



Ferramentas de Apoio à Decisão no Sector do Turismo para a Evacuação de Edifícios

ANDRÉ FILIPE DE OLIVEIRA FERREIRA

outubro de 2024

FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO NO SECTOR DO TURISMO PARA A EVACUAÇÃO DE EDIFÍCIOS

André Filipe Oliveira Ferreira

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,
Área de Especialização em
Sistemas de Planeamento Industrial**

Orientador: Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Cecília Maria do Rio Fernandes Moreira Reis, Professora Adjunta,
Departamento de Engenharia Eletrotécnica, 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

Professora Doutora Mónica Glória Cardoso, Professora Adjunta Convidada, Instituto Superior
de Engenharia do Porto

Resumo

A segurança de evacuação em edifícios hoteleiros é um fator crucial para garantir a proteção de clientes e funcionários em situações de emergência. O presente estudo teve como objetivo principal a análise e a melhoria do processo de evacuação de um hotel anônimo, com uma capacidade inicial de 200 pessoas, incluindo hóspedes e membros do staff. Para realizar esta análise, utilizou-se a simulação computacional através do software Pathfinder, que permitiu estudar diferentes cenários de evacuação e identificar as melhores estratégias para minimizar o tempo total de saída, a distância percorrida e o congestionamento durante o processo.

Foram avaliados múltiplos cenários, partindo do edifício original com todas as saídas disponíveis e, progressivamente, bloqueando acessos. O primeiro cenário, no qual todas as saídas de emergência estavam operacionais, apresentou os melhores resultados em termos de eficiência. Nesse cenário, a disponibilidade de quatro saídas de emergência demonstrou ser a melhor solução, proporcionando o melhor desempenho nos fatores críticos analisados.

Identificou-se que a única escadaria do hotel, que serve os cinco andares do edifício, representa um ponto crítico no processo de evacuação, causando estrangulamentos significativos em quase todos os cenários simulados. Diante disso, foi sugerida a implementação de melhorias na infraestrutura do hotel, como a instalação de um elevador de emergência e a construção de uma segunda escadaria. Esses elementos provaram ser extremamente eficazes, contribuindo significativamente para a redução do tempo de evacuação e dos congestionamentos, melhorando todos os parâmetros analisados.

Palavras-chave: Estratégias de Evacuação, Evacuação, Simulação, Simulação Computacional, Hotel, Segurança, Software Pathfinder, Simulação de Evacuação

Abstract

Evacuation safety in hotel buildings is a critical factor to ensure the protection of both guests and staff during emergency situations. The main objective of this study was to analyze and improve the evacuation process of an anonymous hotel, with an initial capacity of 200 people, including guests and staff members. To conduct this analysis, computer simulation using Pathfinder software was employed, enabling the study of different evacuation scenarios and identifying the best strategies to minimize total evacuation time, distance traveled, and congestion during the process.

Multiple scenarios were evaluated, starting with the original building where all exits were available and progressively blocking access points. The first scenario, in which all emergency exits were operational, yielded the best results in terms of efficiency. In this scenario, having four emergency exits available proved to be the best solution, providing optimal performance in the critical factors analyzed.

It was identified that the hotel's single staircase, which serves all five floors, represents a critical bottleneck in the evacuation process, causing significant delays in almost all simulated scenarios. As a result, improvements to the hotel's infrastructure were recommended, such as the installation of an emergency elevator and the construction of a second staircase. These elements proved to be highly effective, significantly reducing evacuation time and congestion, thus improving all analyzed parameters.

Keywords: Evacuation Strategies, Evacuation, Simulation, Computer Simulation, Hotel, Safety, Pathfinder Software, Evacuation Simulation

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu profundo agradecimento ao Professor Doutor Carlos Ramos Nunes Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela sua orientação incansável, empenho e dedicação ao longo de todo o processo de elaboração desta dissertação. A sua orientação foi crucial para o sucesso deste trabalho, e estou eternamente grato pelo seu apoio académico e pessoal.

Agradeço também à minha irmã, pelo apoio constante e pela ajuda inestimável na aquisição e formatação dos dados necessários para esta dissertação. O seu auxílio foi fundamental para a concretização deste projeto.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram incondicionalmente, não só ao longo desta dissertação, mas em todas as etapas da minha vida, o meu mais sincero agradecimento. O vosso amor, paciência e motivação foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Por fim, um especial agradecimento aos meus amigos, que, de diversas formas, estiveram ao meu lado, proporcionando-me momentos de descontração e incentivo nos momentos mais difíceis. A vossa amizade e apoio foram indispensáveis para superar os desafios desta jornada.

Índice

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xv
Acrónimos e Símbolos.....	xvii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Apresentação Caso de Estudo	3
1.4 Organização do Documento.....	3
2 Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 A Importância do Turismo para a Economia Portuguesa.....	5
2.2 Evacuação de Edifícios	6
2.2.1 Dinâmicas e Desafios na Evacuação de Edifícios.....	7
2.2.2 Estratégias na Evacuação de Edifícios.....	10
2.2.3 Estratégias de Evacuação Inclusivas	13
2.2.4 Etapas e Cronometragem no Processo de Evacuação	15
2.2.5 Tempo de Evacuação	16
2.2.6 Avaliação e Melhoria Contínua do Plano de Evacuação	19
2.2.7 Legislação e Normas Regulatórias.....	20
2.3 Ferramentas Smart de Apoio à Decisão no Setor do Turismo	22
2.3.1 Casos de Estudo de Ferramentas para a Evacuação de Edifícios	23
2.3.2 Simulação	29
3 Metodologia	39
3.1 Modelação do Hotel em Estudo	39
3.2 Estudo de Simulação	41
3.3 Análise de Estratégias de Evacuação	50
3.3.1 Proposta 1 - Edifício Original	51
3.3.2 Proposta 2 - Edifício Original	74
4 Resultados	89
4.1 Resultados do Edifício Original	89
4.1.1 Análise Resultados	90
4.1.2 Análise Resultados	91
4.2 Resultados Edifício Alterado.....	92
4.2.1 Cenário 6: 4 Portas, 1 Escada e 1 Elevador.....	92
4.2.2 Cenário 6: 4 Portas, 2 Escada e 1 Elevador.....	92
4.3 Comparação e Resultados Finais de Todos os Cenários	92

5	Conclusão	95
5.1	Conclusões e Contributos do Projeto	95
5.2	Dificuldades e Trabalhos Futuros	97
	Referências	99
	Declaração de Integridade	111

Lista de Figuras

Figura 1 – Planta do rés do chão.....	39
Figura 2 – Planta do primeiro andar	40
Figura 3 – Planta do segundo, terceiro, quarto e quinto andar.....	40
Figura 4 – Planta do Telhado.....	41
Figura 5 – Interface visual do Pathfinder	42
Figura 6 – Importação da planta do Hotel	42
Figura 7 – Ferramenta para movimentar e copiar padrões e objetos	43
Figura 8 – Resultado final após movimentação em altura e cópia dos andares em falta	43
Figura 9 – Criação dos andares e divisões.....	44
Figura 10 – Criação de portas.....	44
Figura 11 – Criação de Escadas	45
Figura 12 - Criação do elevador	46
Figura 13 - Obstáculos do edifício.....	47
Figura 14 – Menu para criação dos ocupantes	48
Figura 15 - Perfil aleatório gerado pelo Pathfinder	48
Figura 16 - Parametrização do comportamento do ocupante.....	49
Figura 17 - Parametrização de um grupo de movimentação.....	49
Figura 18 - Visualização 3D dos resultados da simulação	50
Figura 19 – Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com as quatro portas de saída do hotel disponíveis (cenário 1).....	52
Figura 20 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro principais portas de saída ao longo do tempo (cenário1)	53
Figura 21 - Vista 3D do bottleneck (cenário 1).....	55
Figura 22 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com as quatro portas de saída do hotel disponíveis (cenário 1).....	56
Figura 23 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a porta principal do hotel bloqueada (cenário 2)	57
Figura 24 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a porta principal do hotel bloqueada (cenário 2).....	58

Figura 25 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com três portas de saída disponíveis, considerando a porta principal do hotel bloqueada (cenário 2)	60
Figura 26 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a porta lateral do hotel bloqueada (cenário 3)	62
Figura 27- Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a porta lateral do hotel bloqueada (cenário 3)	63
Figura 28 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com três portas de saída disponíveis, considerando a porta lateral do hotel bloqueada(cenário 3).....	64
Figura 29 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com as saídas principais do hotel bloqueadas (cenário 4)	66
Figura 30- Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando as duas portas principais do hotel bloqueadas (cenário 4)	67
Figura 31 - Vista 3D do bottleneck (cenário 4).....	68
Figura 32 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com duas portas de saída disponíveis, considerando as duas portas principais do hotel bloqueadas (cenário 4).....	69
Figura 33 - Número de ocupantes por porta de saída disponível (Garagem 1 e 2) ao longo do tempo, considerando as duas portas principais do hotel bloqueadas (cenário 4).....	70
Figura 34 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com as saídas das garagens do hotel bloqueadas (cenário 5)	72
Figura 35 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando as duas portas das garagens do hotel bloqueadas (cenário 5)	73
Figura 36 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com duas portas de saída disponíveis, considerando as duas portas das garagens do hotel bloqueadas (cenário 5)	74
Figura 37– Edifício do Hotel com a inclusão de um elevador (cenário 6).....	75
Figura 38- Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a utilização do elevador de emergência (cenário 6)	76
Figura 39 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a utilização do elevador de emergência (cenário 6)	77
Figura 40- Número de ocupantes que utilizaram o elevador ao longo do tempo (cenário 6) ..	79
Figura 41- Vista 3D do bottleneck (cenário 6)	80
Figura 42- Número de ocupantes na escadaria ao longo do tempo, considerando a utilização do elevador de emergência (cenário 6)	81
Figura 43 - Edifício do Hotel com a inclusão de um elevador e uma escadaria adicional (cenário 7)	82
Figura 44- Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a utilização do elevador de emergência e das duas escadarias (cenário 7).....	83
Figura 45 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a utilização do elevador de emergência e das duas escadarias (cenário 7).....	84
Figura 46 - Número de ocupantes que utilizaram o elevador ao longo do tempo (cenário 7) .	85
Figura 47- Vista 3D do bottleneck (cenário 7)	86

Figura 48- Número de ocupantes nas duas escadarias ao longo do tempo, considerando também a utilização do elevador de emergência (cenário 7)	87
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tempos médios para tarefas específicas na evacuação de hotéis.....	16
Tabela 2- Tempos estimados de pré-movimentação (CFPA, 2009)	18
Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios.....	23
Tabela 4 - Vantagens e Desvantagens da Simulação	31
Tabela 5 – Casos de Estudo sobre Simulação na Evacuação de Hotéis	32
Tabela 6 - Casos de Estudo com Software Pathfinder	36
Tabela 7 - Resultado da simulação do Cenário 1	52
Tabela 8 - Resultado da simulação do Cenário 2	57
Tabela 9 - Resultado da simulação do Cenário 3	61
Tabela 10 - Resultado da simulação do Cenário 4	65
Tabela 11 - Resultado da simulação do Cenário 5	71
Tabela 12 - Resultado da simulação do Cenário 6	76
Tabela 13 - Resultado da simulação do Cenário 7	82
Tabela 14 – Ranking atribuído a cada cenário simulado utilizando o design e infraestrutura do Edifício do Hotel atual.....	91
Tabela 15 - Ranking atribuído a cada cenário simulado utilizando o design e infraestrutura do Edifício do Hotel com as alterações propostas	93

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ISEP	<i>Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
MEE-SEE	Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia
P. Porto	Instituto Politécnico do Porto

1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo ser introdutório à dissertação elaborada. Num primeiro tópico pretende-se contextualizar o tema abordado, realçando a sua pertinência. Em seguida, é delineada a questão de pesquisa e os objetivos da investigação, bem como se expõe a metodologia escolhida para esta investigação e o plano de pesquisa que fundamentaram este projeto. Por fim, é exibida a estrutura do trabalho.

1.1 Contextualização

Nos últimos anos, o mundo testemunhou um aumento alarmante no número e na intensidade das catástrofes naturais (IPCC, 2021). Desde sismos, furacões e incêndios, os eventos extremos da natureza estão se tornando cada vez mais frequentes e destrutivos. Este fenómeno levanta sérias preocupações sobre a capacidade da humanidade de se adaptar e atenuar os danos.

Para lidar com os riscos associados aos desastres naturais, deve-se ter em consideração três fases distintas: prevenção e preparação, resposta a emergências e reconstrução e reparação (Pascapurnama et al., 2018). Quando enfrentamos desastres naturais, a resposta eficaz pode fazer a diferença entre a vida e a morte. É fundamental estar preparado e agir rapidamente para minimizar os danos e proteger vidas (UNDRR, 2019).

Nomeadamente, diante desse cenário desafiador é imperativo adotar medidas eficazes de prevenção (UNDRR, 2019). Estar preparado antes do desastre ocorrer pode ajudar a reduzir o pânico e a maximizar o tempo de resposta durante uma emergência. Isso inclui a elaboração de planos de emergência detalhados e a identificação de rotas de fuga seguras (FEMA, 2020).

Durante um desastre natural, a resposta imediata é crucial. Evacuar áreas de risco é uma das medidas mais importantes para proteger vidas (CDC, 2019). Os planos de evacuação de edifícios desempenham um papel crucial na garantia da segurança das pessoas em situações de emergência. Esses planos são essenciais para facilitar uma resposta rápida e organizada, minimizando os riscos e protegendo a vida dos ocupantes do edifício.

Um dos principais benefícios dos planos de evacuação é a redução de danos materiais e lesões pessoais durante uma emergência (NFPA, 2020). Ao estabelecer rotas de fuga claras e procedimentos de evacuação bem definidos, os ocupantes do edifício podem sair de maneira rápida e segura, evitando áreas perigosas e minimizando o risco de ferimentos graves. Assim, os planos de evacuação proporcionam organização e eficiência durante uma evacuação de emergência (FEMA, 2020).

Mais especificamente, a evacuação de um edifício turístico durante uma situação de emergência apresenta uma série de desafios únicos, que aumentam a complexidade e o potencial de problemas durante uma evacuação, complicando a resposta eficaz e a segurança dos hóspedes e funcionários (Hosseini et al., 2020).

Os edifícios do setor do turismo frequentemente têm layouts complexos, com vários andares, corredores longos e muitas divisões, o que pode dificultar a evacuação rápida e eficiente em caso de emergência (Hwang et al., 2019). Além disso, a densidade populacional de um hotel pode ser significativamente alta, com centenas ou até milhares de hóspedes e funcionários presentes ao mesmo tempo, mas também é variável, tornando mais difícil de prever o número de turistas presentes no edifício (Chung et al., 2020).

Em resposta a estes desafios, torna-se pertinente a utilização de modelos de simulação como ferramentas de apoio à decisão na evacuação de edifícios do setor turístico.

A criação de modelos de simulação de evacuação de edifícios é uma ferramenta crucial para avaliar e aprimorar a segurança em situações de emergência. Esses modelos permitem uma análise detalhada do processo de evacuação, identificando potenciais problemas e áreas de melhoria dos planos de evacuação existentes (Paulsen et al., 2015).

A simulação de evacuação é uma técnica eficaz para estudar o comportamento humano e os padrões de movimento em situações de crise (Takabatake et al., 2020). Ao criar um modelo virtual do edifício e dos ocupantes, é possível simular cenários de evacuação sob diferentes condições, como incêndios, sismos ou ameaças de bomba.

Desta forma, a simulação de evacuação permite testar diferentes estratégias de evacuação e cenários de emergência sem colocar os ocupantes do edifício em risco (Sá et al., 2022). Isto torna-se especialmente importante em edifícios turísticos pelas especificidades referidas acima.

