O maior enfoque será na ala poente do piso 2; este piso apresenta várias salas, áreas técnicas e gabinetes. Começando pelo piso 2 Nascente, tem uma área de 2000m<sup>2</sup>, sendo um espaço ideal para receber todo o tipo de exposições de veículos, jantares, apresentações, entre outros. É um espaço amplo e é composto por 2 salas iguais.

A ala poente do piso 2 está assinalada na figura 9, onde será realizada a simulação de evacuação:



Figura 9 - Ala Poente do Piso 2

As lotações de cada sala/espço estão assinaladas na figura 10:

Piso	Local	Área (m <sup>2</sup> )	Índice (Pessoas/m <sup>2</sup> )	Ocupantes	Classificação	Observações
Rés-do-Chão Ala Poente	Rés-do-chão Ala Poente	2070,30	-- <sup>(1)</sup>	2500	B	--
Rés-do-chão - Exterior	Espaço polivalente - "oficinas"	378,10	-- <sup>(1)</sup>	600	B	--
1 Ala Poente	Sala da República	441,10	0,35	155	B	--
2 Ala Central	Ribeira 2	121,00	-- <sup>(1)</sup>	90	B	--
	Ribeira 1	168,00	-- <sup>(1)</sup>	120	B	--
	Sala de apoio ao Catering	137,00	--	--	A	--
	Sala de eventos - "Sala do Arquivo"	907,00	-- <sup>(1)</sup>	1500	B	--
2 Ala Nascente	Eventos temporários	2112,30	-- <sup>(1)</sup>	2000	B	--
2 Ala Poente	Gabinete Vidro 1	24,40	0,1	3	A	--
	Gabinete Vidro 2	26,90	0,1	3	A	--
	Sala do Infante	391,20	-- <sup>(1)</sup>	500	B	--
	Sala D. Luís	168,20	-- <sup>(1)</sup>	220	B	--
	Sala D. Maria	168,50	-- <sup>(1)</sup>	220	B	--
	Gabinete tradução 1	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 2	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 3	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 4	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 5	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 6	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 7	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 8	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 9	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 10	4,20	0,1	1	A	--
	Gabinete tradução 11	4,20	0,1	1	A	--
	Sala Miragaia	116,70	-- <sup>(1)</sup>	150	B	--
	Sala Arrábida	177,00	-- <sup>(1)</sup>	220	B	--
	Espaço de Apoio Catering	37,50	--	--	A	--
	Sala S. João	116,70	-- <sup>(1)</sup>	150	B	--
	Sala Porto	177,00	-- <sup>(1)</sup>	220	B	--
	Arrumos	38,30	--	--	A	--

Figura 10 - Lotação de cada sala

### 3.2. Estudo da Simulação

Para a realização da simulação, como foi abordado anteriormente recorreu-se à simulação computacional, recorrendo ao software Pathfinder. Para a construção deste modelo, foram necessárias realizar uma série de medidas e uma análise detalhada das plantas fornecidas pelos responsáveis da alfândega, bem como as respetivas lotações máximas, de forma a conseguir criar o modelo mais real possível do espaço em análise.

Posteriormente, de forma a validar o modelo, através uma visita à Alfândega realizou-se mais medições em tempo real da evacuação em diferentes espaços da ala poente do piso 2.

### 3.3. Modelação

A modelação do espaço começou com a importação da planta do piso 2 em formato dws. (Autocad) no PathFinder. Vemos na figura 11 a planta importada no software:

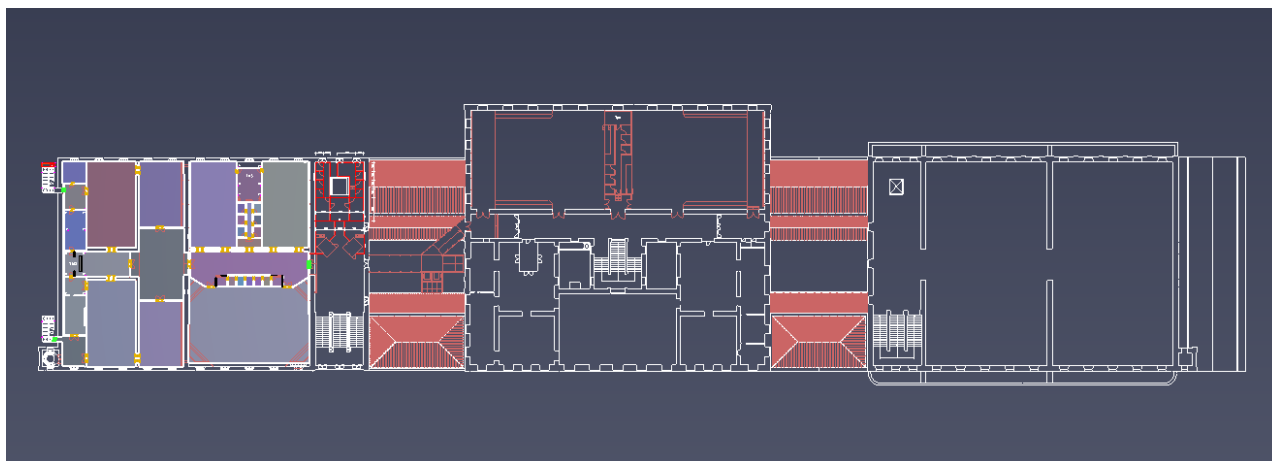


Figura 11 - Planta do piso 2 importada

Para introduzir a planta, que permite facilitar o processo de criação do modelo, abre-se a secção “File” e importa-se um ficheiro “.dwg”, como se vê na figura 12:

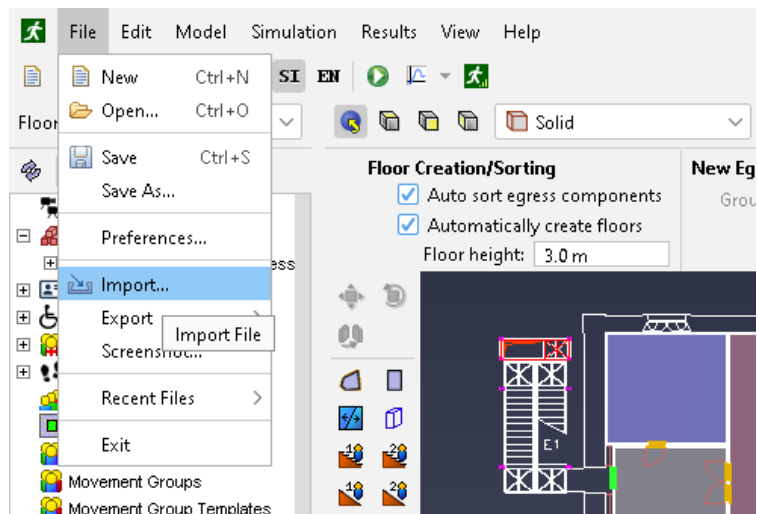


Figura 12 – Importar uma planta

Logo após termos concluído a importação, conseguimos adicionar divisões através da ferramenta “Add a polygonal room” ou “Add a rectangular room” de acordo com as necessidades. Assim, é possível criar as divisões com as medidas exatas reais de forma simples. Na figura 13, é possível visualizarmos um exemplo de uma das divisões criadas com esta ferramenta.