Atendendo ao contexto exposto, este trabalho torna-se pertinente para a melhoria contínua do processo de evacuação do edifício em estudo.

1.2 Objetivos

O projeto apresentado pretende dar resposta à questão de investigação: de que forma é possível melhorar o processo de evacuação de um hotel, contribuindo para garantir o aumento da segurança e proteção dos hóspedes e funcionários, bem como para a diminuição do tempo de evacuação em caso de ocorrência de emergências?

Para este fim, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Análise de diferentes estratégias de evacuação através de um simulador;
- Realização de um modelo de simulação para um edifício hoteleiro;
- Análise e comparação de várias simulações realizadas;
- Proposta de uma estratégia de evacuação.

1.3 Apresentação Caso de Estudo

Para alcançar o objetivo acima apresentado, realizou-se um estudo de caso para um edifício hoteleiro. Foi solicitada a colaboração de um hotel para a realização do estudo de caso e análise de dados. No entanto, a instituição hoteleira envolvida expressou o desejo de manter o seu anonimato, pelo que todas as referências diretas ao nome do hotel serão omitidas, respeitando assim a confidencialidade solicitada.

Sem prejuízo do supracitado, importa informar que o hotel usado no estudo de caso é um edifício de seis andares. No rés do chão situa-se o estacionamento e o restaurante. No primeiro andar depara-se com a receção e o bar. Os restantes andares são compostos por quartos, que se encontram distribuídos de igual forma em cada andar.

1.4 Organização do Documento

A presente dissertação é composta por 5 capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Conclusão.

Na introdução, apresenta-se o tema da pesquisa, delinea o problema em questão e justifica-se a sua relevância. Além disso, apresenta as questões de pesquisa e define os objetivos do estudo. Esta seção também fornece uma visão geral da estrutura da dissertação.

A revisão da literatura contextualiza teoricamente o tema, fornecendo uma análise crítica das principais contribuições académicas relacionadas. Esta seção estabelece o enquadramento teórico que orientará o projeto e consequente análise.

Na metodologia são descritos detalhadamente os métodos e técnicas utilizados na pesquisa. Também se justifica a escolha desses métodos e descreve-se os procedimentos de análise.

No capítulo sobre os resultados da pesquisa, estes são apresentados de forma objetiva, mostrando não só os dados coletados, mas também são discutidos em relação às questões de pesquisa.

No capítulo seguinte, realiza-se uma análise mais pormenorizada e crítica dos resultados obtidos, através da sua interpretação à luz da revisão da literatura. Implicações teóricas e práticas são exploradas. Além disso são discutidas as limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

A conclusão resume os principais resultados da pesquisa, respondendo às questões de pesquisa. Por fim, reflete-se sobre a contribuição do estudo para o conhecimento na área e sugere-se aplicações práticas ou direções para pesquisas futuras.

Todas as referências utilizadas ao longo desta dissertação encontram-se listadas no final do documento.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 A Importância do Turismo para a Economia Portuguesa

As viagens surgem como forma do ser humano “fugir ao stress diário, para enriquecimento cultural, por simples curiosidade ou por motivos profissionais”. Estas necessidades estão tão enraizadas na nossa cultura que se fala no nascimento de um novo Homem: “*o Homo turisticus ou Homo viajor*” (Luís, E., 2002). Apesar do turismo não ser um fenómeno recente, é apenas no século XX que este é considerado uma atividade economicamente relevante (Cunha, 1997).

Atualmente, é um dos seus principais setores a nível mundial, reconhecido pelo seu impacto multiplicador ao nível económico, social, cultural e ambiental (Goeldner et al, 2018). O investimento no setor do Turismo surge como estratégia que contribui para o crescimento do produto interno bruto (PIB) e das exportações, mas também contribui para o equilíbrio da balança comercial, favorece o emprego e traz receitas fiscais adicionais. Deste modo, é uma influência positiva sobre a economia como um todo (Webster & Ivanov, 2014)

Mais concretamente este setor beneficia em particular os países pequenos com privilégios de localização geográfica, como é o caso de Portugal. Nos últimos anos, Portugal tem sido reconhecido como um destino turístico de renome internacional devido à sua rica história, paisagens deslumbrantes, cultura vibrante e gastronomia única. Disto é evidência o facto do setor do Turismo de Portugal ter vindo a ser reconhecido e premiado em diversas ocasiões. Nomeadamente, Portugal tem sido consistentemente reconhecido com os prémios da World Travel Awards em várias categorias, incluindo "Melhor Destino Europeu", "Melhor Destino de Praia" e "Melhor Destino Insular". Esses prémios são votados por profissionais do setor e consumidores de viagens em todo o mundo (WTA, 2024).

Por conseguinte, o turismo desempenha um papel crucial na economia portuguesa, contribuindo significativamente para o crescimento económico, a geração de empregos e o desenvolvimento das regiões (Webster & Ivanov, 2014).

De acordo com dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), o turismo representa uma parte substancial do Produto Interno Bruto (PIB) de Portugal. No seu relatório sobre Estatísticas do Turismo – 2022, estimam que a atividade turística tenha gerado um contributo direto e indireto de 29,2 mil milhões de euros para o PIB em 2022, o que corresponde a 12,2% (7,8% em 2021 e 6,6% em 2020). Segundo Gonçalves et al. (2019), o setor do turismo contribuiu com cerca de 15% para o PIB nacional em 2018, evidenciando a sua importância como um motor chave da economia portuguesa.

Além disso, o turismo desempenha um papel vital na criação de empregos em Portugal. De acordo com o relatório do World Travel & Tourism Council (WTTC) de 2020, o setor do turismo empregava aproximadamente 1,1 milhões de pessoas, representando cerca de 20% do total de empregos no país.

O crescimento do turismo também tem implicações positivas para o desenvolvimento das regiões, tanto a nível urbano como rural. Segundo Carvalho et al. (2018), o turismo contribui para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais, promovendo investimentos em infraestruturas, preservação do património cultural e conservação do meio ambiente. Além disso, o turismo pode ajudar a combater a sazonalidade económica, fornecendo oportunidades de negócios durante todo o ano em destinos turísticos menos tradicionais.

Com um enfoque adequado na promoção, gestão e sustentabilidade, Portugal pode continuar a beneficiar dos dividendos do turismo e consolidar a sua posição como um dos principais destinos turísticos do mundo. Assim, políticas públicas eficazes e investimentos contínuos são essenciais para maximizar os benefícios económicos e sociais do turismo em Portugal, garantindo ao mesmo tempo a sua sustentabilidade a longo prazo (Gonçalves et al., 2019). Para tal foi desenvolvido o projeto “Estratégia para o Turismo 2027”, o qual tem como principal objetivo proporcionar um quadro referencial estratégico a 10 anos para o turismo nacional (Araújo et al., 2017).

2.2 Evacuação de Edifícios

A evacuação de edifícios em situações de emergência é um componente crucial da gestão de segurança em qualquer estrutura habitada. Este processo envolve a movimentação organizada de pessoas de áreas de perigo para locais seguros, seja em resposta a incêndios, desastres naturais ou outras ameaças iminentes. A eficácia de uma evacuação pode significar a diferença entre a vida e a morte, tornando essencial um planeamento cuidadoso e a implementação de medidas de segurança adequadas.

A complexidade da evacuação de edifícios varia conforme a estrutura arquitetónica, a ocupação do edifício, a natureza da emergência e a condição física e psicológica dos ocupantes. Dada a diversidade de variáveis envolvidas, a preparação para a evacuação de edifícios torna-se um desafio multidisciplinar que exige conhecimento técnico, compreensão comportamental e coordenação eficaz.

Este capítulo visa explorar os diversos aspectos da evacuação de edifícios, abordando desde a dinâmica e desafios associados ao movimento de pessoas em situações de emergência até as estratégias para otimizar a segurança através de uma evacuação eficiente. Serão discutidos os componentes críticos para uma evacuação segura, incluindo a infraestrutura do edifício, as tecnologias de suporte à evacuação e as práticas de treinamento para os ocupantes. Hu et al. (2018) sublinham a necessidade de considerar as características específicas de cada edificação e as condições humanas durante o planejamento das evacuações, destacando a importância de adaptar os planos de evacuação para responder eficazmente às diversas variáveis que podem influenciar o processo.

Ao compreender profundamente cada etapa do processo de evacuação e ao antecipar os desafios potenciais, os responsáveis pela segurança podem desenvolver planos de evacuação robustos e flexíveis, capazes de adaptar-se a diferentes cenários de emergência, garantindo assim a segurança e o bem-estar de todos os ocupantes.

2.2.1 Dinâmicas e Desafios na Evacuação de Edifícios

A evacuação de edifícios em emergências apresenta um desafio complexo que abrange múltiplas variáveis e dinâmicas. Este processo não se resume apenas a mover pessoas de um ponto para outro; é influenciado por uma série de fatores que incluem as características físicas do edifício, o comportamento humano sob stress e as condições específicas da emergência (Pelechano & Malkawi, 2008; Chen, 2012).

2.2.1.1 Condições Específicas de Emergência

Um dos principais desafios na evacuação de edifícios é a diversidade de cenários possíveis que podem desencadear uma evacuação, como incêndios, sismos, ameaças de bomba ou ataques terroristas. Cada cenário possui características únicas que afetam a forma como a evacuação deve ser conduzida. Por exemplo, a evacuação durante um incêndio não apenas exige a rápida saída das pessoas, mas também considera a presença de fumaça, que pode obstruir as vias de evacuação e reduzir a visibilidade (Kuo Lin, Chuang & Hsiao, 2022).

Assim sendo, o ambiente no momento da evacuação pode ter um papel significativo na eficácia do processo. Condições como fumo, escuridão, ou mesmo o tempo meteorológico, como chuva intensa ou neve, podem complicar a evacuação. O fumo e a escuridão podem reduzir a visibilidade, tornando difícil para os ocupantes identificar as saídas de emergência ou seguir as rotas corretas. Além disso, condições meteorológicas adversas no exterior podem desencorajar ou retardar os ocupantes de sair rapidamente do edifício, particularmente se a evacuação levar a áreas externas expostas. Estas condições não só aumentam o tempo necessário para evacuar, mas também podem aumentar o risco de acidentes ou comportamentos inadequados durante o processo de evacuação. Assim, o condicionamento ambiental deve ser considerado como uma variável significativa que pode influenciar de forma substancial o tempo total de evacuação [Gwynne et al., 1999; Canter et al., 1980].

2.2.1.2 Comportamento Humano

O comportamento humano durante a evacuação de edifícios é um elemento crítico que desempenha um papel crucial no processo de evacuação e influencia diretamente a eficácia de qualquer plano de emergência. Em situações de emergência, as reações das pessoas podem variar significativamente. Estudos como o de Trivedi e Rao (2018) ressaltam a importância de compreender e antecipar essas reações para desenvolver estratégias de evacuação mais eficazes.

Vários autores têm descrito fatores relacionados com o comportamento humano que precisam ser controlados ou levados em consideração durante o estudo do tempo global de evacuação de um edifício para garantir que os resultados sejam precisos e reflitam as condições reais de uma evacuação. Destes fatores importa realçar os seguintes:

- **Pré-Movimentação:** refere-se ao período de tempo que decorre entre o momento em que os ocupantes percebem uma situação de emergência e o início efetivo da sua evacuação. Este intervalo pode ser significativamente influenciado por diversos fatores, como o estado de alerta dos ocupantes, a clareza das instruções fornecidas, e a familiaridade com o ambiente. Por exemplo, um hóspede de um hotel que está a dormir ou a realizar atividades pessoais pode demorar mais tempo a reagir a um alarme do que alguém que esteja acordado e em estado de alerta. Além disso, o comportamento psicológico, como a tendência para subestimar a gravidade da situação ou acreditar que o alarme pode ser falso, conhecido como "normalcy bias", pode prolongar o tempo de pré-movimentação. Ignorar a variável de pré-movimentação nas simulações de evacuação pode levar a uma subestimação dos tempos reais de evacuação, comprometendo a precisão das previsões e, potencialmente, a segurança dos ocupantes (Gwynne & Boswell, 2016; Kuligowski, 2011; Proulx & Reid, 2006).
- **Estado Emocional:** as reações variam amplamente entre os indivíduos, durante um episódio de evacuação. Algumas pessoas podem entrar em pânico, o que pode levar a comportamentos desordenados, como correr sem direção ou empurrar outras pessoas, criando bloqueios nas rotas de evacuação. Outros podem congelar ou hesitar, retardando a sua resposta inicial à evacuação. A confusão ou o medo podem levar a decisões erradas, como escolher caminhos mais longos ou menos seguros, ou até mesmo ignorar as instruções de evacuação. Portanto, este fator pode distorcer significativamente os tempos de evacuação previstos, uma vez que estes cenários não são facilmente replicáveis em simulações computacionais [Smith e Jones, 2018; Galea et al., 2017].
- **Condicionamento físico:** ocupantes com mobilidade reduzida, como idosos, pessoas com deficiências físicas ou aqueles com crianças pequenas, podem levar mais tempo a percorrer as distâncias necessárias para alcançar as saídas de emergência. Se as simulações não considerarem estas diferenças de mobilidade, os tempos de evacuação calculados podem subestimar o tempo real necessário para evacuar todo o edifício. Além disso, a necessidade de assistência para certos indivíduos, como cadeiras de rodas ou ajuda para descer escadas, pode

criar pontos de congestão nas rotas de evacuação, aumentando o tempo total necessário para evacuar o edifício [Kobes et al., 2010; Sime, 1985].

- **Comportamento de grupos:** em situações de emergência, as pessoas tendem a querer permanecer juntas, especialmente se estão acompanhadas por familiares ou amigos. Este comportamento pode resultar em aglomerações e em dificuldades para avançar através de portas ou corredores estreitos, o que pode causar atrasos significativos. Além disso, os grupos podem esperar uns pelos outros, retardando a evacuação, ou mesmo tomar decisões erradas de forma coletiva, como optar por uma rota de evacuação menos eficaz. O comportamento de grupos não é fácil de prever e pode variar amplamente de situação para situação, o que significa que as simulações que assumem um comportamento individualizado podem não refletir com precisão o tempo total de evacuação em cenários reais [Averill et al., 2005; Johnson et al., 1994].
- **Dinâmicas de Multidões:** em situações de pânico, as pessoas tendem seguinte a multidão, o que pode levar tanto a evacuações eficientes como a situações perigosas de superlotação e bloqueios em saídas (Pelechano & Badler, 2006). O comportamento da multidão durante emergências é complexo e pode variar drasticamente dependendo de vários fatores, incluindo o tipo de emergência, a configuração do edifício e a demografia dos ocupantes. O reconhecimento dos padrões de movimento da multidão é vital para a prevenção de situações de risco. A modelagem de comportamento de multidões, incorporando líderes treinados e seguindo comportamentos de liderança, pode ajudar a orientar as pessoas de maneira mais organizada e segura para as saídas durante uma evacuação (Pelechano & Badler, 2006). Além desta estratégia, existem outras eficazes na gestão de multidões, tais como o uso de sinalização clara e acessível, e a educação e treinamento regulares de todos os ocupantes do edifício. Assim sendo, a implementação de estratégias de gestão de multidões é crucial para a segurança durante evacuações. É importante que estas estratégias considerem fatores psicológicos e sociais, que podem influenciar significativamente o comportamento humano em situações de emergência (Ronchi, 2016).

2.2.1.3 Características Físicas do Edifício

Outra questão fundamental é a concepção arquitetónica dos edifícios, que pode facilitar ou dificultar a evacuação. Wei et al. (2023), considera que a disposição das saídas de emergência, a sinalização adequada e a capacidade de suportar grandes fluxos de pessoas são aspetos críticos que precisam ser considerados já na fase de planeamento e design dos edifícios.

O design do edifício deve facilitar o fluxo natural de pessoas e evitar gargalos e outros problemas de design que possam impedir uma evacuação rápida e segura. Estudos têm mostrado que alterações no layout dos edifícios, como a ampliação de saídas e a melhoria da sinalização, podem ter um impacto significativo na eficácia das evacuações (Zheng et al., 2009).

Contudo, mesmo com um design cuidadoso, a presença de obstáculos imprevistos pode comprometer a eficácia das rotas de evacuação. Disto é exemplo o mobiliário mal colocado,

itens pessoais deixados nos corredores, ou até portas que se fechem incorretamente. Por conseguinte, estes obstáculos representam barreiras inesperadas que não são contempladas nas simulações iniciais de evacuação. A presença destes obstáculos pode forçar os ocupantes a desviar-se das rotas previstas, prolongando o tempo necessário para evacuar o edifício. Em situações extremas, os obstáculos podem bloquear completamente certas rotas, obrigando os ocupantes a procurar saídas alternativas, o que pode gerar confusão e sobrecarregar outras saídas de emergência, conforme apontado por Proulx (2002) e Bryan (2008).

A complexidade da evacuação de edifícios é ainda acentuada pela necessidade de coordenação entre diferentes entidades, como bombeiros, polícia e serviços médicos, além dos próprios ocupantes do edifício. A comunicação eficaz entre todas as partes envolvidas é essencial para garantir uma evacuação bem-sucedida (Sagun et al., 2014).

Para enfrentar esses desafios, a adoção de tecnologias avançadas e a realização de simulações de evacuação tornam-se ferramentas valiosas. As simulações permitem identificar potenciais gargalos e áreas de risco, além de testar a eficácia de diferentes estratégias de evacuação (Wu & Huang, 2015; Wei et al., 2023). Além disso, o treinamento regular dos ocupantes do edifício para emergências é fundamental para garantir que todos saibam como agir de forma adequada quando necessário (Sagun et al., 2014).

2.2.2 Estratégias na Evacuação de Edifícios

As principais estratégias de evacuação em edifícios altos foram amplamente investigadas e resumidas em diversos estudos, como revelam Ronchi e Nilsson (2013) e Ding et al., (2021). Estes estudos enfatizam a complexidade e a necessidade de abordagens específicas para a evacuação segura em cenários de alta densidade e múltiplos pisos. Aqui estão, em resumo, algumas das estratégias mais enfatizadas: evacuação rápida e segura para todos os ocupantes (Santos e Pereira, 2018).

- **Design Arquitetónico e Infraestrutura de Segurança:** O design arquitetónico desempenha um papel fundamental na facilitação da evacuação segura e eficiente. O número e a disposição das saídas de emergência, a largura dos corredores e escadas, e a sinalização clara são aspetos críticos que devem ser considerados. A influência do número de saídas de emergência em uma evacuação rápida de um edifício é fundamental para a segurança e eficiência no caso de uma emergência. Quanto maior o número de saídas disponíveis, mais rapidamente as pessoas conseguem deixar o local, pois há uma melhor distribuição do fluxo de evacuação, reduzindo a possibilidade de congestionamento. Além do número de saídas, a localização estratégica dessas saídas é um fator igualmente importante. Quando as saídas de emergência estão bem distribuídas pelo edifício, especialmente próximas a áreas de grande circulação, como escadas e corredores principais, a evacuação tende a ser mais eficiente. Isso permite que as pessoas escolham a rota mais curta e menos congestionada, diminuindo o tempo total de evacuação (Silva e Moura, 2019). Por outro lado, saídas localizadas em pontos de difícil acesso ou muito afastadas podem causar aglomerações nas áreas centrais, dificultando

a fuga. Em edifícios com poucas ou mal distribuídas saídas de emergência, o tempo de evacuação tende a ser maior, pois muitas pessoas se dirigem às mesmas rotas de fuga, o que pode causar engarrafamentos e aumentar o risco de pânico e acidentes. Um número maior de saídas e a sua distribuição adequada oferecem múltiplas opções, permitindo que as pessoas se dispersem mais eficientemente, diminuindo a densidade em cada rota (Lopes et al., 2017). Saídas bem distribuídas por todos os andares e áreas do edifício aumentam as chances de uma evacuação rápida e segura para todos os ocupantes (Santos e Pereira, 2018).

- **Sistemas de Alerta e Comunicação:** A eficácia dos sistemas de alerta e comunicação é vital para garantir que todos os ocupantes sejam prontamente informados sobre a necessidade de evacuação e recebam instruções claras sobre como proceder. Os sistemas de orientação, como sinais luminosos, alarmes sonoros ou mesmo instruções de evacuação transmitidas por funcionários, são cruciais para uma evacuação eficiente. No entanto, se estes sistemas falharem, os ocupantes podem não ser capazes de identificar rapidamente as rotas de saída, especialmente em condições de baixa visibilidade ou em áreas complexas. A ausência de orientação clara pode levar a atrasos, à confusão e até ao uso de rotas inadequadas ou perigosas. Em alguns casos, a falha nos sistemas pode resultar em pânico, agravando ainda mais o caos e o tempo necessário para evacuar o edifício. [Hunt et al., 2014; Kuligowski, 2013]. Conforme estudo de Bernardini et al. (2016), os sistemas inteligentes de orientação para evacuação podem melhorar significativamente a segurança sem alterar as características arquitetônicas dos edifícios históricos, sugerindo caminhos dinâmicos de evacuação com base no comportamento humano observado durante a evacuação. Gerges et al. (2022) destacam a importância dos smartphones durante a evacuação de edifícios residenciais altos, permitindo que as instruções de evacuação personalizadas sejam enviadas diretamente para os dispositivos dos ocupantes, facilitando uma evacuação mais rápida e segura.

- **Planeamento e Treinamento de Evacuação:** O planeamento prévio e o treinamento regular de evacuação são essenciais para preparar os ocupantes para agir rapidamente e de maneira organizada em caso de emergência. Bahrami et al. (2021) realçam a necessidade de considerar os comportamentos humanos, influenciados pelo ambiente arquitetónico, e a importância de um design resiliente de vias de evacuação para uma gestão eficaz das evacuações.

- **Tecnologias Emergentes:** A adoção de tecnologias emergentes, como sistemas inteligentes de gestão de emergências e aplicativos móveis de comunicação, pode oferecer meios inovadores para melhorar a segurança durante a evacuação. A investigação de Bi e Gelenbe (2019) explora os sistemas de evacuação de emergência e as tecnologias de informação e comunicação, incluindo *IoT*, que têm um impacto significativo no cálculo de reações dinâmicas que mitigam ou previnem os piores resultados dos desastres. O uso de tecnologias avançadas pode melhorar significativamente a gestão de evacuações. Sistemas baseados em realidade virtual, por exemplo, têm sido usados para simular evacuações e treinar ocupantes para reagir adequadamente durante emergências (Lin et al., 2020). Além disso, a implementação de sistemas de deteção e alerta em tempo real pode ajudar a orientar as

multidões de forma mais eficiente, minimizando os riscos e melhorando as taxas de sucesso da evacuação.

2.2.2.1 Componentes das Estratégias de Evacuação

As estratégias de evacuação de edifícios utilizam vários componentes essenciais para garantir a segurança e eficiência durante emergências. Estes componentes são fundamentais para o sucesso de qualquer plano de evacuação, adaptando-se às características específicas do edifício e às necessidades dos seus ocupantes. De acordo com Kulkarni e Agashe (2016), várias estratégias de evacuação podem ser concebidas utilizando um ou mais componentes de evacuação. Os componentes detalhados no seu estudo incluem:

- **Escadas:** constituem o componente mais tradicional e amplamente utilizado em planos de evacuação. As escadas são projetadas para suportar um grande fluxo de pessoas simultaneamente e devem cumprir rigorosas normas de segurança e acessibilidade. Em edifícios de múltiplos andares, as escadas são muitas vezes complementadas com sinalização clara e iluminação de emergência para facilitar a evacuação mesmo em condições de baixa visibilidade. É crucial que as escadas sejam mantidas desobstruídas e prontas para uso a qualquer momento, uma vez que são a rota de evacuação primária em muitas emergências.
- **Elevadores de Evacuação:** São especialmente valiosos em edifícios altos, onde a evacuação utilizando apenas escadas pode ser extremamente desafiadora e demorada. Os elevadores de evacuação são desenhados para funcionar durante emergências, como incêndios, sendo capazes de operar em condições onde elevadores normais seriam desativados. Estes elevadores são equipados com sistemas de energia de emergência e proteção contra fogo, permitindo que continuem a funcionar mesmo quando o resto do edifício está sem energia. A utilização de elevadores de evacuação pode ser crucial para assistência a pessoas com mobilidade reduzida, idosos, e outros que possam ter dificuldades em descer rapidamente pelas escadas.
- **Pontes de Céu (*Sky Bridges*):** oferecem uma rota de evacuação inovadora e eficaz em complexos de edifícios onde múltiplas estruturas estão próximas umas das outras. Estas pontes permitem que os ocupantes passem de um edifício para outro sem ter que descer ao nível do solo, o que pode ser especialmente útil se a saída de um edifício estiver bloqueada ou comprometida. Além disso, em áreas urbanas densas, as *sky bridges* podem proporcionar rotas de evacuação adicionais que ajudam a dispersar a população de um edifício mais rapidamente e a reduzir o congestionamento nas saídas tradicionais.
- **Áreas de Refúgio:** São espaços seguros dentro de um edifício, projetados para oferecer proteção temporária quando a evacuação imediata não é possível. Estas áreas são tipicamente equipadas com sistemas de supressão de incêndios, ventilação de emergência e comunicação direta com serviços de resgate. As áreas de refúgio são fundamentais em edifícios altos ou em estruturas com ocupantes que possam não ser capazes de evacuar rapidamente devido a

limitações físicas ou médicas. Elas proporcionam um local seguro onde os ocupantes podem aguardar por socorro ou até que seja seguro continuar a evacuação.

A implementação eficaz destes componentes requer uma análise cuidadosa do design do edifício, das características da população e das potenciais ameaças. A integração destes elementos em um sistema de evacuação inteligente e adaptativo pode significativamente aumentar as chances de uma evacuação segura e ordenada em situações de emergência.

Em suma, a evacuação de edifícios é um processo multifacetado que exige um planejamento cuidadoso e a colaboração de todos os envolvidos. Ao entender as dinâmicas e desafios associados a este processo, é possível desenvolver estratégias mais eficientes e seguras para proteger vidas em situações de emergência.

2.2.3 Estratégias de Evacuação Inclusivas

A inclusão em planos de evacuação de emergência é crucial para garantir a segurança de todos os ocupantes de um edifício, incluindo aqueles com necessidades especiais, como pessoas com deficiência, idosos e crianças. Este subcapítulo discute as estratégias de evacuação inclusivas, focando em adaptações e práticas que considerem as necessidades destes grupos durante uma emergência.

2.2.3.1 Adaptações para Pessoas com Deficiência

Pessoas com deficiência enfrentam desafios únicos durante as evacuações de emergência, que podem incluir limitações de mobilidade, visuais, auditivas ou cognitivas. A inclusão eficaz dessas pessoas nos planos de evacuação exige uma abordagem multifacetada que abranja tecnologia, treinamento e design arquitetônico:

- **Tecnologia e Auxílios à Evacuação:** O uso de tecnologias assistidas é fundamental para apoiar a evacuação de pessoas com deficiência. Sistemas de alerta visual e tátil são essenciais para aqueles com deficiências auditivas e visuais, respectivamente. Além disso, a implementação de sistemas de comunicação que utilizam linguagem clara e acessível pode ajudar a garantir que as instruções de evacuação sejam compreendidas por todos, incluindo aqueles com deficiências cognitivas (Manley & Kim, 2012).
- **Design e Acessibilidade do Edifício:** As características de design dos edifícios devem facilitar uma evacuação segura para todos. Isto inclui a instalação de rampas, portas largas e elevadores de emergência que possam ser utilizados mesmo durante um incêndio. Corredores e passagens devem ser desobstruídos e suficientemente largos para acomodar cadeiras de rodas (Vershinin et al., 2023).

2.2.3.2 Considerações para Idosos

Idosos podem ter mobilidade reduzida, menor capacidade de resposta e outras condições médicas que necessitam de consideração especial durante uma evacuação. Estratégias específicas incluem:

- **Evacuação Assistida:** Em muitos casos, os idosos beneficiam de evacuação assistida, o que implica o suporte direto de pessoal treinado. Este apoio pode variar desde a ajuda física até à orientação direta através de rotas de evacuação (McGuire et al., 2007).
- **Alocação de Tempo Adicional:** Planos de evacuação devem considerar a alocação de tempo adicional para idosos, permitindo que eles evacuem de forma segura sem pressão ou estresse desnecessário.

2.2.3.3 Protocolos para Crianças

Evacuar crianças, especialmente em ambientes escolares, requer protocolos claros e exercícios de treinamento regulares para garantir que tanto os educadores quanto os alunos saibam o que fazer em caso de emergência:

- **Treinamento e Simulacros:** As escolas devem realizar exercícios de evacuação regularmente para ensinar as crianças sobre como reagir em diferentes cenários de emergência. Estes treinos ajudam a reduzir a ansiedade e a aumentar a familiaridade com as rotas de evacuação (Vershinin et al., 2023).
- **Sistemas de Alerta Adaptados:** Considerando as diferentes necessidades de compreensão, sistemas de alerta adaptados para crianças, incluindo sinais visuais coloridos e mensagens de áudio claras, são essenciais para facilitar uma evacuação eficaz (Proulx, 1995).

2.2.3.4 Treinamento e Educação

A capacitação contínua de todos os ocupantes, incluindo exercícios práticos e informação sobre as necessidades especiais de indivíduos com deficiência, idosos e crianças, é vital. Estes treinamentos devem ser inclusivos, abrangendo todos os aspetos das necessidades durante uma emergência.

A implementação de estratégias de evacuação inclusivas não só cumpre com as obrigações legais e éticas de proteção a todos os indivíduos, mas também promove um ambiente mais seguro e preparado para enfrentar qualquer tipo de emergência.

2.2.4 Etapas e Cronometragem no Processo de Evacuação

O processo de evacuação de edifícios, em emergências, exige uma abordagem metódica e bem planejada para assegurar a segurança dos ocupantes. Este capítulo explora as etapas cruciais e a cronometragem associada a uma evacuação eficaz, apoiando-se em estudos e análises recentes sobre o tema.

2.2.4.1 Início da Evacuação: Detecção e Alarme

A fase inicial de qualquer plano de evacuação começa com a detecção rápida da emergência e a ativação eficiente dos sistemas de alarme. Wang et al. (2012) enfatizam a importância da simulação computacional para avaliar a eficácia dos sistemas de detecção e alarme, usando ferramentas como o DEVS para testar e otimizar a localização dos detetores e a sonoridade dos alarmes, assegurando que todos os ocupantes sejam alertados em tempo hábil para iniciar a evacuação.

2.2.4.2 Decisão de Evacuar e Preparação

Após a detecção e o alarme, os ocupantes devem tomar a decisão crítica de evacuar. Kuo et al., (2018) destacam a utilidade de sistemas de simulação baseados em nuvem no treinamento para evacuação, onde simulações interativas podem preparar os ocupantes para tomar decisões rápidas, minimizando hesitações e melhorando o tempo geral de resposta durante uma emergência real.