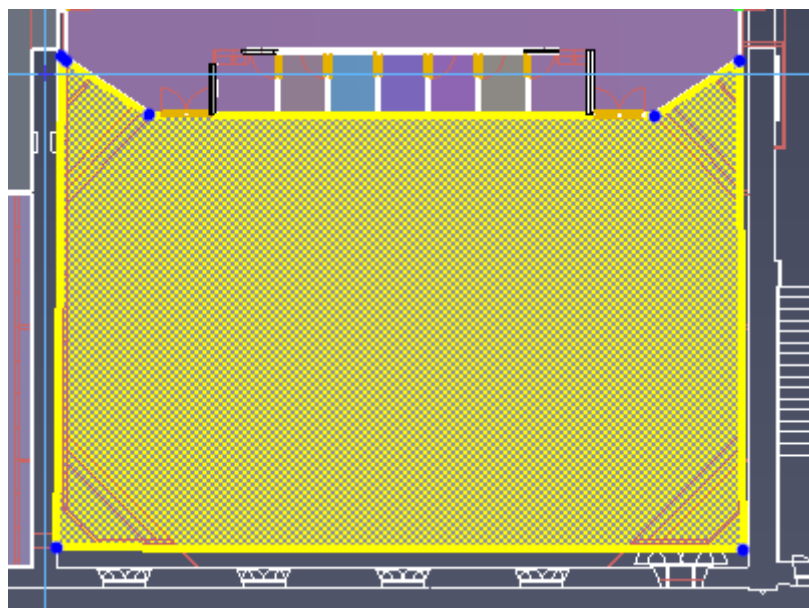


Figura 13 – Divisão criada no software

Repetiu-se o processo para o resto do piso, chegando ao modelo seguinte:(figura 14)

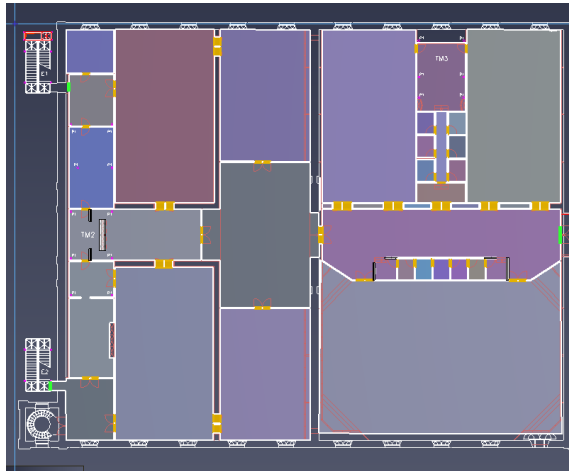


Figura 14 - Modelo finalizado

Na figura 14 acima, também é possível observar alguns ícones assinalados a amarelo e verde, que representam as portas criadas para cada divisão. As portas assinaladas a verde são as portas que representam as saídas do espaço ou por outras palavras, o fim da evacuação. As amarelas representam “portas interiores” que fazem a passagem pelas diversas divisões até à saída mais próxima.

Para a colocação das portas, utiliza-se a ferramenta “Add a new door”, que permite dimensionar a porta (largura, comprimento e espessura), e colocá-la no lugar que é pretendido. As figuras abaixo mostram as abas para a colocação das características, bem como dois exemplos de uma porta intermédia e uma de saída.

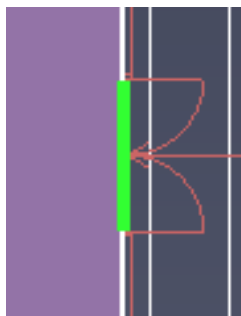


Figura 16 - Porta de saída



Figura 15 - Porta intermédia

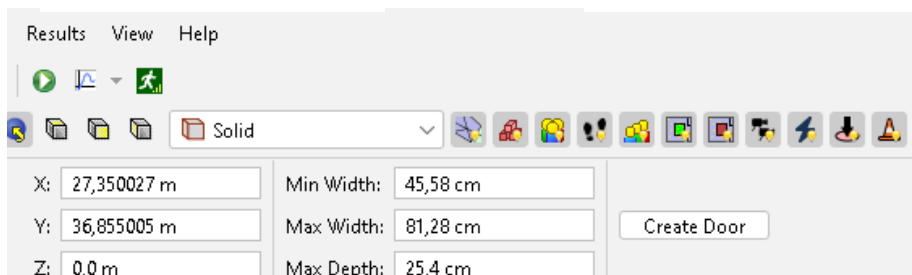


Figura 17 - Largura, comprimento e espessura da porta

Concluídas as portas, o passo seguinte passa pela criação de obstáculos nas diferentes divisões, desde cadeiras, secretárias, palco, entre outros para tornar o mais realista possível a simulação de evacuação, como se um dia de evento se tratasse. Através da ferramenta “Add na obstacle”, criaram-se os obstáculos em algumas divisões a simular uma situação real como vemos na figura seguinte.

Assumi-se algumas das salas com eventos como palestras e apresentações onde os ocupantes se encontram sentados virados para um locutor que se encontra num palco. As salas que possuem apenas alguns obstáculos, estão a ser alvo de um evento de pé como por exemplo uma exposição, onde os visitantes se encontram de pé e podem vaguear à volta da sala.

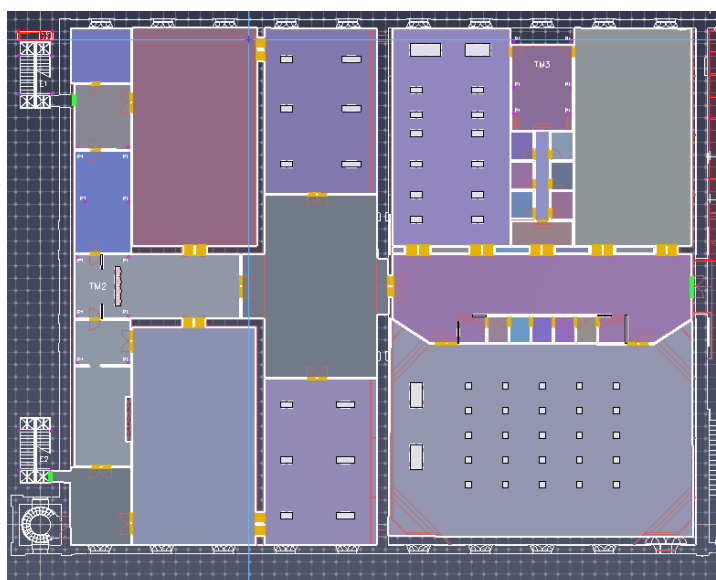


Figura 18 - Obstáculos espalhados por diversas salas

### 3.3.1. Validação do modelo

A validação do modelo desenvolvido é um passo importante, para se saber o modelo a utilizar está apto e adequado para a simulação da evacuação do espaço. Assim, fez-se uma comparação de tempo entre uma evacuação real e o tempo obtido pelo software perante as características apresentadas.

Para isso, foram realizadas várias medições em todas as divisões do piso em análise, sendo uma delas numa parte da divisão mais próxima da saída, e a outra no ponto mais longe da mesma, de forma a obtermos os tempos extremos de evacuação.

O ocupante começou a evacuação logo após o início da cronometragem, e manteve um ritmo/velocidade constante ao longo de todo o percurso.

Divisão - Saída	Tempo de evacuação da simulação (s)		Erro percentual (%)
	Tempo real (s)	Tempo de simulação (s)	
Sala do Infante – Saída 1	16.28	15.3	6,01
Sala D.Maria – Saída 1	10	10.3	3
Gabinetes 1 – Saída 1	13	15.3	17,7
Gabinetes 2 – Saída 1	15	15.5	3,3
Gabinetes 3 – Saída 1	16.8	16.5	1,79
Sala de gabinetes - Saída 1	21	21.5	2,38
Sala D.Luís – Saída 1	16	16.3	1,88
Sala Miragaia – Saída Em.1	19	19	0
Sala Miragaia – Saída 1	26	27	3,85
Sala S.João – Saída Em.2	19	19	0
Sala S.João – Saída 2	26	27	3,85
Sala Arrábida – Saída Em.1	9	9.8	8,89
Sala Porto – Saída Em.2	16	15.6	2,5
Área técnica1 – Saída Em.1	8	9.3	16,25
Área técnica2 – Saída Em.2	8	9.3	16,25
Gabinete 4 – Saída 1	17	15	11,77
Gabinete 5 – Saída 1	19	17	11,77
Gabinete 6 – Saída 1	13	12	7,69
Gabinete 7 – Saída 1	11	10.5	4,54
Gabinete 8 – Saída 1	9	9	0

Tabela 3 - Tempos de evacuação reais e simulados e erro percentual

Por fim, e na tabela 3 podemos ver os tempos obtidos numa situação real comparados com os tempos dados pelo software.

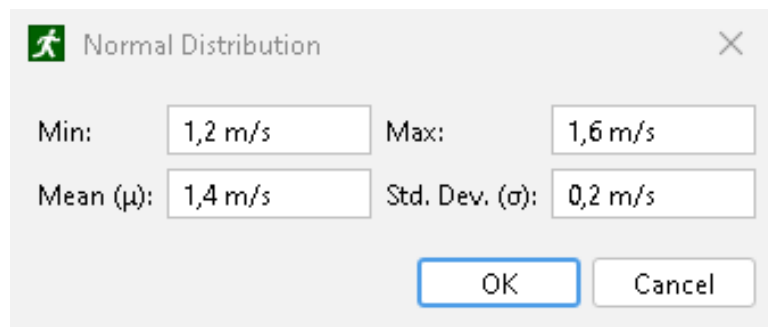
Após comparação dos tempos nas diferentes vertentes mencionadas acima, procedeu-se ao cálculo do erro percentual de cada uma das divisões, realizando no fim uma média ponderada desses mesmos erros, obtendo um erro médio de 5,87%

o que permite concluir que o modelo desenvolvido é válido.

### 3.4. Estratégias de Evacuação

Após a validação do modelo, procede-se ao estudo das estratégias de evacuação para o espaço em estudo, com o objetivo de analisar diferentes cenários e melhorar a evacuação do espaço, otimizando-a da melhor forma possível.

Foram então utilizadas simulações computacionais, sempre utilizando a lotação máxima de cada divisão, e com uma velocidade média por ocupante, calculada através de uma distribuição normal com os parâmetros da figura 19:



Parameter	Value
Min	1,2 m/s
Max	1,6 m/s
Mean ( $\mu$ )	1,4 m/s
Std. Dev. ( $\sigma$ )	0,2 m/s

Figura 19 - Velocidade do ocupante (distribuição normal)

As estratégias adotadas são as seguintes:

- 1. Evacuação pela saída mais próxima com lotação máxima em todos os espaços**
  - Todas as saídas disponíveis, utilizando a mais próxima para cada ocupante.
- 2. Evacuação com lotação máxima em todos os espaços usando bloqueio das saídas**
  - Bloquear saída de emergência A
  - Bloquear saída de emergência B
  - Bloquear ambas as saídas de emergência
  - Bloquear a saída principal
- 3. Evacuação da sala do Infante apenas, usando a saída mais próxima**
  - Todas as saídas disponíveis, utilizando a mais próxima para cada ocupante.
- 4. Evacuação da sala do Infante apenas, usando bloqueio das saídas**
  - Com saída de emergência A bloqueada
  - Com saída de emergência B bloqueada

- Com ambas as saídas de emergência bloqueadas
  - Com a saída principal bloqueada
5. **Evacuação da sala do Infante e auditórios situados em frente apenas, usando a saída mais próxima**
- Todas as saídas disponíveis, utilizando a mais próxima para cada ocupante.
6. **Evacuação da sala do Infante e auditórios situados em frente apenas, usando o bloqueio das saídas mencionadas anteriormente:**
- Com saída de emergência A bloqueada
  - Com saída de emergência B bloqueada
  - Com ambas as saídas de emergência bloqueadas
  - Com a saída principal bloqueada
7. **Evacuação da sala Miragaia, São João, Arrábida e Porto, usando a saída mais próxima**
- Todas as saídas disponíveis, utilizando a mais próxima para cada ocupante.
8. **Evacuação da sala Miragaia, São João, Arrábida e Porto, usando o bloqueio das saídas mencionadas anteriormente:**
- Com saída de emergência A bloqueada
  - Com saída de emergência B bloqueada
  - Com ambas as saídas de emergência bloqueadas
  - Com a saída principal bloqueada

Em todas as simulações realizadas, o ocupante tem a ordem de iniciar a evacuação de forma imediata.

Além disso, é necessário considerar o tempo de pré-movimentação demonstrado na revisão bibliográfica, uma vez que os ocupantes não começam a evacuação logo após o acionamento do alarme de emergência.

No caso em estudo, trata-se de um espaço cultural/centro de eventos, onde o alarme é realizado por um sistema de comunicação por voz em tempo real, a partir de uma sala de controlo, de forma a informar a existência de uma emergência e o procedimento de evacuação a ser realizado. Sendo assim, considerou-se um tempo de pré-movimentação de 120 segundos.

No espaço em estudo, não existem elevadores que auxiliem a evacuação, pelo que os ocupantes quando chegam às saídas de emergência descem pelas escadas de metal de prevenção de incêndios situadas já no exterior do edifício.

É considerado que mal os ocupantes cheguem a estes pontos a evacuação é finalizada, e os ocupantes encontram-se em segurança.

### 3.4.1. Estratégia 1 – Evacuação pela saída mais próxima com todos os espaços com lotação máxima

Com uma lotação máxima em todas as divisões, temos um total de **1700** ocupantes. Fazendo a simulação com as variáveis mencionadas anteriormente temos na tabela 4:

Tabela 4 - Tempo de evacuação com todas as saídas disponíveis

Tempo de pré-movimentação/evacuação	120
Tempo de deslocação (s)	553
Tempo total (s)	673

Neste cenário, é possível observar através da simulação de evacuação, que existem alguns pontos de estrangulamento, ou seja, existem algumas portas intermédias onde existe uma grande concentração de ocupantes, fator esse que atrasa todo o processo. Essas portas intermédias ficam sobrelotadas, o que impede o fluxo normal dos ocupantes.

Na figura 21 podemos ver esse exemplo, bem como o respetivo gráfico do fluxo de ocupantes a passar nessas portas. Embora não seja um elevado número, o comportamento dos ocupantes, varia sendo que uns querem sair para um lado, e outros pretendem fazer o movimento contrário.

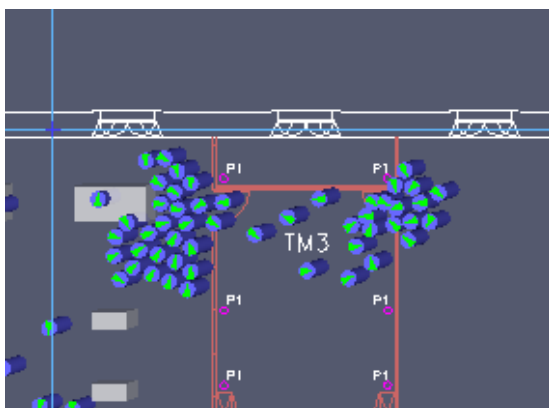


Figura 21 - Estrangulamento de ocupantes na evacuação

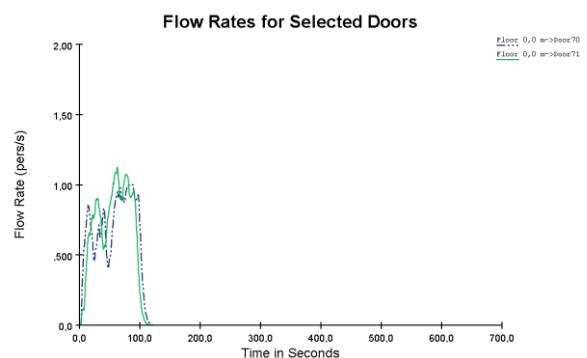


Figura 20 - Fluxo de ocupantes nas portas mencionadas

Podemos ver agora, o fluxo de ocupantes nas portas de saída; primeiramente nas portas de saída principal e posteriormente nas saídas de emergência. (ver figura 22 e 23)