2.2.4.3 Movimento até às saídas de Emergência

O deslocamento dos ocupantes até as saídas de emergência é uma das etapas mais críticas do processo de evacuação. Dimakis et al. (2010) abordam a elaboração de simuladores distribuídos de evacuação que consideram a distribuição e a acessibilidade das saídas, bem como a capacidade de carga das rotas de evacuação. A análise detalhada do fluxo de pessoas, utilizando simulações, é vital para identificar e mitigar possíveis pontos de congestionamento.

2.2.4.4 Saída do Edifício e Reunião em Áreas de Segurança

A última etapa envolve a saída efetiva do edifício e a reunião dos evacuados em áreas pré-determinadas de segurança. Lorusso et al. (2022) salientam a importância de considerar os fatores humanos e comportamentais que podem influenciar a velocidade e a ordem da evacuação, onde o conhecimento prévio das rotas de evacuação e das áreas de reunião, reforçado por treinamentos regulares, é crucial para a eficiência desta etapa.

2.2.4.5 Cronometragem e Otimização

A cronometragem é um aspecto fundamental em todas as etapas do processo de evacuação. Tissera et al. (2007) exploram a importância da eficiência temporal na evacuação e no resgate em ambientes variados. A otimização do tempo de evacuação não só contribui para a segurança dos ocupantes, como também para a eficácia das operações de resgate e controle de incêndios.

Segue a Tabela 1 detalhada dos tempos médios para tarefas específicas relacionadas com a evacuação de edifícios, especialmente hotéis:

Tabela 1 - Tempos médios para tarefas específicas na evacuação de hotéis

Tarefa Específica	Tempo Médio	Citação
Alerta e reconhecimento inicial	30-120 segundos	Chen et al. (2004)
Reação e decisão de evacuar	60-180 segundos	Zhang et al. (2021)
Preparação antes da evacuação	1-3 minutos	G. Proulx (1995)
Deslocamento até a saída	2-5 minutos	Jeeraphon Sudte et al. (2020)
Utilização de escadas	3-5 minutos	H. Kai et al. (2020)
Utilização de elevadores	2-4 minutos	Zhang et al. (2021)
Chegada ao ponto de encontro seguro	1-2 minutos	M. Kobes et al. (2010)

2.2.5 Tempo de Evacuação

O tempo de uma evacuação refere-se ao período durante o qual é vital que os ocupantes de um edifício ou área em risco iniciem e completem a evacuação para minimizar a exposição ao perigo. A importância de calcular e otimizar os tempos de evacuação está diretamente relacionada com a segurança das pessoas em situações de emergência. Estudos nesta área visam identificar os fatores que influenciam o tempo de evacuação e desenvolver estratégias para minimizá-lo, aumentando assim as chances de sobrevivência em casos de emergência. (Ronchi et al. 2013; Krings & Owen, 2020).

O tempo de evacuação pode ser dividido em várias fases, que ajudam a entender melhor o processo e os desafios envolvidos. De acordo com Siikonen & Hakonen (2003), o tempo desde o início de uma emergência até todos os ocupantes alcançarem uma área de segurança pode ser dividido em três fases:

- **Tempo de Reação (tr):** período inicial em que os ocupantes percebem os primeiros sinais de perigo, como o som de um alarme ou a visão de fumo, mas ainda não tomaram uma decisão consciente de evacuar.

- **Tempo de Reconhecimento (tp):** tempo necessário para que os ocupantes processem a informação recebida (como um alarme) e reconheçam a necessidade de evacuar. Durante este período, os ocupantes avaliam a situação e determinam se a evacuação é necessária. Este tempo é crucial porque atrasos na tomada de decisão podem aumentar significativamente o risco.
- **Tempo de Movimentação (te):** período em que os ocupantes começam a se mover em direção às saídas e se deslocam para fora do edifício ou área de perigo.

O período de pré-movimentação, que inclui tanto o tempo de reação quanto o tempo de reconhecimento, é amplamente considerado como uma das fases mais críticas durante uma evacuação. A importância do tempo de pré-movimentação está relacionada ao fato de que qualquer atraso nesta fase pode aumentar significativamente o risco de exposição a perigos como fumo, calor ou outros fatores de risco associados ao evento de emergência (Krings & Owen, 2020). Contudo, este é frequentemente subestimado em análises de evacuação, mas é essencial para a avaliação precisa da segurança durante a evacuação (Ronchi & Nilsson, 2013). Siikonen & Hakonen (2003) destacam que o tempo de pré-movimentação pode variar substancialmente dependendo da capacidade dos ocupantes de processar a informação disponível e de tomar decisões rápidas e eficazes.

A Tabela 2 apresenta os diferentes intervalos de tempo de pré-movimentação de ocupantes em diversos tipos de espaços, de acordo com a sua familiaridade com o ambiente e o estado de alerta. Estes tempos variam em função do tipo de sistema de alerta utilizado (W1, W2 e W3), com o objetivo de prever a resposta dos ocupantes antes do início da evacuação.

Tabela 2- Tempos estimados de pré-movimentação (CFPA, 2009)

Tipo de Espaço	Descrição dos ocupantes	W1 (min)	W2 (min)	W3 (min)
- Escritórios - Edifícios comerciais e industriais - Escolas - Universidades	- Acordados; - Têm o conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<1	3	>4
- Lojas - Museus - Centros desportivos - Outros edifícios de lazer	- Acordados; - Podem não ter o conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<2	3	>6
- Dormitórios - Edifícios residenciais	- Podem estar a dormir; - A maioria possui conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<2	4	>5
- Hotéis - Pensões	- Podem estar a dormir; - A maioria possui conhecimento do edifício, do sistema de alarme e de evacuação	<2	4	>6
- Hospitais - Centros de cuidados médicos - Outros estabelecimentos institucionais	- Maioria dos ocupantes precisa de assistência	<3	5	>8
Legenda: W1: sistema de comunicação de voz de uma sala de controlo ou diretivas ao vivo com funcionários bem treinados ouvidos por todos os ocupantes do espaço. W2: mensagens de voz pré-gravada com pessoal treinado. W3: sistema de alerta com alarme de incêndio e equipa sem treino.				

Na fase da evacuação correspondente ao tempo de movimentação, este pode variar consoante o tipo de evacuação. Em evacuações horizontais, a literatura indica que a velocidade de deslocamento de indivíduos sem deficiências físicas, em condições sem obstruções, varia entre 1,2 e 1,25 m/s quando a densidade populacional é inferior a 0,54 pessoas por metro quadrado, reduzindo-se progressivamente até parar completamente quando a densidade ultrapassa 3,8 pessoas por metro quadrado. No caso de evacuações verticais, a velocidade de deslocamento

para pessoas fisicamente aptas varia entre 1,1 m/s e 0,85 m/s, dependendo igualmente da densidade populacional, com as mesmas faixas de densidade mencionadas anteriormente (CFPA, 2009).

O *Required Safe Egress Time* (RSET) e o *Available Safe Egress Time* (ASET) são conceitos fundamentais na engenharia de segurança, utilizados para avaliar a segurança dos ocupantes durante uma evacuação de emergência.

O RSET refere-se ao tempo necessário para que todas as pessoas dentro de um edifício ou área de risco possam evacuar de forma segura. Este tempo é composto pelo tempo de pré-movimentação e o tempo de deslocamento até uma área segura. (Gwynne et al., 1999).

Por outro lado, o ASET refere-se ao tempo disponível entre o início de uma emergência e o momento em que as condições no ambiente se tornam insustentáveis para a vida humana, ou seja, é o ponto em que em que as condições do edifício não permitem a continuação da evacuação das pessoas. (Purser, 2003).

A segurança dos ocupantes é garantida quando o ASET é maior que o RSET, ou seja, quando o tempo disponível para evacuação é superior ao tempo necessário para evacuar. Uma análise adequada de ambos os tempos é essencial para o design seguro de edifícios, a fim de garantir que, em uma emergência, os ocupantes tenham tempo suficiente para evacuar antes que a situação se torne crítica (Nelson & Mowrer, 2002).

Caso o RSET exceda o ASET, as estratégias de evacuação e as medidas de proteção contra incêndio devem ser revisadas para reduzir o tempo necessário para evacuar ou aumentar o tempo disponível, como melhorar os sistemas de detecção e alarme ou aumentar a resistência ao fogo das estruturas (Nelson & Mowrer, 2002).

2.2.6 Avaliação e Melhoria Contínua do Plano de Evacuação

A avaliação e melhoria contínua dos planos de evacuação de edifícios são fundamentais para garantir a segurança em situações de emergência. Este subcapítulo explora os métodos e práticas recomendadas para a avaliação periódica e otimização dos planos de evacuação, com base em estudos e pesquisas recentes.

2.2.6.1 Avaliação de Planos de Evacuação

A avaliação de planos de evacuação envolve a análise rigorosa das estratégias existentes para identificar áreas de melhoria. Marzouk e Mohamed (2019) destacam a importância de integrar simulações baseadas em agentes e ferramentas de apoio à decisão para avaliar o desempenho da evacuação de edifícios. Este método permite uma abordagem quantitativa e qualitativa, maximizando a segurança dos ocupantes e ajudando a escolher entre múltiplas alternativas de design seguro.

Por outro lado, Shen (2005) desenvolveu um modelo de simulação de evacuação que pode ser usado para identificar os riscos potenciais dos caminhos de saída em edifícios e propor medidas de proteção contra incêndios. Este modelo permite uma avaliação apropriada dos sistemas de saída, contribuindo para a redução do número de vítimas em emergências.

2.2.6.2 Melhoria Contínua

A melhoria contínua dos planos de evacuação é essencial para adaptar-se às mudanças nas estruturas dos edifícios e nas dinâmicas populacionais. Jia-peng e Juan (2006) examinam vários métodos de avaliação da evacuação segura e comparam suas vantagens e desvantagens. A escolha de um método adequado permite abordar problemas existentes em escadas de escape, sistemas de supressão de fumo e equipamentos de comunicação, que são cruciais para garantir a segurança durante a evacuação.

Além disso, Bhushan e Sarda (2018) propõem algoritmos heurísticos que ajudam a planejar evacuações mais eficientes, considerando redes de edifícios capacitadas, pontos de saída bem definidos e a ocupação esperada. Essas análises contribuem tanto para o redesenho quanto para a alocação mais ótima dos espaços dos edifícios.

2.2.6.3 Implementação de Feedback e Ajustes

A implementação de feedback e ajustes é vital para garantir que os planos de evacuação permaneçam eficazes. Haihao (2021) apresenta um modelo de avaliação quantitativa para planos de evacuação e combate a incêndios usando o método de processo analítico hierárquico *fuzzy* (FAHP), que ajuda na revisão e melhoria dos planos com base em critérios de avaliação bem definidos.

Além disso, a avaliação da eficácia das estratégias de evacuação é crucial. Weinroth (1989) discute um modelo que prevê e analisa o comportamento de evacuação para identificar gargalos sérios e desenvolver estratégias de melhoria. Este modelo baseia-se em dados reais de evacuação e em simulações para informar o planejamento e a gestão da evacuação.

2.2.7 Legislação e Normas Regulatórias

A regulação da evacuação de edifícios em Portugal está intrinsecamente ligada à legislação nacional e normas regulatórias, que estabelecem os requisitos necessários para garantir a segurança dos ocupantes em situações de emergência. Estas normas são fundamentais para o desenvolvimento, implementação e avaliação dos planos de evacuação, cobrindo desde o projeto arquitetónico até a execução de exercícios de evacuação.

2.2.7.1 Legislação Nacional Portuguesa

Em Portugal, a legislação sobre segurança contra incêndios em edifícios é consolidada principalmente através do Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE), aprovado pela Portaria nº 1532/2008. Este regulamento define os critérios de projeto, operação e manutenção para sistemas de segurança contra incêndios e medidas de autoproteção. Além disso, estabelece requisitos específicos para a evacuação segura das pessoas, incluindo a sinalização de emergência, a largura das rotas de fuga e a resistência ao fogo dos materiais utilizados nas vias de evacuação.

2.2.7.2 Normas Europeias e Internacionais

Portugal também segue as diretrizes estabelecidas pela União Europeia e normas internacionais, como as especificadas pela ISO e pela EN (Normas Europeias). Por exemplo, a norma EN 1125 especifica os requisitos para dispositivos de controle de saída em rotas de evacuação, garantindo que os mecanismos de abertura sejam facilmente operáveis sob condições de pânico.

2.2.7.3 Normas Técnicas Portuguesas

As Normas Técnicas Portuguesas (NTP) complementam os regulamentos ao detalhar os métodos de cálculo e os critérios técnicos para a instalação de equipamentos de segurança. A NTP 4552:2015, por exemplo, fornece orientações sobre como implementar sistemas de alarme e deteção de incêndio, que são essenciais para iniciar o processo de evacuação de forma eficiente e segura.

2.2.7.4 Impacto das Normas na Evacuação de Edifícios Escolares, Hospitalares e Hoteleiros

Particular atenção é dada à evacuação de edifícios com ocupação especial, como escolas e hospitais. A legislação exige que estes edifícios tenham planos de emergência específicos, testados regularmente através de exercícios de simulação. Além disso, devem ser consideradas as necessidades especiais de evacuação, como a mobilidade reduzida de alguns ocupantes.

2.2.7.5 Avaliação e Certificação de Segurança

O processo de avaliação e certificação de segurança é um componente crítico para a eficácia dos planos de evacuação. Este processo é gerido pela Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC) em colaboração com outras entidades locais e regionais. A certificação assegura que todos os requisitos legais e normativos foram atendidos e que o edifício está preparado para executar uma evacuação segura quando necessário.

2.3 Ferramentas *Smart* de Apoio à Decisão no Setor do Turismo

Nos últimos anos, o setor do turismo tem assistido a uma transformação significativa impulsionada pela integração de tecnologias inteligentes e sistemas de apoio à decisão. Ferramentas *smart*, que combinam Internet das Coisas (*IoT*), modelação 3D, sistemas de informação geográfica (SIG), e inteligência artificial (IA), têm sido desenvolvidas para otimizar a gestão de emergências, incluindo a evacuação de edifícios, proporcionando segurança e eficiência em situações críticas.

A utilização de sistemas móveis inteligentes, como o *SmartEscape*, destaca-se pela sua capacidade de fornecer evacuação personalizada em tempo real, baseada em modelos espaciais 3D (Atila et al., 2018). Estes sistemas utilizam dados geoespaciais para orientar os indivíduos de forma segura e eficiente, minimizando riscos e melhorando a resposta em emergências.

Além disso, *frameworks* inteligentes e personalizadas, como o sistema de gestão de evacuação desenvolvido por Zhang et al. (2019), incorporam sensores e algoritmos avançados para fornecer rotas de evacuação otimizadas e personalizadas. Estes sistemas têm a capacidade de adaptar as instruções de evacuação com base no comportamento e localização dos indivíduos, aumentando a eficácia da resposta em emergências.

A abordagem *fuzzy* para modelagem de evacuações inteligentes apresentada por Chen (2009) oferece outra dimensão de flexibilidade e adaptação, permitindo a consideração de múltiplos fatores e incertezas durante o processo de evacuação. Este método contribui para a criação de cenários de evacuação mais realistas e ajustados às condições reais de emergência.

Sistemas baseados em DEVS (*Discrete Event System Specification*), como descrito por Wang et al. (2012), permitem a simulação detalhada e a modelação de informações de edifícios, facilitando a análise de evacuações em ambientes complexos. A integração de BIM (*Building Information Modeling*) com simulação DEVS oferece uma visualização avançada e uma compreensão detalhada dos fluxos de evacuação.

A mineração de conhecimento suportada por simulações de multidões é outra área relevante, conforme explorado por Boje e Li (2018). Estas simulações utilizam dados para prever e melhorar o design de evacuações, fornecendo insights valiosos sobre o comportamento das multidões em situações de emergência.

A aplicação de sistemas BIM para evacuação inteligente, como demonstrado por Wehbe e Shahrour (2021), enfatiza a importância de uma abordagem integrada, combinando informações detalhadas do edifício com tecnologias avançadas de evacuação. Estes sistemas permitem uma gestão eficiente e segura das emergências, melhorando a preparação e a resposta em situações críticas.

Por fim, a implementação de sistemas de evacuação baseados em *IoT*, como explorado por Mohan et al. (2018) e Gökceli et al. (2017), realça a importância da conectividade e da

automação na gestão de emergências. Estes sistemas permitem a monitorização em tempo real e a resposta rápida, essencial para a segurança e a eficiência durante evacuações.

2.3.1 Casos de Estudo de Ferramentas para a Evacuação de Edifícios

A Tabela 3 apresenta diferentes ferramentas de simulação utilizadas para analisar a evacuação em edifícios, abordando casos de estudo específicos. A Tabela 3 permite comparar as características, funcionalidades e aplicações dessas ferramentas, proporcionando uma visão abrangente sobre as suas utilizações na otimização de planos de evacuação em diversos tipos de edificações.

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios

Artigo	Tópicos	Resultados
Atila et al., 2018	Onde foi desenvolvido o artigo:	Desenvolvido por uma equipe da ISPRS <i>International Journal of Geo-Information</i> ;
	Objetivo do artigo:	Desenvolver um sistema de evacuação inteligente e individual que utiliza dados ambientais e características individuais para calcular rotas de evacuação ótimas em tempo real;
	Ferramentas usadas:	Sistema utiliza RFID para deteção de localização, sensores ambientais diversos, e uma rede neural artificial para avaliar riscos e determinar as rotas mais seguras;
	Resultados obtidos:	O sistema demonstrou uma precisão de 98,1% na previsão de níveis de risco e foi capaz de evacuar um grande número de pessoas simultaneamente através das rotas mais curtas e seguras;
Zang et al., 2019	Onde foi desenvolvido o artigo:	Estudo aplicado em um edifício comercial em Tianjin, China;
	Objetivo do artigo:	Propor um sistema de gestão de evacuação de incêndio que utilize modelagem de informações de construção (BIM) e um sistema de localização em tempo real baseado em Bluetooth para fornecer recomendações de rotas de evacuação personalizadas;
	Ferramentas usadas:	Modelos BIM, sistema de localização em tempo real Bluetooth, e aplicativo móvel para comunicação de rotas e atualizações;
	Resultados obtidos:	O sistema reavalia rotas a cada 2 segundos com base nas informações mais atualizadas, proporcionando rotas de evacuação otimizadas e seguras;

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Chen, 2009	Onde foi desenvolvido o artigo:	Apresentado na Conferência Internacional sobre Computação Inovadora, Informação e Controle;
	Objetivo do artigo:	Implementar um sistema de evacuação inteligente que utiliza uma abordagem baseada em lógica <i>fuzzy</i> para determinar rotas de evacuação seguras em tempo real;
	Ferramentas usadas:	Sistema de supervisão de integração inteligente (IISS), quadros indicadores de emergência inteligentes (SEIB) e modelagem de evacuação baseada em <i>fuzzy</i> ;
	Resultados obtidos:	O método proposto foi eficaz na roteirização de evacuação e na navegação de emergência, demonstrando eficiência na automação de edifícios inteligentes;
Alvim, 2017	Onde foi desenvolvido o artigo:	Bloco A do Edifício Jorge Machado Moreira;
	Objetivo do artigo:	Investigar a movimentação de pedestres em situações de incêndio através de simulação numérica-computacional e experimental;
	Ferramentas usadas:	Modelo matemático de Força Social, ferramenta computacional FDS+EVAC;
	Resultados obtidos:	Desenvolvimento de um modelo para a instalação que contribui com a segurança, calibrado com base em uma experiência de evacuação em escala real;
Wang at al., 2012	Onde foi desenvolvido o artigo:	Utiliza modelos <i>Cell-DEVS</i> para simulação em ferramentas de BIM;
	Objetivo do artigo:	Analisar a evacuação de emergência usando uma abordagem baseada em DEVS (Especificações de Sistemas de Eventos Discretos) integrada com modelagem de informações de construção para simulação avançada;
	Ferramentas usadas:	Software BIM, modelo DEVS, e ferramentas de simulação 3D;
	Resultados obtidos:	Demonstrou como obter visualizações 3D a partir de resultados de simulação para facilitar o trabalho de arquitetos e planejadores de evacuação;

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Boje & Li, 2018	Onde foi desenvolvido o artigo:	Aplicado em cenários de evacuação de edifícios na Escola de Engenharia de Cardiff;
	Objetivo do artigo:	Integrar modelos de edifícios digitais com ferramentas de simulação de multidão para automatizar e fornecer feedback ao processo de decisão de design de evacuação;
	Ferramentas usadas:	Ferramentas de ontologia para representação de conhecimento, modelos de informação integrados e simulação de multidão;
	Resultados obtidos:	Reduziu o esforço necessário para criar cenários de simulação válidos e forneceu feedback baseado em resultados e objetivos de design;
Wehbe & Shahrour, 2021	Onde foi desenvolvido o artigo:	Implementado num edifício de pesquisa na Universidade de Lille, França;
	Objetivo do artigo:	Implementar um sistema de evacuação inteligente que utiliza Modelagem de Informações da Construção (BIM) e tecnologias inteligentes para otimizar a evacuação durante incêndios;
	Ferramentas usadas:	Deteção precoce de incêndio, avaliação de dados ambientais, identificação do melhor caminho de evacuação e fornecimento de informações sobre as melhores rotas de evacuação;
	Resultados obtidos:	O sistema mostrou ser eficaz na identificação das melhores rotas de evacuação e na gestão dos riscos associados a incêndios em edifícios;

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Gökceli et al., 2017	Onde foi desenvolvido o artigo:	Cenários reais usando design econômico <i>IoT</i> em sistemas de automação de edifícios (BAS);
	Objetivo do artigo:	Propor e implementar um serviço de evacuação de emergência para sistemas de automação de edifícios, utilizando a <i>IoT</i> ;
	Ferramentas usadas:	Design de baixo custo apropriado para aplicações de <i>IoT</i> , integrando gestão centralizada de diversas funções de controle e automação;
	Resultados obtidos:	O modelo de serviço proposto demonstrou desempenho eficaz em implantações reais, melhorando a gestão de evacuações de emergência em edifícios;
Taleaiet al., 2022	Onde foi desenvolvido o artigo:	Não especificado;
	Objetivo do artigo:	Apresentar um método para a emissão de fumaça 3D baseada na utilização de dados cadastrais 2D para gerar um modelo 3D dos edifícios, e então simular a evacuação de emergência considerando diferentes cenários de movimento da fumaça;
	Ferramentas usadas:	Dados cadastrais 2D e modelagem 3D para simulação de emissão de fumaça e evacuação de emergência;
	Resultados obtidos:	Os dados cadastrais de apartamentos podem ser usados como uma fonte adequada para criar modelos 3D de edifícios altos, permitindo examinar a evacuação de emergência dos residentes, incluindo a simulação da propagação de fumaça no edifício

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Zhonget al., 2022	Onde foi desenvolvido o artigo:	Dujiangyan City, Sichuan Province, China;
	Objetivo do artigo:	Melhorar o modelo tradicional de autômatos celulares para simular o processo de evacuação de multidões em edifícios durante sismos, considerando comportamentos e decisões dos indivíduos;
	Ferramentas usadas:	Modelo aprimorado de autômatos celulares e método de elementos finitos explícitos para simular danos sísmicos;
	Resultados obtidos:	A eficiência da evacuação melhorou e foi possível prever o número e a distribuição de vítimas com base nos critérios propostos, utilizando um edifício oficial de sete andares como exemplo para verificação;
He, 2020	Onde foi desenvolvido o artigo:	Não especificado;
	Objetivo do artigo:	Propor um modelo de evacuação totalmente aleatório para simular e analisar processos de evacuação de sismos em edifícios de vários andares, considerando a dinâmica dos pedestres, danos estruturais e excitação sísmica;
	Ferramentas usadas:	Modelo de simulação baseado em rede para dinâmica de pedestres e análise simplificada de danos estruturais;
	Resultados obtidos:	O modelo pode ser usado para a avaliação prévia ou avaliação das capacidades de evacuação de sismos de edifícios de vários andares, demonstrado através da simulação de um edifício de escritórios de três andares;

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Xiao & Zhou, 2022	Onde foi desenvolvido o artigo:	China (sem mais detalhes);
	Objetivo do artigo:	Melhorar a segurança e eficiência da evacuação de emergência em canteiros de obras de edifícios pré-fabricados;
	Ferramentas usadas:	PyroSim para simulação de incêndio e Pathfinder para simulação de evacuação;
	Resultados obtidos:	Reorganizar a disposição do canteiro de obras e reduzir o número de trabalhadores pode diminuir efetivamente o tempo necessário para a evacuação segura;
Beyaz et al., 2021	Onde foi desenvolvido o artigo:	Universidade Técnica de Istambul, Faculdade de Engenharia Civil, Turquia;
	Objetivo do artigo:	Integrar BIM e Modelagem Baseada em Agentes (ABM) para simulações de evacuação de emergência, incorporando características do edifício e dos usuários;
	Ferramentas usadas:	Software de BIM para criar o modelo do edifício e ambiente ABM para simular rotas de evacuação durante um incêndio;
	Resultados obtidos:	Demonstrou-se que a integração de BIM e ABM possibilita modelar o comportamento das pessoas em um ambiente digital tridimensional, apoiando decisões dinâmicas, realistas e precisas para evacuação em caso de incêndio;
Zhou, 2023	Onde foi desenvolvido o artigo:	Não especificado;
	Objetivo do artigo:	Estudar o caminho de planejamento de evacuação de emergência em <i>hubs</i> de trânsito ferroviário urbano, melhorando a eficiência da evacuação;
	Ferramentas usadas:	Algoritmo genético multinível e software de simulação para avaliar diferentes cenários de evacuação
	Resultados obtidos:	Identificação de gargalos na evacuação e propostas de medidas de gestão abrangentes para aprimorar métodos de evacuação, instalações e sistemas de orientação;

Tabela 3 - Casos de Estudo de Ferramentas para Evacuação de Edifícios (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Zhong & Zhang, 2023	Onde foi desenvolvido o artigo:	Não especificado;
	Objetivo do artigo:	Introduzir fatores psicológicos na modelagem de simulação de evacuação de pedestres para analisar sua influência na eficiência da evacuação;
	Ferramentas usadas:	Software de simulação computacional para modelar a evacuação considerando diferentes estados psicológicos dos indivíduos;
	Resultados obtidos:	O tempo de evacuação aumentou em 14,5% e o risco também aumentou ao introduzir fatores psicológicos, destacando sua importância na modelagem de evacuação;
Hanet al., 2023	Onde foi desenvolvido o artigo:	Não especificado;
	Objetivo do artigo:	Propor uma estratégia de evacuação em camadas para edifícios de múltiplos andares baseada em entropia, melhorando a eficiência da evacuação em caso de incêndio;
	Ferramentas usadas:	PyroSim para simular o processo de combustão do fogo e AnyLogic para modelagem híbrida de agentes e simulação de propagação de fogo;
	Resultados obtidos:	A estratégia melhorou a utilização das saídas de evacuação e reduziu o tempo de evacuação, garantindo efetivamente a segurança dos evacuados;

2.3.2 Simulação

A simulação na evacuação de edifícios tem se mostrado uma ferramenta essencial para testar e garantir a segurança dos ocupantes em situações de emergência, como incêndios ou sismos. Esta técnica permite a análise detalhada dos procedimentos de evacuação e a identificação de possíveis melhorias no design e nas políticas de evacuação dos edifícios.

Diversos modelos de simulação têm sido desenvolvidos para estudar a evacuação de edifícios. Esses modelos variam desde abordagens baseadas em autômatos celulares até simulações baseadas em agentes. Os modelos de autômatos celulares, por exemplo, foram aplicados com sucesso para investigar a dinâmica comportamental dos pedestres em evacuações de emergência (Tissera et al., 2007). Esses modelos permitem a especificação e implementação de um sistema de simulação que pode ser usado para analisar diferentes configurações de edifícios e identificar aspectos importantes de segurança a serem considerados no projeto de edificações.

A incorporação de fatores psicológicos e fisiológicos humanos nos modelos de simulação é crucial para aproximar os movimentos simulados aos reais. Estudos demonstram que considerar a interação entre corpos, taxas de fluxo e densidades resulta em simulações mais precisas (Pelechano & Malkawi, 2008). Além disso, a inclusão do fluxo de informação durante a evacuação – como alarmes e sinais de saída – pode mudar significativamente a tomada de decisão e o movimento dos ocupantes, tornando a simulação mais realista (Gao et al., 2015).

O desenvolvimento de softwares especializados, como o Simulex e o Pathfinder, tem facilitado a simulação de evacuações em edifícios complexos. O Simulex, por exemplo, permite modelar a evacuação de edifícios grandes e complexos, aceitando arquivos CAD para definir os planos de piso e acomodar milhares de indivíduos (Thompson et al., 1997). Já o Pathfinder é conhecido por suas capacidades de simulação baseada em agentes, permitindo a customização das instruções de evacuação para cada ocupante, o que pode resultar em evacuações significativamente mais rápidas (Gerges et al., 2021).

A evacuação de edifícios altos apresenta desafios específicos, como a formação de filas enormes nas escadas e o potencial uso de elevadores em evacuações. Estudos mostram que permitir o uso de elevadores em edifícios menores pode resultar em evacuações mais rápidas (O'Leary & Gratz, 1981). Em edifícios altos, a utilização de modelos de volume de controle para simular a dinâmica dos evacuados e derivar os tempos de evacuação mostrou ser eficaz (Wu & Huang, 2015).

A integração de modelos baseados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na simulação de evacuações permite uma análise mais eficiente das rotas de evacuação. Modelos como o AutoEscape utilizam tecnologia de multiagentes para simular comportamentos de multidão e fornecer visualizações 3D do processo de evacuação, facilitando o trabalho de arquitetos e engenheiros (Tang & Zhang, 2008).

2.3.2.1 Vantagens e Desvantagens da Simulação

A Tabela 4 destaca os principais pontos positivos e negativos da utilização de ferramentas de simulação no contexto da evacuação de edifícios. Esta tabela permite compreender melhor os benefícios, como a capacidade de testar diferentes cenários sem riscos, bem como as limitações, como a necessidade de dados precisos e o tempo de processamento, auxiliando na avaliação do uso destas ferramentas em estudos de evacuação.

Tabela 4 - Vantagens e Desvantagens da Simulação

Artigo	Vantagens/Desvantagens
Starbuck, 1973	Vantagens: A simulação é a melhor metodologia para algumas tarefas, oferecendo insights detalhados sobre o comportamento humano.
	Desvantagens: A simulação tem sido subutilizada e mal compreendida, frequentemente decepcionando simuladores e audiências devido a expectativas irrealistas e falta de clareza sobre os objetivos e aplicações adequadas.
Banks, 1999	Vantagens: Simulação oferece flexibilidade e a capacidade de modelar sistemas complexos sem riscos reais.
	Desvantagens: O processo pode ser custoso e complexo, e há limitações associadas com o realismo e a precisão dos modelos simulados.
Lu et al., 2020	Vantagens: Permite aos cirurgiões praticarem procedimentos em um ambiente seguro e controlado, melhorando a curva de aprendizado sem risco para os pacientes.
	Desvantagens: Simuladores de realidade virtual são caros e pode haver competição pelo acesso a recursos de simulação nas instituições de ensino.
Dickerson et al., 2000	Vantagens: Simulação como uma ferramenta de modelagem é extremamente útil em várias disciplinas, ajudando na compreensão e análise de sistemas complexos.
	Desvantagens: Implementar simulação de forma eficaz requer recursos significativos e pode ser desafiador integrar completamente ao currículo.
Ingallis, 1998	Vantagens: Simulação fornece insights valiosos para a análise e otimização de cadeias de suprimentos, ajudando a identificar ineficiências e testar soluções potenciais em um ambiente controlado.
	Desvantagens: Comparada a outras metodologias, como a otimização, a simulação pode ser mais lenta e menos eficiente em certos cenários.