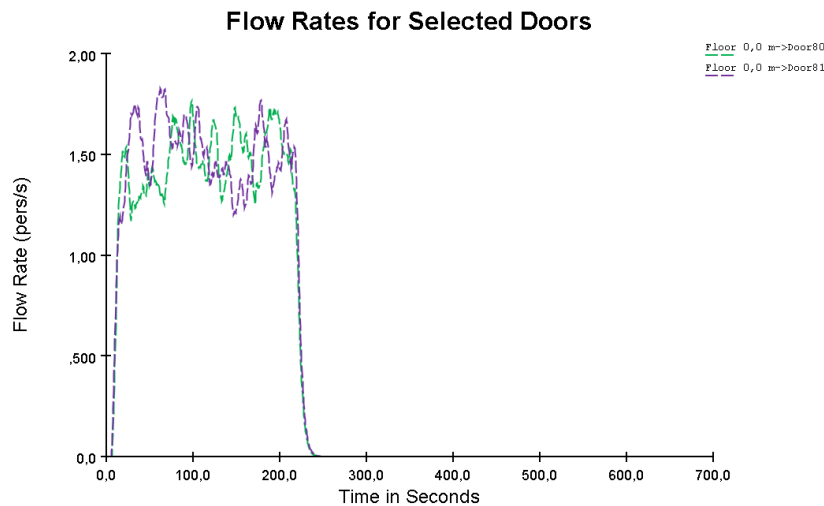


Figura 23 - Fluxo de ocupantes na saída principal

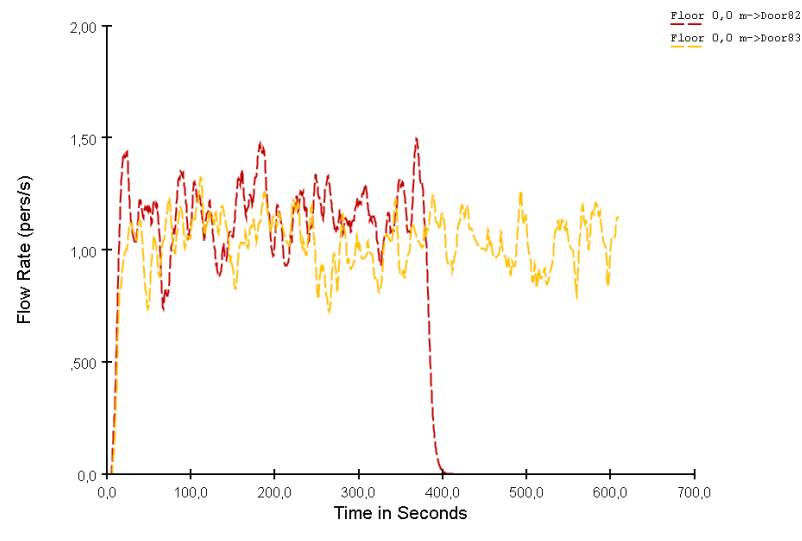


Figura 22 - Fluxo de ocupantes nas saídas de emergência

Observa-se que a porta das saídas de emergência tem uma afluência de 1,25 ocupantes por segundo em média durante todo o tempo de evacuação. A porta da saída principal tem uma afluência muito elevada numa fase inicial do processo de 1,75 ocupantes até cerca dos 250 segundos da evacuação.

Além disso, na fase final da evacuação, existe uma grande aglomeração de ocupantes visto que os mesmos esperam muito tempo para conseguirem sair pela saída de emergência A, em vez de optar pela outra, como vemos na figura 24:

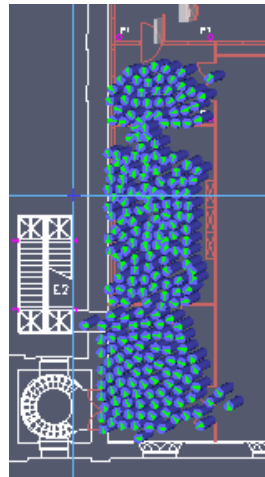


Figura 24 - Estrangulamento na evacuação

Esta fase da evacuação atrasa todo o processo em cerca de 225 segundos, equivalente à perto de 4 minutos. Uma solução para este problema seria alterar o comportamento dos ocupantes, para evacuarem por outra saída numa situação deste género.

Na figura 25 vemos o contraste entre o número de visitantes que faltam evacuar e os que já evacuaram ao longo do tempo.

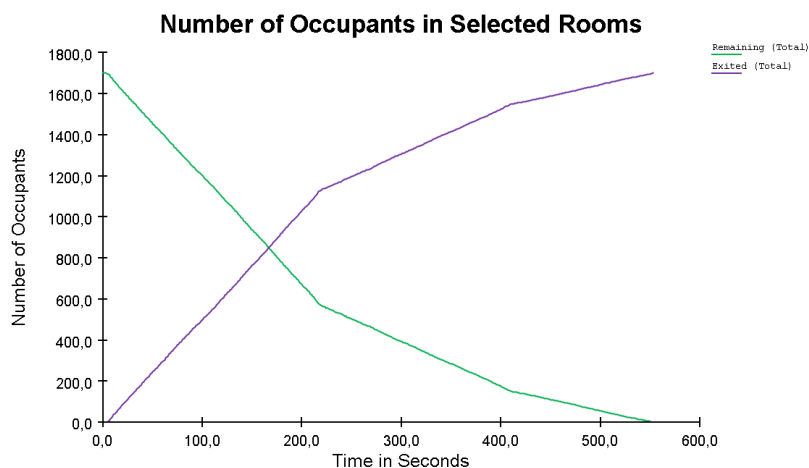


Figura 25 - Número de ocupantes evacuados e não evacuados ao longo do tempo

3.4.2. **Estratégia 2- Evacuação com lotação máxima em todos os espaços usando bloqueio das saídas de emergência**

- Bloqueio de ambas as saídas de emergência

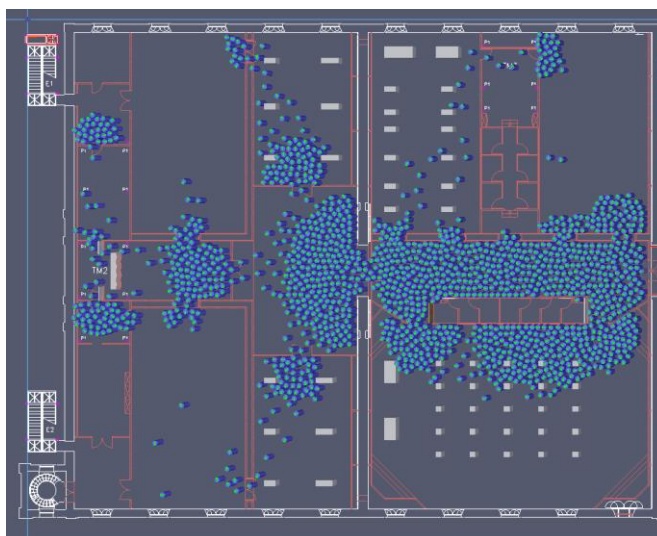
Como segundo cenário, a evacuação só é permitida pela porta da saída principal, estando as saídas de emergência encerradas.

Obtém-se os tempos abaixo na tabela 5:

*Tabela 5 - Tempos de evacuação com saídas de emergência bloqueadas*

Tempo de pré-movimentação/evacuação	120
Tempo de deslocação (s)	558
Tempo total (s)	678

O facto de a saída principal ter duas portas permite um maior fluxo de ocupantes, o que acelera todo o processo de evacuação. Além disso, nenhuma porta intermédia fica bloqueada uma vez que todas as pessoas circulam num só sentido. Na figura 26, vemos uma imagem de uma fase intermédia da evacuação. Nesta fase intermédia existe uma grande aglomeração no corredor principal, situação que não é ideal numa evacuação.



*Figura 26 - Fase intermédia da evacuação*

No figura 27, vemos o número ocupantes no espaço em análise ao longo do tempo.

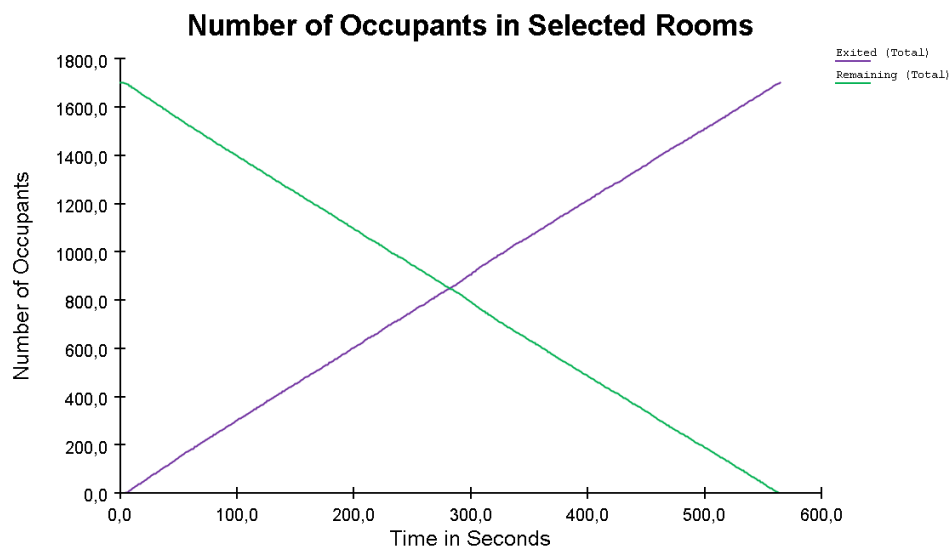


Figura 27 - Número de ocupantes ao longo do tempo

Vemos que neste cenário metade dos ocupantes já tinham realizado a evacuação por volta dos 290 segundos. Na primeira estratégia 50% foi evacuado por volta dos 170 segundos. Esta diferença deve-se ao facto de estarem mais duas saídas disponíveis. No entanto, neste cenário vemos uma evacuação muito mais linear, uma vez que os ocupantes seguem todos o mesmo caminho e direção, não havendo bloqueio nas portas. É possível concluir também mesmo sem as saídas de emergência a evacuação é igualmente eficaz, havendo apenas uma diferença de 6 +segundos entre as duas estratégias.

● Bloqueio da saída. A e saída principal

Tabela 6 - Tempos de evacuação com duas saídas disponíveis

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	753
Tempo total (s)	873

Como se observa na tabela 6, o tempo de evacuação neste cenário aumentou consideravelmente, devido principalmente a um grande congestionamento nas zonas assinaladas na figura abaixo. Os ocupantes que inicialmente se dividiam pelas duas saídas de emergência, agora concentram-se num único caminho que, naturalmente atrasa todo o processo de evacuação.

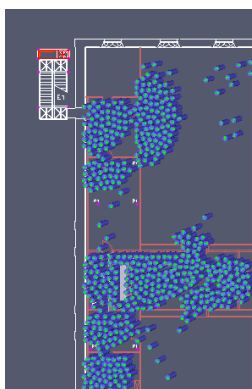


Figura 28 - Congestionamento de ocupantes perto das saídas de emergência

- Bloqueio da saída B e saída Principal (ver figura 7)

Tabela 7 - Tempos de evacuação com duas saídas disponíveis 2

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	850
Tempo total (s)	970

O processo é aparentemente equivalente ao feito anteriormente, visto que as saídas de emergência possuem a mesma capacidade de fluxo de ocupantes por segundo e estão situadas à mesma distância visto que o espaço em análise é simétrico.

No entanto, existe muita confusão na evacuação visto que os ocupantes tomam decisões diferentes, optando por sair por saídas diferentes se notarem que uma delas está muito congestionada. Isto provoca sobrelotação nas portas intermédias e um aumento muito considerável no tempo de evacuação. As figuras 29, 30 e 31 exemplificam exatamente o problema explicado:

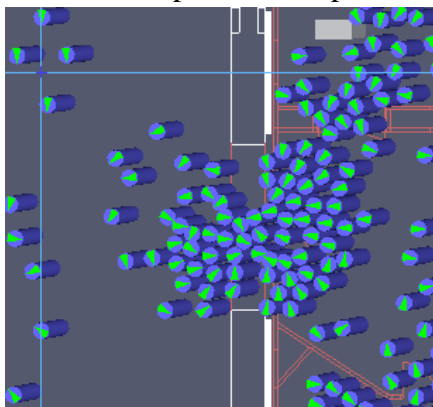


Figura 29 - Obstrução de porta intermédia na evacuação

Outro problema recorrente é os visitantes insistirem em sair por uma determinada saída, mesmo a outra já estando completamente desimpedida. Na imagem abaixo, observamos que numa fase final da evacuação um grande número de ocupantes aglomera-se na zona sudoeste do espaço atrasando consideravelmente a evacuação em vez de optarem pela saída principal que já se encontrava totalmente desimpedida.

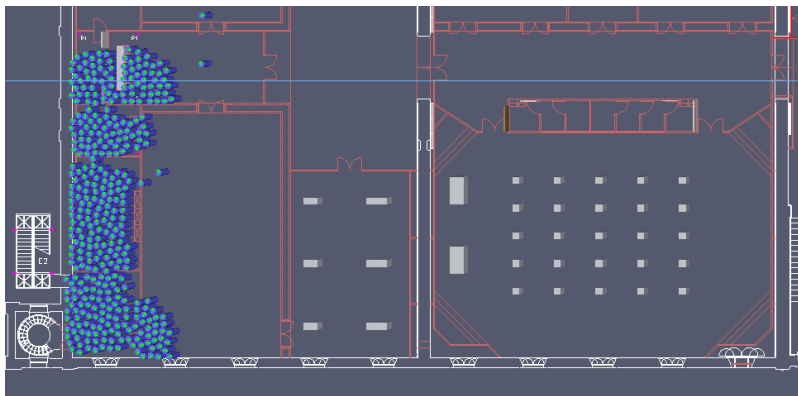


Figura 30 - Aglomeração de ocupantes

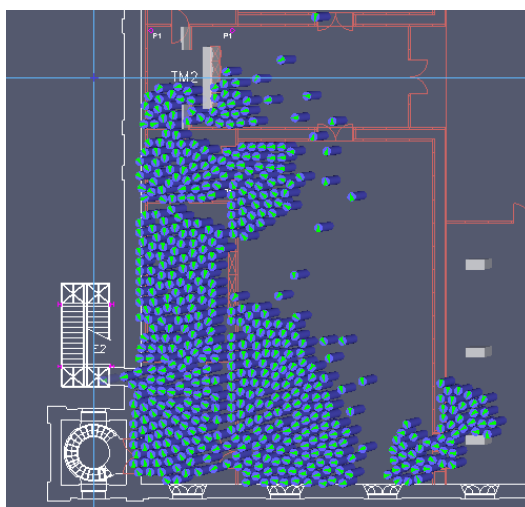


Figura 31 - Aglomeração de ocupantes 2

Numa situação real, as pessoas reparariam rapidamente nesse aspeto e claramente alteravam a saída de evacuação de forma a apressar a mesma e conseguirem sair em segurança do edifício.

Repetindo o mesmo processo, bloqueando agora a saída principal temos os seguintes valores: (ver tabela 8)

Tabela 8 - Tempo de evacuação com saída principal bloqueada

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	994
Tempo total (s)	1114

A porta intermédia principal tem um grande acréscimo de fluxo de pessoas, uma vez que todas, ou praticamente todas as pessoas tem de passar por essas portas para chegarem às saídas de emergência. Na figura 32 vemos os fluxos de pessoas nessas portas ao longo de toda a evacuação.