2.3.2.2 Casos de Estudo sobre Simulação na Evacuação de Hotéis

A Tabela 5 resume diferentes estudos que utilizaram simulação para avaliar a evacuação em hotéis, destacando os métodos e resultados, com foco nas particularidades desses edifícios e seus ocupantes.

Tabela 5 – Casos de Estudo sobre Simulação na Evacuação de Hotéis

Artigo	Tópicos	Resultados
Kai et al., 2020	Onde foi desenvolvido o artigo:	O estudo foi aplicado a um hotel de quatro andares especificamente projetado para este estudo, sem menção a uma localização geográfica real;
	Objetivo do artigo:	Avaliar a eficácia das medidas de evacuação em caso de incêndio, com foco especial em minimizar as baixas entre os ocupantes;
	Ferramentas usadas:	<i>Fire Dynamics Simulator</i> (FDS) para simulação da dinâmica do fogo e o Pathfinder para simulação da evacuação dos ocupantes;
	Resultados obtidos:	O estudo revelou que o tempo necessário para evacuar os ocupantes era superior ao tempo disponível antes que o fogo se tornasse uma ameaça maior, indicando que os procedimentos de evacuação existentes podem não ser suficientes em cenários reais de incêndio;
Wang, 2011	Onde foi desenvolvido o artigo:	A simulação foi baseada em dados coletados de um hotel específico, não mencionado pelo nome, mas situado em um contexto urbano;
	Objetivo do artigo:	Avaliar a propagação de fumo e a eficácia das rotas de evacuação em caso de incêndio em hotéis, utilizando dados reais de combustíveis e cenários de incêndio simulados;
	Ferramentas usadas:	O estudo utilizou tecnologias avançadas de modelagem por computador, incluindo a simulação de dinâmica computacional de fluidos (CFD) para modelar a propagação de fumo e a visibilidade durante um incêndio);
	Resultados obtidos:	Os resultados mostraram que, com a implementação das rotas de evacuação propostas e medidas de segurança contra incêndio, os ocupantes poderiam ser evacuados de forma segura dentro do tempo de segurança estimado. A análise proporcionou insights valiosos sobre como melhorar os sistemas de segurança contra incêndios e as estratégias de evacuação em hotéis;

Tabela 5 – Casos de Estudo sobre Simulação na Evacuação de Hotéis (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Tissera et al., 2007	Onde foi desenvolvido o artigo:	Foco em evacuações forçadas devido a incêndios, aplicação genérica sem local específico;
	Objetivo do artigo:	Investigar a dinâmica comportamental de pessoas em uma evacuação de emergência usando autômatos celulares, focando em identificar aspectos importantes de segurança ao projetar edifícios;
	Ferramentas usadas:	Autômatos celulares através do sistema de simulação EVAC;
	Resultados obtidos:	O trabalho permitiu identificar aspectos cruciais para a segurança que devem ser considerados no design de edifícios e destacou as forças do uso de autômatos celulares como ferramenta de simulação. Foi sugerido que extensões futuras poderiam representar particularidades do problema de maneira mais adequada;
Chen, 2004	Onde foi desenvolvido o artigo:	Dados baseados no Hotel Chongqing, China;
	Objetivo do artigo:	Otimizar o tempo de evacuação usando uma combinação de escadas e elevadores;
	Ferramentas usadas:	A simulação foi realizada utilizando software de simulação computacional não especificado;
	Resultados obtidos:	Os resultados mostraram que, com 23% dos ocupantes utilizando elevadores juntamente com as escadas, os tempos de evacuação ótimos foram significativamente reduzidos, alcançando 938,7 segundos e 917,4 segundos em diferentes simulações. Este estudo sugere que a combinação eficaz de elevadores e escadas pode ser fundamental para melhorar a segurança em edifícios altos;

Tabela 5 – Casos de Estudo sobre Simulação na Evacuação de Hotéis (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Zhang et al. 2021	Onde foi desenvolvido o artigo:	O estudo foi desenvolvido utilizando um hotel em Xi'na não especificado, na China;
	Objetivo do artigo:	Aliviar o congestionamento severo que ocorre no processo de evacuação em edifícios altos, como hotéis, quando ocorre um incêndio;
	Ferramentas usadas:	Simulação através do software Pathfinder;
	Resultados obtidos:	A simulação revelou que diferentes comportamentos e grupos de pessoas têm tempos variados de escape, e foi possível realizar a evacuação mais rápida em 657 segundos. A análise também mostrou a situação real das escadas, corredores, saídas de segurança e outros locais em situações de evacuação, fornecendo dados valiosos para a otimização dos procedimentos de evacuação do hotel;

2.3.2.3 Software Pathfinder

O software Pathfinder é uma ferramenta avançada de simulação de evacuação que utiliza modelos baseados em agentes para simular o comportamento das pessoas durante uma emergência. Esta ferramenta é amplamente utilizada em diversos cenários, desde edifícios altos até locais com alta concentração de pessoas, devido à sua capacidade de fornecer uma análise detalhada do processo de evacuação.

2.3.2.3.1 Características do Pathfinder

O Pathfinder permite a modelagem precisa de edifícios e a definição de parâmetros específicos para os ocupantes, como a velocidade de caminhada, comportamento em escadas, e preferências de rota. Ele utiliza dois modelos principais: o modelo *Steering* e o modelo SFPE (*Society of Fire Protection Engineers*). O modelo *Steering* é conhecido por sua capacidade de simular a interação entre os ocupantes e o ambiente, enquanto o modelo SFPE é usado para cálculos mais tradicionais de evacuação (Ding, 2013).

2.3.2.3.2 Aplicações em Simulações de Emergência

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia do Pathfinder em simulações de evacuação. Por exemplo, uma pesquisa sobre a evacuação de um hotel em Xi'an mostrou que o software pode

simular diferentes comportamentos e grupos de pessoas, ajudando a identificar os pontos críticos no processo de evacuação e a melhorar o design das rotas de escape (Zhang et al., 2021). Outro estudo utilizou o Pathfinder para simular a evacuação de uma planta química, revelando diferenças significativas nos tempos de evacuação entre os modelos *Steering* e SFPE (Ding, 2013).

2.3.2.3.3 Integração com Outros Softwares

O Pathfinder é frequentemente integrado com outros softwares de simulação, como o Fire Dynamics Simulator (FDS), para proporcionar uma análise mais abrangente. Essa combinação permite simular tanto a propagação do fogo quanto o comportamento de evacuação, oferecendo uma visão completa da emergência. Estudos utilizando essa integração mostram como a propagação da fumaça e o aumento da temperatura afetam a evacuação e ajudam a otimizar as rotas de fuga (Wang, 2012; Long, 2009).

2.3.2.3.4 Benefícios e Desafios

A utilização do Pathfinder traz vários benefícios, como a capacidade de testar diferentes cenários e estratégias de evacuação antes de serem implementadas na prática. Isto é especialmente útil para melhorar a eficiência das evacuações e minimizar os riscos durante uma emergência real. No entanto, desafios como a precisão da modelagem do comportamento humano e a necessidade de dados detalhados para configurar as simulações ainda são obstáculos a serem superados (Žydek et al., 2021).

2.3.2.3.5 Casos de Estudo com o Software Pathfinder

A Tabela 6 apresenta uma síntese de estudos que utilizaram o software Pathfinder:

Tabela 6 - Casos de Estudo com Software Pathfinder

Artigo	Tópicos	Resultados
Wang, 2012	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Edifício em Xangai, China Analisar evacuação em edifícios altos PathFinder e FDS Determinação do comportamento de evacuação seguro, análise da propagação de fumaça e temperatura.
Zhang et al., 2021	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Hotel em Xi'an, China Melhorar o tempo de evacuação PathFinder Identificação do tempo de evacuação mais rápido em 657 segundos.
Ding, 2013	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Planta Química Avaliar evacuação em cenários de incêndio PathFinder Comparação dos tempos de evacuação em diferentes modelos, identificação de fatores limitantes.
Zhao & Song, 2016	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Dormitório Universitário Simulação de evacuação em emergências PathFinder Análise do tempo de evacuação em relação ao número de saídas e evacuações.
Sutrisno et al., 2018	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Edifício de Escritórios Melhorar tempo de evacuação PathFinder Recomendações para melhorar a evacuação eliminando a diferença entre tempo simulado e real.
Li et al., 2018	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Dormitório Universitário Antigo Estudar evacuação de emergência PathFinder Melhoria significativa na evacuação através da otimização de saídas e distribuição de pessoal.
Žydek et al., 2021	Onde foi desenvolvido o artigo: Objetivo do artigo: Ferramentas usadas: Resultados obtidos:	Edifício Público Modelar evacuação de pessoas com deficiências PathFinder, Simulex, Steps Diferenças significativas nos tempos de evacuação entre programas, com variações de até 8%.

Tabela 6 - Casos de Estudo com Software Pathfinder (continuação)

Artigo	Tópicos	Resultados
Zhang & Long, 2021	Onde foi desenvolvido o artigo:	Hospital de Saúde da Mulher e Criança
	Objetivo do artigo:	Analisar evacuação em locais densamente povoados
	Ferramentas usadas:	PathFinder e BIM
	Resultados obtidos:	Aumento da eficiência de evacuação com melhorias na largura das portas e responsabilidades dos funcionários.

3 Metodologia

3.1 Modelação do Hotel em Estudo

Esta dissertação tem como objetivo analisar diferentes estratégias de evacuação num edifício hoteleiro. Relembra-se que o hotel selecionado para este estudo pretende manter o anonimato quanto à sua participação. Contextualizando, salienta-se que o hotel tem seis andares.

No rés do chão, tal como se pode visualizar na Figura 1, situa-se o estacionamento para três carros. Além disso, aqui encontra-se também instalado o restaurante do hotel, composto por uma cozinha com elevador de comida, dois quartos de banho e 13 mesas que albergam no máximo 52 pessoas. A entrada e saída de pedestres no hotel é realizada por uma das portas que se encontra neste andar, sinalizada como saída de emergência. Além desta, existe uma segunda porta que se encontra fechada normalmente, também sinalizada como saída de emergência. Por fim, existe uma escadaria que é interior, ou seja, só dá acesso ao piso 1 do hotel.

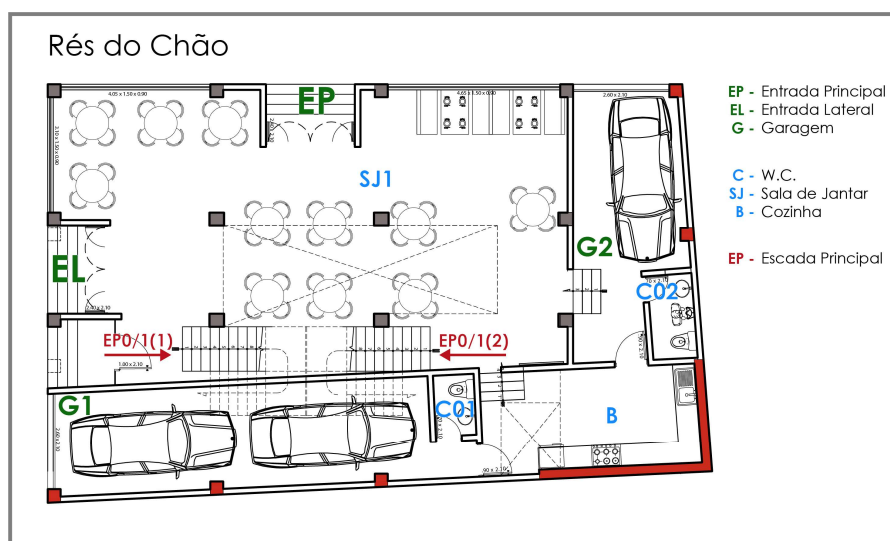


Figura 1 – Planta do rés do chão

Ao aceder ao primeiro andar pela escadaria interior, tal como identificado na Figura 2, depara-se à esquerda com a receção, à direita com duas casas de banho, nas traseiras com um quarto com casa de banho interior e na frente está posicionado o bar. O bar é composto por 14 mesas que albergam no máximo 48 pessoas. A ligação entre este piso e os superiores (3,4 e 5) é realizada por uma escadaria que está localizada entre a receção e o bar.

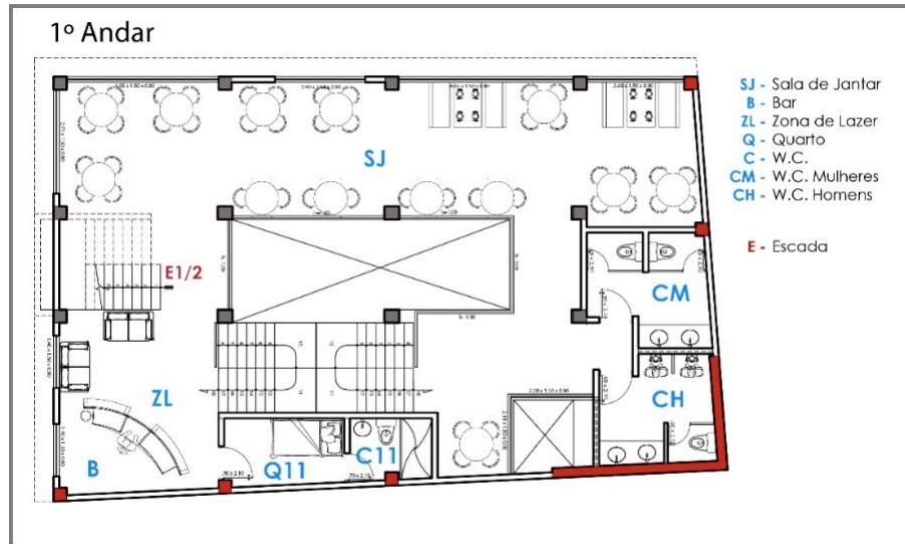


Figura 2 – Planta do primeiro andar

Os restantes andares têm a mesma composição e distribuição. A entrada para cada andar só pode ser feita por uma única escadaria. Em cada andar existem 9 quartos e cada quarto tem casa de banho individual. O acesso aos quartos é através de um corredor central. A título de exemplo, visualiza-se na Figura 3, a planta do 2º andar. Tal como supracitado, os restantes andares têm a mesma composição, pelo que a planta será igual à da Figura 3.