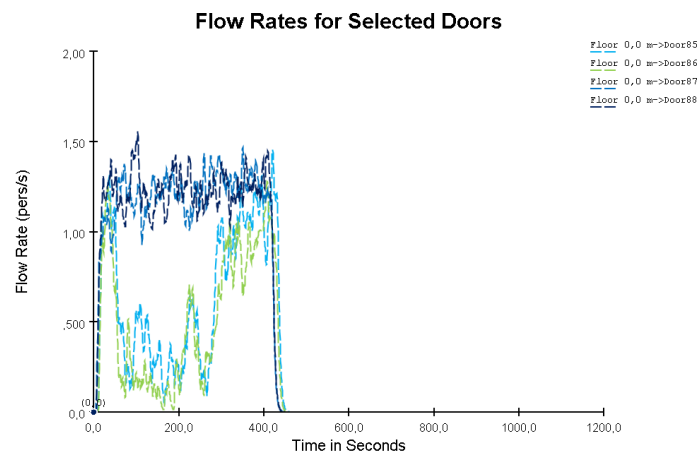


Figura 32 - Fluxo de pessoas nas portas intermédias

As portas 85 e 86 têm um elevado fluxo muito elevado inicialmente, vindo das pessoas da zona este do piso. Quando estas passam para a zona centro e oeste, as portas naturalmente ficam livres. O mesmo acontece com as portas 87 e 88, no entanto estas são intermediárias quer da zona este, quer da zona centro. Assim, até por volta dos 440 segundos de evacuação, o fluxo é elevado.

### 3.4.3. Estratégia 3 - Evacuação da sala do Infante, usando a saída mais próxima

Nesta estratégia de evacuação, será apenas realizada a evacuação da sala Dão Infante, uma vez que é o espaço com maior lotação máxima (500), e a mais relevante neste piso. As evacuações serão realizadas seguindo todas as combinações de saídas feitas anteriormente.

Os tempos para esta sala são: (ver tabela 9)

Tabela 9 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante1

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	150
Tempo total (s)	270

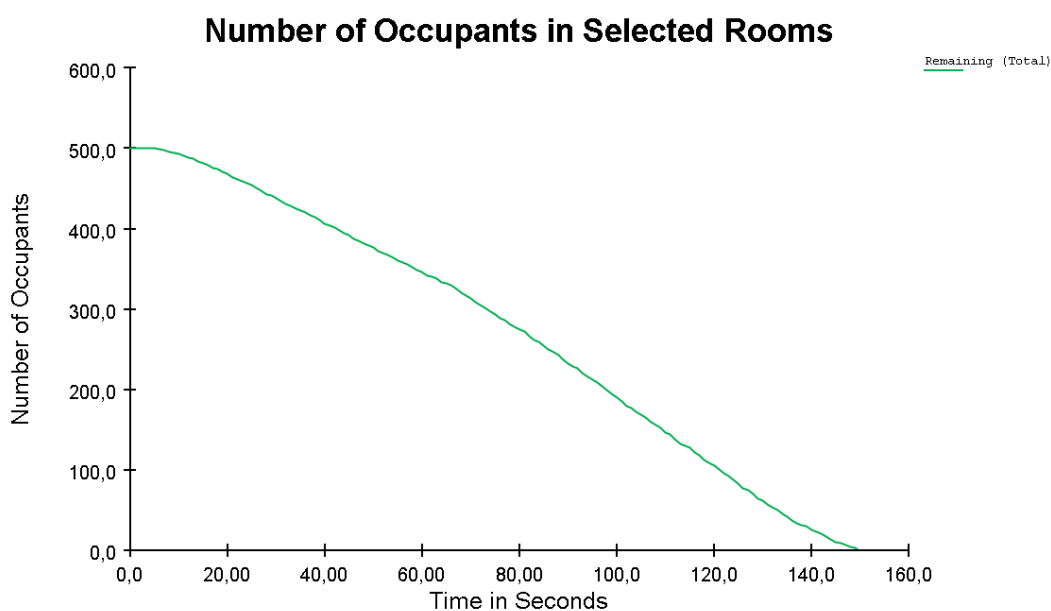


Figura 33 - Fluxo de ocupantes na evacuação

Vemos uma diminuição linear dos ocupantes na sala, não havendo muitas zonas obstruídas, sendo que alguns ocupantes optaram pelas saídas de emergência quando havia maior fluxo na saída principal.

#### 3.4.4. Estratégia 4 - Evacuação da sala do Infante, usando bloqueio das saídas

Obstruindo a saída de emergência B: (ver tabela 10)

*Tabela 10 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 2*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	149
Tempo total (s)	269

Repetindo o processo para a saída de emergência A: (ver tabela 11)

*Tabela 11 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 3*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	151
Tempo total (s)	269

Podendo apenas os ocupantes sair pela saída principal temos: (ver tabela 12)

*Tabela 12 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 4*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	178
Tempo total (s)	298

Podemos concluir que para a evacuação do auditório, visto estar muito próximo da saída principal, todos os ocupantes automaticamente optam por esta saída, comportamento que qualquer ser humano teria na presença de uma tragédia. As saídas de emergência são uma opção viável, visto terem acesso direto ao exterior e terem uma afluência de pessoas muito reduzida o que acaba por acelerar todo o processo.

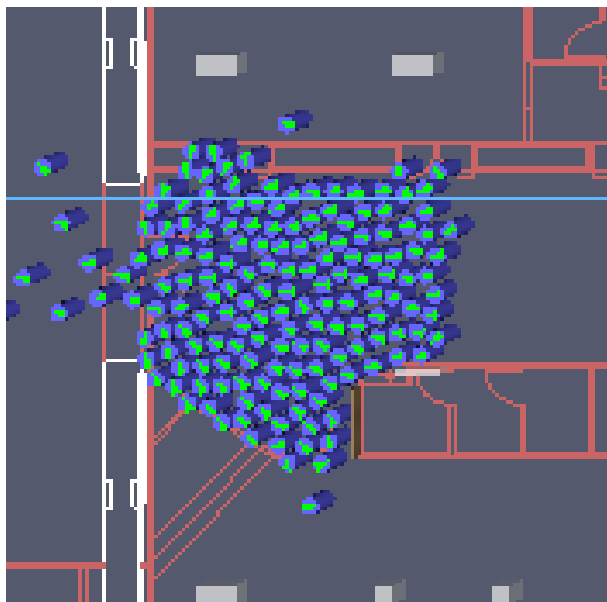
Através dos tempos acima referidos, conseguimos analisar que quando obstruímos as duas saídas de emergência o tempo de evacuação aumento em cerca de 20 segundos, tempo esse que pode ser decisivo no sucesso da operação.

Na estratégia abaixo **será bloqueada a saída principal** para se conseguir chegar à conclusão se apesar de estar localizada mais próxima da sala Dão Infante, é mais viável que optar pelas saídas de emergência.

*Tabela 13 - Tempo de evacuação para a sala Dão Infante 5*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	355
Tempo total (s)	475

O tempo de evacuação aumenta substancialmente; as saídas de emergência estão muito longe da sala em estudo, e existe um grande aglomerado ocupacional nas portas intermédias que atrasa severamente a evacuação como se observa na imagem seguinte:



*Figura 34 - Portas intermédias*

### 3.4.5. **Estratégia 5 - Evacuação da sala do Infante e auditórios situados em frente, usando a saída mais próxima**

A próxima estratégia passa por evacuar toda a zona este do piso, estando incluídas a sala Dão Infante, todos os gabinetes, a sala D.Maria e a sala D.Luís.

Usando a saída mais próxima temos:

*Tabela 14 - Tempo de evacuação para a zona este 1*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	296
Tempo total (s)	416

O comportamento das pessoas é muito semelhante à simulação realizada apenas para a sala Dão Infante, no entanto o tempo aumenta devido ao aumento de ocupantes de 500 para 1014.