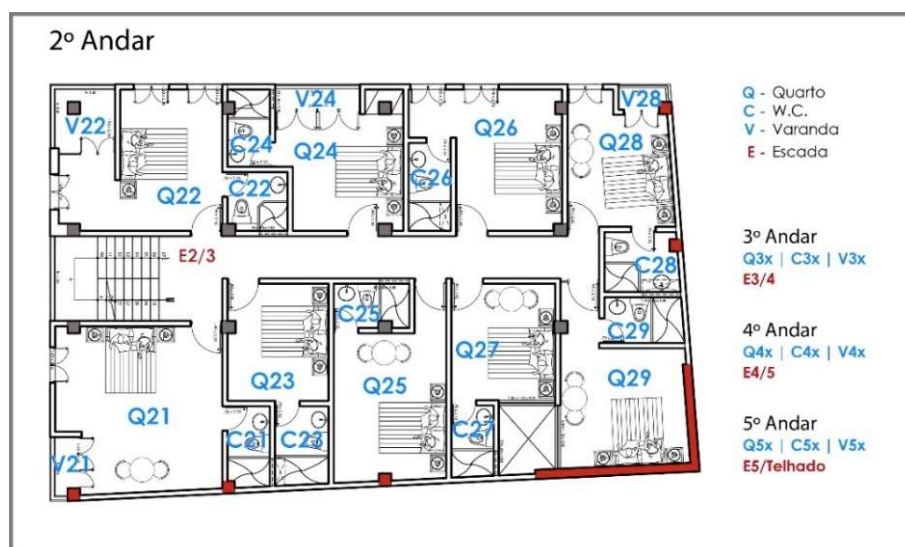


Figura 3 – Planta do segundo, terceiro, quarto e quinto andar

Por fim, a planta também possui a planta do telhado (Figura 4), que para o estudo não será relevante.

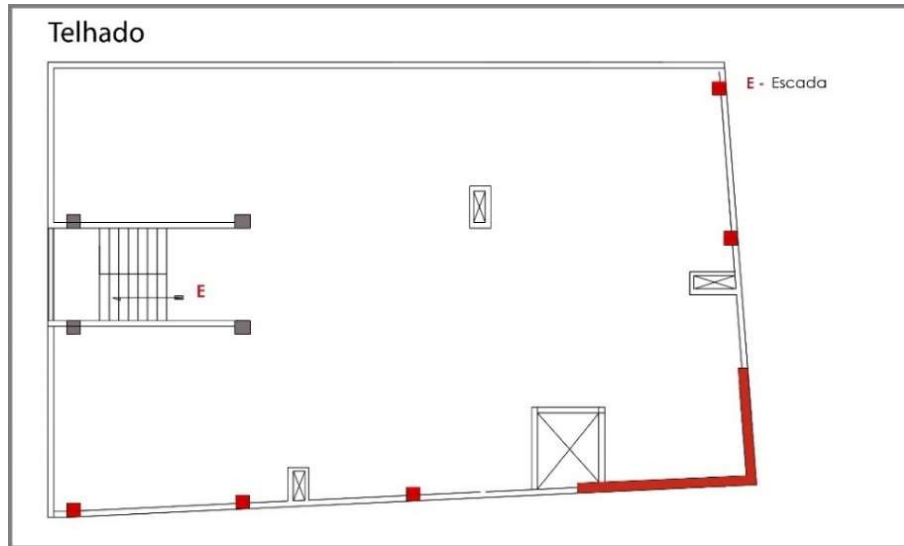


Figura 4 – Planta do Telhado

3.2 Estudo de Simulação

Recorrendo à simulação computacional, foi possível realizar o estudo das diferentes estratégias de evacuação no Hotel. O software escolhido para esta simulação foi o Pathfinder, devido às características e benefícios descritos no subcapítulo 2.3.2.3, “Software Pathfinder”.

Para a criação do modelo de simulação, foram utilizadas as plantas de emergência e de construção do edifício foram, as quais se revelaram fundamentais para a elaboração de um modelo que se aproximasse do edifício real.

O software Pathfinder exibe uma interface semelhante à da Figura 5 como ecrã inicial, permitindo iniciar a criação de modelos imediatamente. No lado esquerdo da janela, encontra-se o menu em árvore que lista todos os elementos adicionados ao projeto, juntamente com uma barra de ferramentas composta por diversos ícones que oferecem diferentes funcionalidades. Essas ferramentas e opções serão detalhadas nas próximas secções.

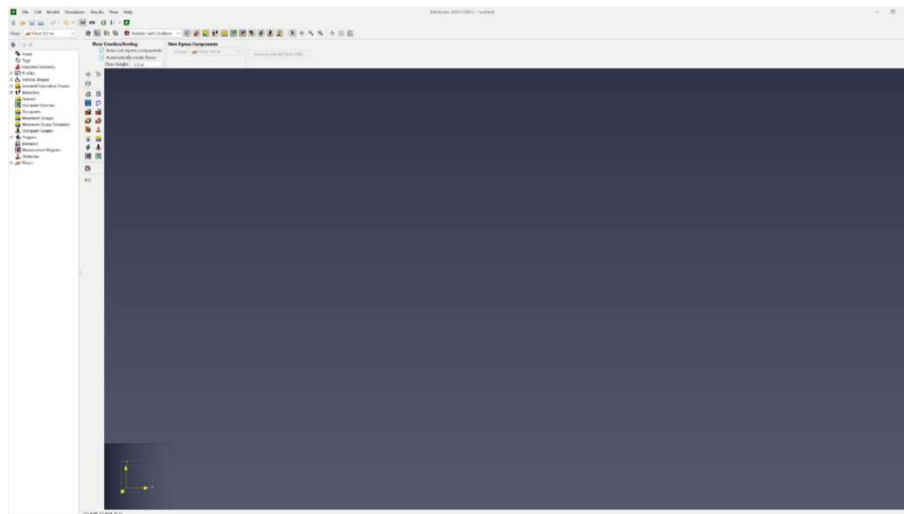


Figura 5 – Interface visual do Pathfinder

Como mencionado anteriormente, foram fornecidas as plantas do edifício em formato '.dwg', as quais foram utilizadas para a construção do modelo no software.

Através da ferramenta de “*Import*”, foi possível extrair a planta do hotel, o que simplificou de forma significativa o processo de modelação e desenho do edifício. Este procedimento, ilustrado na Figura 6, proporcionou maior precisão e rapidez na criação do modelo.

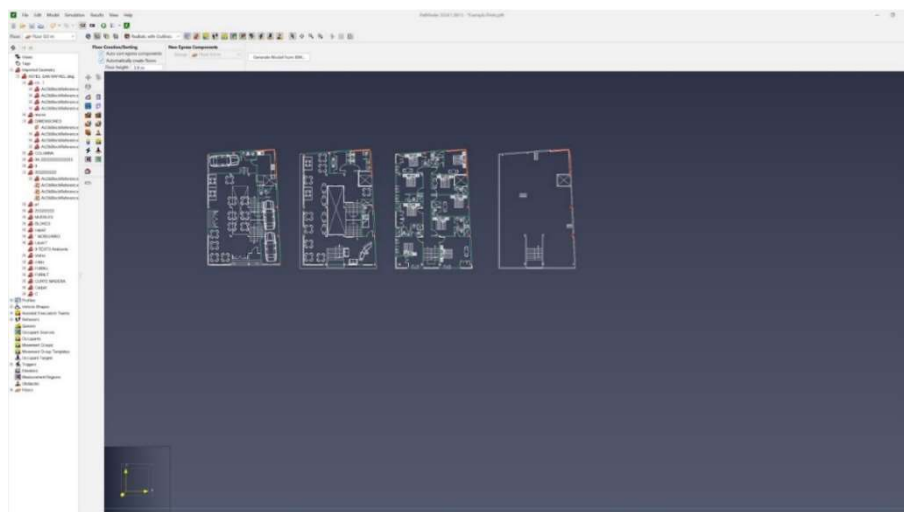


Figura 6 – Importação da planta do Hotel

A ferramenta “*Copy/Move Objects*” permite mover, sobrepor e/ou copiar objetos dentro do modelo, facilitando significativamente a criação de diferentes andares e a replicação de elementos repetitivos no edifício. Esta funcionalidade não só acelera o processo de modelação, como também garante maior consistência e precisão na disposição dos componentes estruturais. Além disso, é possível especificar o número de cópias a serem criadas, bem como ajustar os deslocamentos nos eixos X, Y e Z, permitindo um posicionamento exato e personalizado dos elementos copiados. O menu desta ferramenta pode ser visualizado na

Figura 7, e o resultado final das operações realizadas com esta funcionalidade é apresentado na Figura 8.

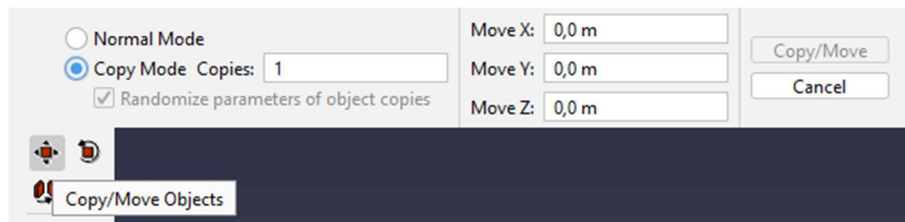


Figura 7 – Ferramenta para movimentar e copiar padrões e objetos

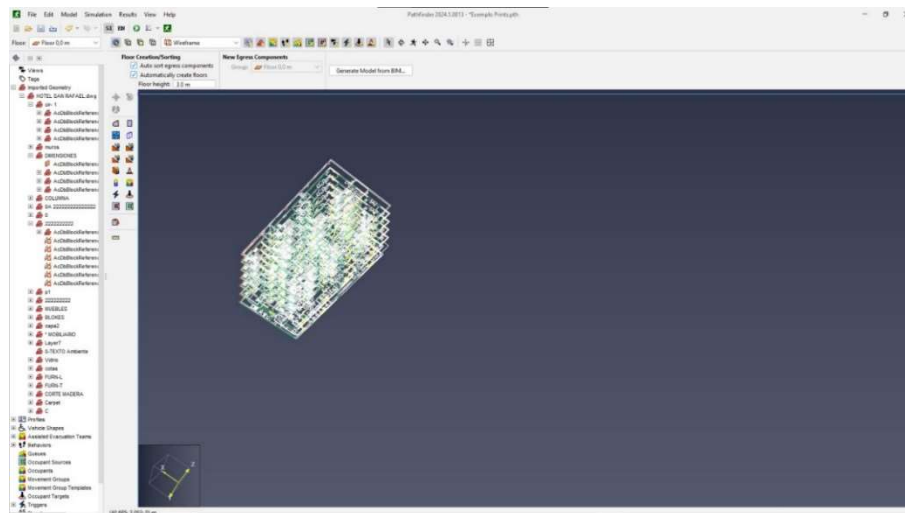


Figura 8 – Resultado final após movimentação em altura e cópia dos andares em falta

Para a criação dos andares e dos quartos, utiliza-se a ferramenta “Add a Polygonal Room”, que permite definir com precisão as áreas desejadas. Esta funcionalidade possibilita o traçado dos contornos tanto dos pisos como das divisões, assegurando um alinhamento rigoroso e uma modelação precisa do edifício, como ilustrado na Figura 9. Optou-se por modelar andar a andar em vez de quarto a quarto para garantir uma maior eficiência e consistência na construção do modelo. Ao traçar primeiro o contorno geral de cada piso, asseguramos que os elementos estruturais principais, como corredores e áreas comuns, são corretamente dimensionados e posicionados. Posteriormente, os quartos podem ser replicados ou ajustados de forma mais rápida e eficaz, garantindo que todas as divisões estão perfeitamente alinhadas com a estrutura do piso, sem necessidade de reajustamentos manuais quarto a quarto.

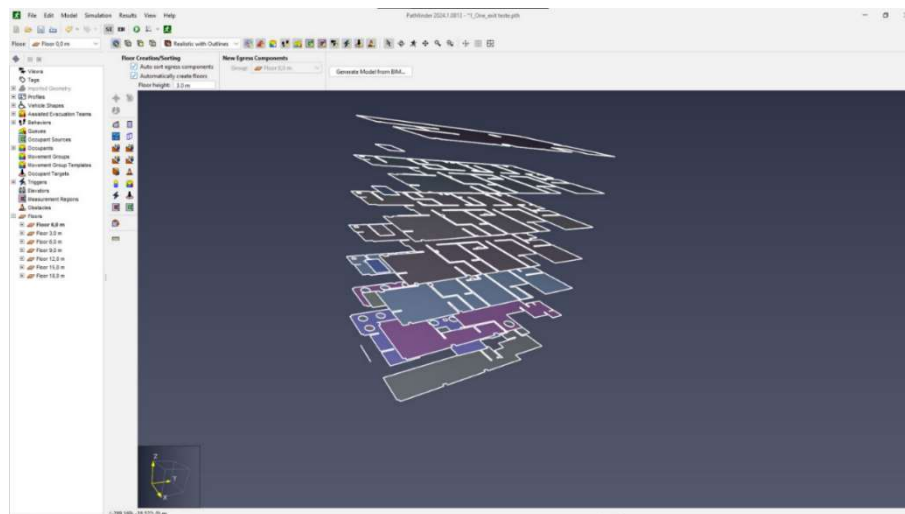


Figura 9 – Criação dos andares e divisões

Após a criação dos elementos estruturais de cada andar, recorreu-se à ferramenta “*Add a New Door*” para a inserção das portas nos locais adequados. Esta ferramenta oferece ao utilizador a possibilidade de selecionar tanto a localização exata como as dimensões específicas de cada porta a ser introduzida no modelo. Com isso, assegura-se que as portas estão corretamente posicionadas e proporcionadas em relação aos espaços circundantes, como paredes e corredores. Além disso, a ferramenta permite ajustar rapidamente a altura e a largura da porta, facilitando a adaptação a diferentes tipos de divisões e garantindo consistência no design. Na Figura 10, é possível observar o processo de inserção de uma porta, demonstrando a simplicidade e a precisão oferecidas por esta funcionalidade.

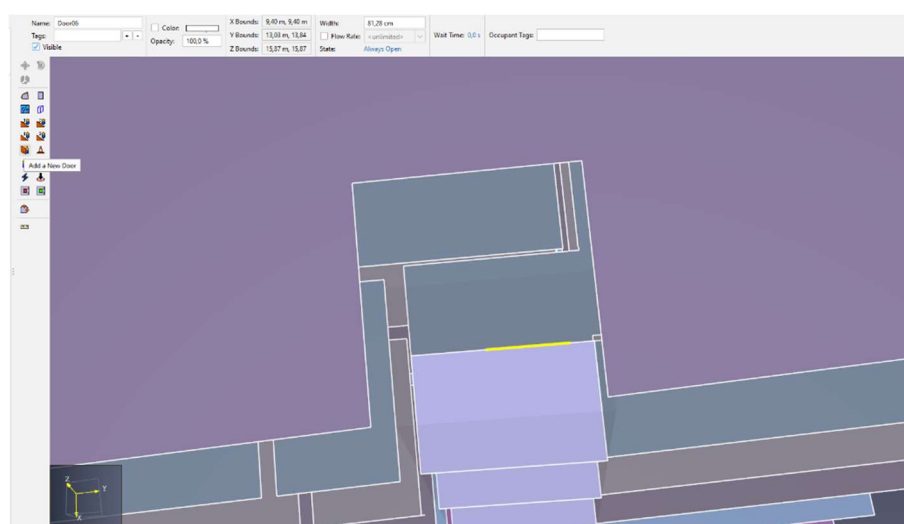


Figura 10 – Criação de portas

Após a criação dos pisos e das portas, avançou-se para a modelação dos elementos de ligação entre os diferentes andares, nomeadamente as escadas. Na Figura 11, é ilustrado o processo de criação de uma escadaria utilizando a ferramenta “*Create stairs between two edges by*

choosing a point on each”, que permite ao utilizador gerar escadas entre duas divisões previamente desenhadas de forma precisa e eficiente. Esta ferramenta oferece uma flexibilidade considerável, permitindo ao utilizador ajustar diversos parâmetros, como a posição exata das escadas, a sua largura, o número de degraus, bem como personalizar aspetos como a cor e a opacidade. Estes ajustes facilitam a adaptação das escadas ao design geral do edifício e garantem que a ligação entre os pisos é funcional e visualmente integrada. Ao possibilitar a criação automática com base em pontos previamente definidos, o processo torna-se mais rápido e minimiza potenciais erros de alinhamento.