### 3.4.6. **Estratégia 6 - Evacuação da sala do Infante e auditórios situados em frente apenas, usando o bloqueio das saídas**

Começando a evacuação pelo bloqueio da **saída de emergência A:**

*Tabela 15 - Tempo de evacuação para a zona este 2*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	385
Tempo total (s)	505

**Saída de emergência B bloqueada:**

*Tabela 16 - Tempo de evacuação para a zona este 3*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	407
Tempo total (s)	527

Permitindo a evacuação **pela saída principal** apenas:

*Tabela 17 - Tempo de evacuação para a zona este 4*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	344
Tempo total (s)	464

Por último permitindo apenas a evacuação **pelas saídas de emergência** temos os tempos seguintes:

Tabela 18 - Tempo de evacuação para a zona este 5

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	630
Tempo total (s)	750

### 3.4.7. Estratégia 7 - Evacuação da sala Miragaia, São João, Arrábida e Porto, usando a saída mais próxima

De forma a termos todos os cenários possíveis, por último vamos proceder à simulação apenas das salas restantes, eliminando os ocupantes da zona este do piso. Ficamos assim, com uma distribuição dos ocupantes como mostra a figura 34.

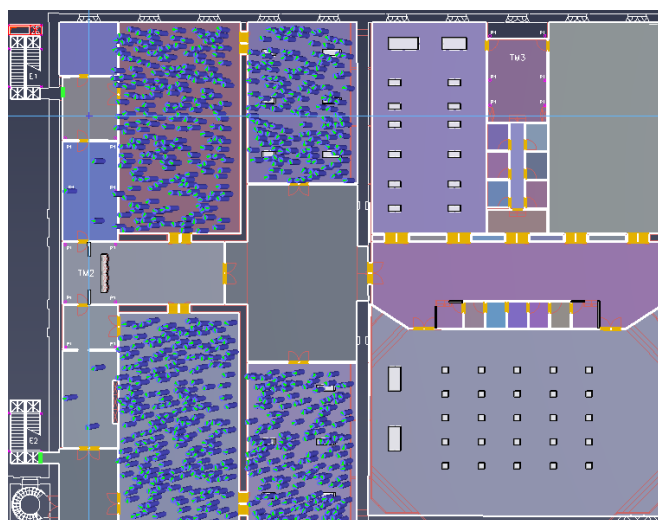


Figura 35 - Distribuição dos ocupantes na zona oeste do piso

Na tabela abaixo, vemos os tempos obtidos para o cenário acima mencionado.

Tabela 19 - Tempo de evacuação para a zona oeste 1

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	322
Tempo total (s)	442

### 3.4.8. Estratégia 8 - Evacuação da sala Miragaia, São João, Arrábida e Porto, usando o bloqueio das saídas

Repetindo o mesmo processo, usando agora o bloqueio das saídas realizados anteriormente temos os seguintes tempos:

- Saída de emergência B bloqueada

*Tabela 20 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 2*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	483
Tempo total (s)	603

- Saída de emergência. A bloqueada

*Tabela 21 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 3*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	488
Tempo total (s)	608

- Saída pelas portas principais

*Tabela 22 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 4*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	406
Tempo total (s)	526

- Saídas de emergência bloqueadas

*Tabela 23 - Tempo de evacuação para a zona centro e oeste 5*

Tempo de pré-movimentação (s)	120
Tempo de deslocação (s)	330
Tempo total (s)	450

Os tempos totais apresentados nas tabelas anteriores, permitem concluir que as estratégias envolvendo a saída principal são as mais vantajosas, visto que esta saída envolve duas portas que permite um maior fluxo de pessoas por segundo, reduzindo assim o tempo total de evacuação. A estratégia com todas as saídas disponíveis, e a estratégia com as saídas de emergência bloqueadas são as que apresentam menor tempo de evacuação.

## 4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Estudadas todas as estratégias possíveis e que se enquadram no espaço em análise, foi realizado um quadro-resumo geral dos tempos em cada uma das estratégias e respetivas variantes. Assim, este subcapítulo tem como objetivo a apresentação dos resultados obtidos nos procedimentos anteriormente elaborados. (ver tabela 24)

Tabela 24 - Tabela resumo

<b>Estratégias</b>	<b>Lotação (pessoas)</b>	<b>Cenário</b>	<b>Tempo total de evacuação (s)</b>
<b>1</b>	1700	Todas as saídas disponíveis	673
<b>2</b>	1700	Saída A bloqueada	873
		Saída B bloqueada	970
		Saída principal bloqueada	1114
		Saídas emerg. bloqueadas	678
<b>3</b>	500	Todas as saídas disponíveis	270
<b>4</b>	500	Saída A bloqueada	269
		Saída B bloqueada	269
		Saída principal bloqueada	475
		Saídas emerg. bloqueadas	298
<b>5</b>	954	Todas as saídas disponíveis	416
<b>6</b>	954	Saída A bloqueada	505
		Saída B bloqueada	527
		Saída principal bloqueada	750

		Saídas emerg. bloqueadas	464
<b>7</b>	746	Todas as saídas disponíveis	442
<b>8</b>	746	Saída A bloqueada	608
		Saída B bloqueada	603
		Saída principal bloqueada	450
		Saídas emerg. bloqueadas	526

A evacuação do auditório principal é uma tarefa acessível, visto que este situa muito perto da saída principal. O mesmo possui duas portas duplas que permitem aos ocupantes evacuar por zonas diferentes evitando uma grande aglomeração. A evacuação demora cerca de 4 minutos para todos os cenários, à exceção de quando a saída mais próxima se torna inacessível. Os ocupantes nesta situação são obrigados a percorrer o piso todo, passando por zonas e portas intermédias para finalmente evacuarem pelas saídas de emergência.

Para a zona este, os resultados que obtemos são muito idênticos à evacuação anterior. Os tempos aumentam visto estarmos na presença de quase o dobro de ocupantes, no entanto as estratégias mais eficazes continuam a ser com todas as saídas disponíveis ou quando pelo menos a saída principal está disponível. As saídas de emergência ajudam todo o processo, no entanto não são componentes essenciais na evacuação do espaço.

Nas últimas estratégias estando as salas em estudo mais perto das saídas de emergência, os tempos equilibram-se um pouco mais. Quando bloqueamos a saída principal, os ocupantes optam por sair pelas saídas de emergência, evitando percorrer um caminho mais longo até à saída principal.

## 5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O presente trabalho foi realizado no contexto da unidade curricular de Projeto/Dissertação/Estágio do 2º ano do curso de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O tema da dissertação consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação recorrendo ao software Pathfinder, com o objetivo de analisar diversas estratégias de evacuação para um centro de congressos, nomeadamente a Alfândega do Porto, de forma a conseguir descobrir as melhores alternativas e os melhores cenários para realizar a evacuação da forma mais segura e otimizada possível. Além disso, procurou-se sugerir melhorias.

Neste capítulo são abordados os principais contributos do trabalho, assim como propostas de trabalho futuro.

### 5.1. Principais contributos do trabalho

A realização desta dissertação permitiu concluir:

- Elaborar um modelo da Alfândega do Porto no software Pathfinder
- A não orientação dos ocupantes resulta que todos tentem evacuar pelos acessos mais próximos o que origina um congestionamento dos acessos com mais densidade de pessoas à partida para a evacuação.
- A saída principal é fulcral para a evacuação do espaço, devido à capacidade de grande fluxo de pessoas nas suas portas ao mesmo tempo;
- A evacuação atrasa consideravelmente se a saída principal não estiver disponível;
- Ter apenas uma saída de emergência disponível para evacuação atrasa todo o processo em cerca de 200 segundos;
- Ter todas as saídas disponíveis provoca grandes congestionamentos em portas e acessos intermédios, visto que os ocupantes adotam decisões e comportamentos diferentes;
- Prevê-se um total de 553 segundos (9,2 minutos) para a evacuação total do espaço com lotação máxima em todas as salas;

- Colocar portas duplas nas saídas de emergência permite um fluxo maior de pessoas, que baixaria consideravelmente o tempo;

## **5.2. Limitações e trabalhos futuros**

Durante a elaboração do presente trabalho surgiram algumas dificuldades, das quais se pode destacar a aprendizagem de um novo software, que obrigou a um período de experimentação e de testes antes de se iniciar o desenvolvimento do modelo de simulação demonstrado ao longo da dissertação.

Futuramente, pretende-se desenvolver o modelo, introduzindo outras variáveis, como por exemplo características e variáveis diferentes nos ocupantes do espaço, introduzindo zonas com pessoas com deficiência física, crianças, idosos, entre outros de forma a termos resultados mais próximos da realidade.

Além disso pretende-se expandir todo o modelo de simulação para a Alfândega toda, de forma a termos uma ideia pormenorizada e estudada da evacuação de todo o edifício.

## 6. REFERÊNCIAS

- Ali, I. M., Hashim, A. E., Wan-Ismail, W. Z., Isnin, Z., & Mohd-Nazeri, M. A. (2011). Spectators safety awareness in outdoor stadium facilities. *Procedia Engineering*, 20, 98-104.
- Alkhadim, M., Gidado, K., & Painting, N. (2018). Risk management: The effect of FIST on perceived safety in crowded large space buildings. *Safety science*, 108, 29-38.
- Bina, K., & Moghadas, N. (2021). BIM-ABM simulation for emergency evacuation from conference hall, considering gender segregation and architectural design. *Architectural Engineering and Design Management*, 17(5-6), 361-375.
- Bourhim, E. M., & Cherkaoui, A. (2020). Efficacy of Virtual Reality for Studying People's Pre-evacuation Behavior under Fire. *International Journal of Human Computer Studies*, 142, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102484>
- Caliendo, C., Ciambelli, P., Del Regno, R., Meo, M. G., & Russo, P. (2020). Modelling and numerical simulation of pedestrian flow evacuation from a multi-storey historical building in the event of fire applying safety engineering tools. *Journal of Cultural Heritage*, 41, 188-199.
- CFPA Europe, & Confederation of Fire Protection Associations Europe. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings - Guidelines No 19:2009. CFPA Europe, 19. [http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA\\_E\\_Guideline\\_No\\_19\\_2009.pdf](http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf)
- Chen, C., Liu, Y., Jiang, L., & Zhang, Y. Analysis and Optimization of Emergency evacuation in the Louvre.
- Chen, X., Kwan, M. P., Li, Q., & Chen, J. (2012). A model for evacuation

risk assessment with consideration of pre-and post-disaster factors. *Computers, environment and urban systems*, 36(3), 207-217.

□ Chen, Y., Wang, C., Li, H., Yap, J. B. H., Tang, R., & Xu, B. (2020). Cellular automaton model for social forces interaction in building evacuation for sustainable society. *Sustainable cities and society*, 53, 101913.ANPC.

□ Chen-Wei Chiu, Yu-Hsiu Li, Yi-Liang Shu, & Chi-Min Shu. (2015). Analysis of Evacuation Efficiency with Congestion Points in Large Sport Facilities. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9, 1229–1243. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.10.0>

□ Chu, H., Yu, J., Wen, J., Yi, M., & Chen, Y. (2019). Emergency evacuation simulation and management optimization in urban residential communities. *Sustainability*, 11(3), 795.

□ Cordeiro, C. C. M., & Marchetto, M. (2016). Plano de Evacuação em Edifícios Residenciais para Casos de Incêndio. *E&S Engineering and Science*, 5(2), 42–53. <https://doi.org/10.18607/es201654348>

□ Cotfas, L. A., Delcea, C., Iancu, L. D., Ioanăș, C., & Ponsiglione, C. (2022). Large event halls evacuation using an agent-based modeling approach. *IEEE Access*, 10, 49359-49384.

□ Dash, N., & Gladwin, H. (2007). Evacuation decision making and behavioral responses: Individual and household. *Natural hazards review*, 8(3), 69-77.

□ Delcea, C., Cotfas, L. A., Bradea, I. A., Boloș, M. I., & Ferruzzi, G. (2020). Investigating the exits' symmetry impact on the evacuation process of classrooms and lecture halls: An agent-based modeling approach. *Symmetry*, 12(4), 627.

- Governo Portugal. (2020). Portaria no 135/2020, de 2 de junho - Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra incêndio em edifícios (pp. 1–263). Diário República Eletrónico.
- Hu, J. J., Wu, H. Y., & Chou, C. C. (2022). Evacuation simulation in a cultural asset fire: Impact of fire emergency evacuation facilities for people with disabilities on evacuation time. *Fire*, 6(1), 10.
- Jafari, M., Bakhadyrov, I., & Maher, A. (2003). Technological advances in evacuation planning and emergency management: current state of the art.
- Jevtić, R. (2021). The Significance and Use of Simulation Software in Fire Protection. *PaKSoM 2021*, 289.
- Lee, A. (2022). Simulating Emergency Evacuation Response in an Auditorium Space.
- Li, Y., & Yu, J. (2021). Emerging applications of zeolites in catalysis, separation and host–guest assembly. *Nature Reviews Materials*, 6(12), 1156-1174.
- Lino, P., Maione, G., & Maione, B. (2009, July). Modeling and simulation of crowd egress dynamics in a discrete event environment. In *2009 IEEE Control Applications, (CCA) & Intelligent Control,(ISIC)* (pp. 843-848). IEEE.
- Lovas, G. G. (1998). On the importance of building evacuation system components. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 45(2), 181-191.
- Macatulad, E. G., & Blanco, A. C. (2014). 3DGIS-based multi-agent geosimulation and visualization of building evacuation using GAMA platform. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 87-91.

- Marzouk, M., & Hassan, F. (2022). Modeling evacuation and visitation proximity in museums using agent-based simulation. *Journal of Building Engineering*, 56, 104794.
- Matevski, A., & Nilsson, T. Evacuation from assembly halls containing loose and linked chairs, Aleksandar Matevski Tobias Nilsson Lund 2008
- Mattsson, T., & Umeh, E. (2022). Impact of Lecture Hall Layout on Evacuations Using Crowd Simulations.
- Mirahadi, F., & McCabe, B. (2020). EvacuSafe: building evacuation strategy selection using route risk index. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(2), 04019051.
- Nazali Mohd Noor, M., & Pitt, M. (2009). A critical review on innovation in facilities management service delivery. *Facilities*, 27(5/6), 211-228.
- Saunders, A., & Allen, L. (2002). *Credit risk measurement: new approaches to value at risk and other paradigms*. John Wiley & Sons.
- Spearpoint, M. I. C. H. A. E. L., & Xiang, X. I. A. O. X. I. N. G. (2011). Calculating evacuation times from lecture theatre type rooms using a network model. *Fire Safety Science*, 10, 599-612.
- Twycross, A., & Heale, R. (2018). What is a case study.
- Wagner, N., & Agrawal, V. (2014). An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster. *Expert Systems with Applications*, 41(6), 2807-2815.
- Wang, Y., Kyriakidis, M., & Dang, V. N. (2021). Incorporating human factors

in emergency evacuation—An overview of behavioral factors and models. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102254.

□ Wu, H. C., Huang, S. K., & Lindell, M. K. (2019). Evacuation planning. *The Routledge Handbook of Urban Disaster Resilience*, 206-222.

□ Wu, Y. T., Lin, C. P., Chang, C. H., & Lai, K. C. (2011). Uncertainty and risk analysis of collection evacuation model of national palace museum. *Procedia Engineering*, 14, 2567-2575.

□ Xiang, X. P. (2007). Predicting evacuation time from lecture theatre type rooms.

□ Zhang, L., Wang, Y., Shi, H., & Zhang, L. (2012). Modeling and analyzing 3D complex building interiors for effective evacuation simulations. *Fire Safety Journal*, 53, 1-12.



# Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Diogo Falcão

ISEP, Porto, 04 de julho de 2024