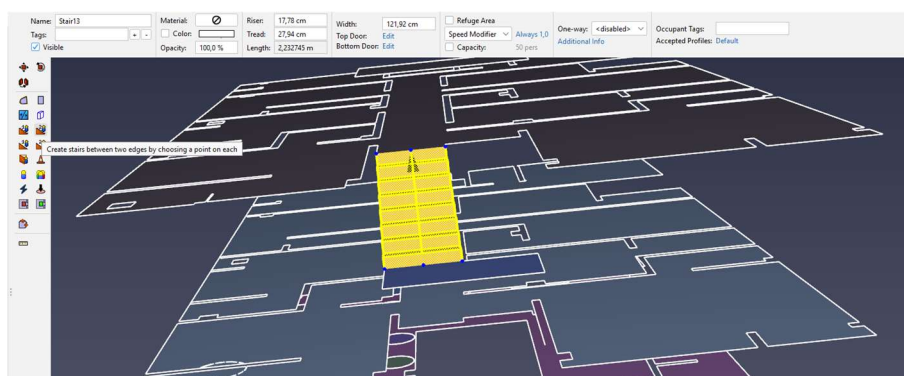


Figura 11 – Criação de Escadas

Embora o edifício não tenha sido inicialmente projetado com elevadores, mais adiante será analisado o impacto de adicionar um elevador. Para proceder à criação do elevador, foi primeiro necessário definir as divisões onde este se situará, garantindo que as dimensões estão corretas e alinhadas com a estrutura do edifício. Após esta preparação, utilizou-se a ferramenta *“Create Elevator”*, que oferece uma série de opções personalizáveis. Esta funcionalidade permite definir a capacidade máxima de ocupantes, o sentido de movimentação (ascendente e descendente), bem como parâmetros técnicos como a aceleração, a velocidade máxima, e o tempo de abertura e fecho das portas. Estes ajustes são fundamentais para simular o comportamento realista do elevador durante uma evacuação ou uso normal. Na Figura 12, é possível observar a interface da ferramenta e os parâmetros configuráveis, destacando-se a flexibilidade que oferece na adaptação às necessidades do projeto.

New Elevator

Name: Elevator00

Type: EVAC

Nominal Load: 528,0 pers

Elevator Geometry: Second Floor

Travel Direction: X: 0,0 Y: 0,0 Z: 1,0

Elevator Bounds

Bottom Floor: [lowest]

Top Floor: [highest]

Elevator Timing

Acceleration: 1,2 m/s²

Max Velocity: 2,5 m/s

Open+Close Time: 7,0 s

Call Distance: 0,5 m

Elevator Type

Double-Deck

OK Cancel

Figura 12 - Criação do elevador

Após a criação dos pisos e dos respetivos elementos de ligação, avançou-se para a inserção dos obstáculos, como mesas, cadeiras, mobiliário de quarto, casa de banho, entre outros elementos. A modelação destes obstáculos foi realizada previamente num software de desenho 3D, sendo depois importados para o software Pathfinder em formato de ficheiro “.obj”. Uma vez concluída a importação, foi utilizada a opção “*Convert to Transient Obstacle*”, que permite transformar esses objetos em obstáculos reconhecidos pelo software, interferindo assim no movimento dos ocupantes durante a simulação. Este processo é essencial para garantir uma simulação mais realista, ao refletir as barreiras físicas presentes no edifício. Na Figura 13, é apresentada uma vista abrangente de diversos exemplos de objetos criados e integrados no modelo, ilustrando como os mesmos são distribuídos pelos diferentes espaços.

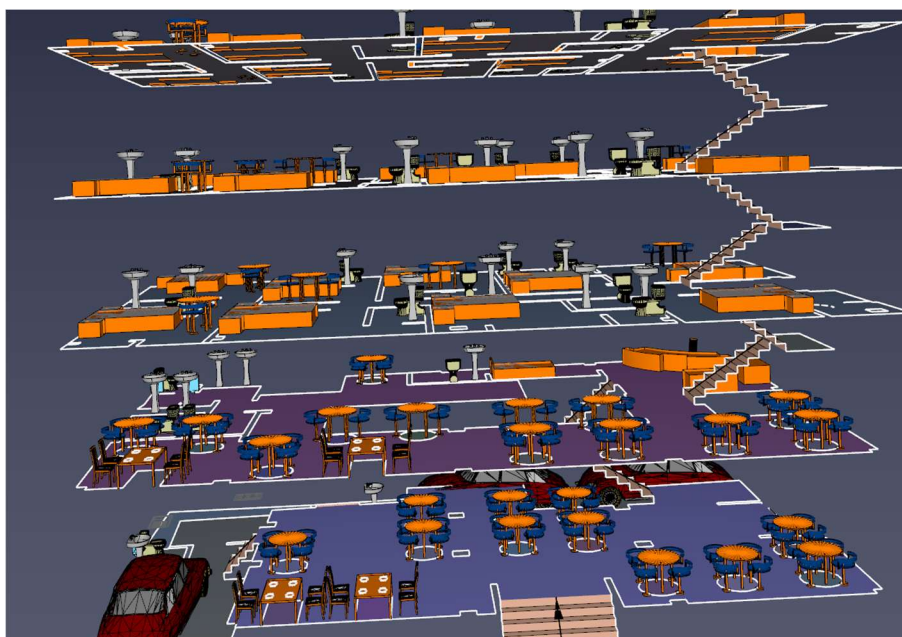


Figura 13 - Obstáculos do edifício

Para a adição de ocupantes ao modelo, o Pathfinder disponibiliza duas ferramentas principais: a *“Add an Occupant”*, que permite inserir um único ocupante de cada vez, e a *“Add Occupants to a Region”*, que facilita a colocação de um número maior de ocupantes numa área predefinida pelo utilizador. Estas ferramentas são essenciais para simular de forma precisa o comportamento de evacuação em diferentes cenários, ajustando o número de pessoas conforme necessário. Na Figura 14, é apresentada a interface do menu de criação e parametrização de um ocupante. Vale destacar que, por defeito, os ocupantes são representados como cilindros para simplificar a sua colocação e manipulação no modelo, mas esta representação pode ser personalizada através das opções de visualização, permitindo a alteração para figuras mais detalhadas, de acordo com as preferências do utilizador ou as necessidades da simulação.

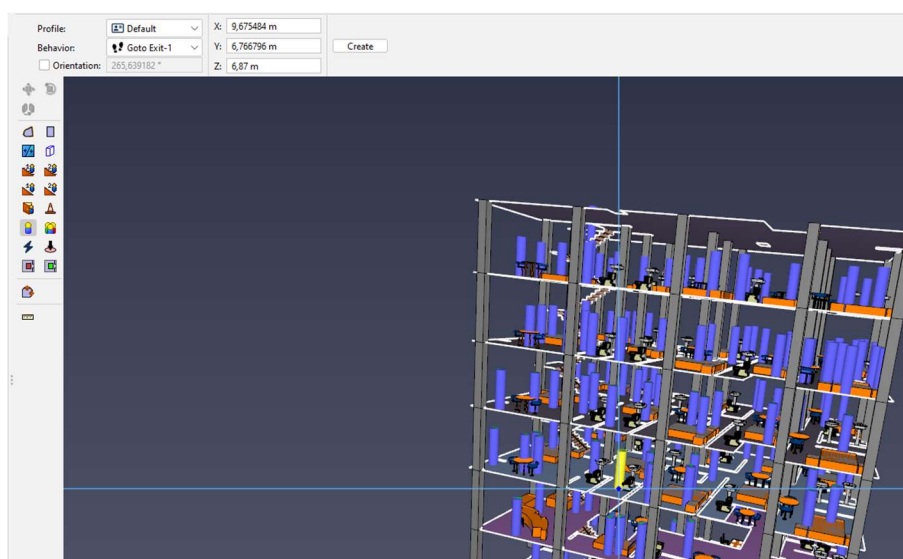


Figura 14 – Menu para criação dos ocupantes

Para gerir eficazmente a distribuição de parâmetros entre os ocupantes, o software Pathfinder exige que cada ocupante esteja associado a um perfil. Se o perfil não for personalizado pelo utilizador, ele apresentará as características padrão, que podem ser observadas na Figura 15. No entanto, o utilizador tem a flexibilidade de criar perfis personalizados através da opção “*Add a Profile*” e pode editá-los utilizando a ferramenta “*Edit Profile*”. Nesta funcionalidade, o utilizador pode controlar uma série de parâmetros essenciais, como a velocidade de deslocamento, o tamanho físico do ocupante, o fator de redução de movimento, o diâmetro corporal, e até definir se o ocupante necessita de assistência para se movimentar. Além disso, é possível determinar as rotas ou caminhos preferenciais que o ocupante deve seguir durante a simulação, garantindo que os percursos e comportamentos são ajustados de acordo com as necessidades específicas do modelo. Esta flexibilidade é crucial para criar cenários de evacuação mais realistas e adaptados a diferentes perfis de ocupantes.

Em todas as simulações, os ocupantes foram parametrizados com uma velocidade de movimentação de 1,2 m/s.

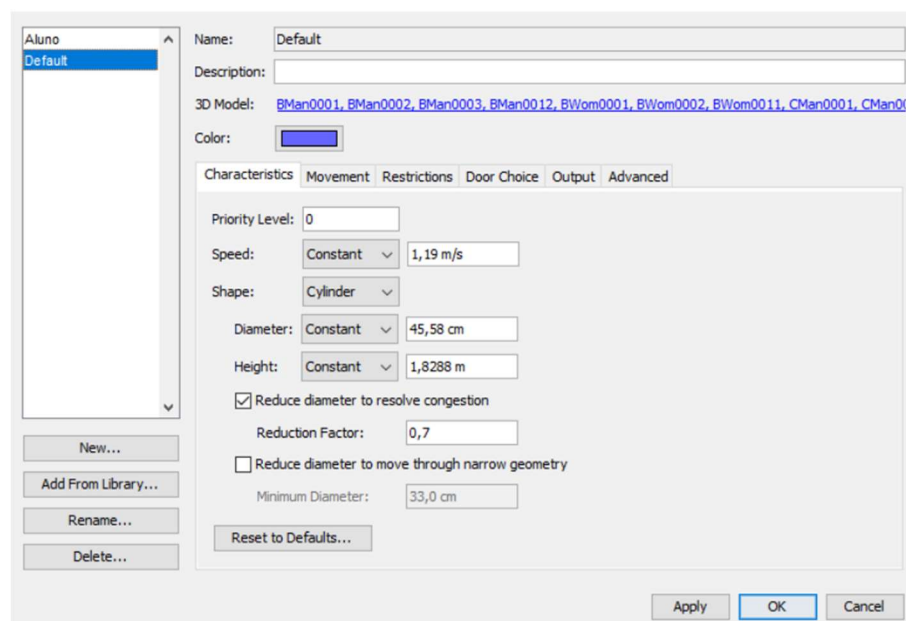


Figura 15 - Perfil aleatório gerado pelo Pathfinder

Além de cada ocupante estar associado a um perfil, o Pathfinder também atribui automaticamente um comportamento de evacuação. Por defeito, o software gera um comportamento aleatório em que os ocupantes procuram dirigir-se para a saída mais próxima. No entanto, o utilizador tem a possibilidade de personalizar esses comportamentos criando perfis específicos através da opção “*Add a Behavior*”. Esta funcionalidade permite ao utilizador definir diversos parâmetros comportamentais, como o tempo de espera antes de os ocupantes iniciarem o movimento de evacuação, a escolha de uma saída específica ou de um local de refúgio para onde os ocupantes devem dirigir-se, entre outros. Esta flexibilidade na criação de

comportamentos personalizados é essencial para simular cenários complexos e testar diferentes estratégias de evacuação. Na Figura 16, é possível observar a interface para a criação e edição destes comportamentos, onde o utilizador pode ajustar detalhadamente as ações dos ocupantes durante uma simulação.

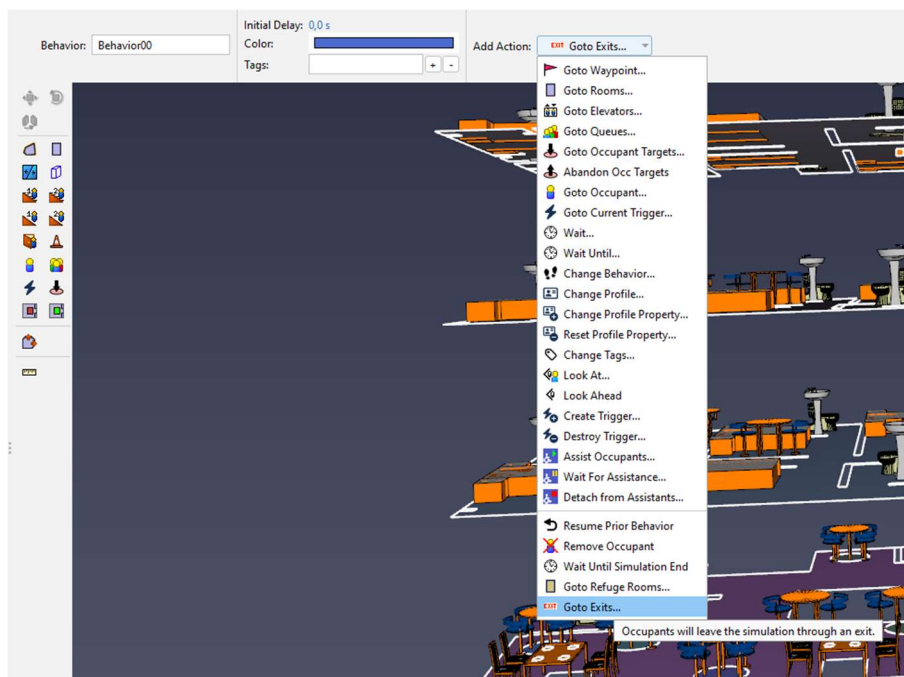


Figura 16 - Parametrização do comportamento do ocupante

O software Pathfinder permite também que os ocupantes sejam organizados em grupos, possibilitando a simulação do comportamento de pessoas com laços sociais, como famílias, colegas ou equipas de trabalho. Para criar um grupo de movimentação, o utilizador deve seleccionar os ocupantes que deseja incluir no grupo e, em seguida, utilizar a opção “*New Movement Group From Selection*”. Uma vez criado o grupo, é possível configurar diversos parâmetros, como o perfil dos ocupantes, o comportamento durante a evacuação, a distância máxima permitida entre os membros do grupo, e até designar um líder que será seguido pelos restantes. Esta funcionalidade é particularmente útil para simular situações em que as pessoas se movem em conjunto, como em cenários familiares ou de evacuação organizada. Neste projeto, foi criado um grupo de movimentação para cada divisão do edifício, a fim de garantir uma simulação mais realista do comportamento coletivo. Na Figura 17, estão apresentados os principais parâmetros configuráveis de um grupo de movimentação, ilustrando as opções disponíveis para personalizar a interação entre os ocupantes.

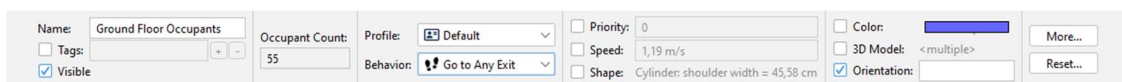


Figura 17 - Parametrização de um grupo de movimentação

Após a execução da simulação, a evacuação pode ser visualizada em 3D em tempo real, proporcionando ao utilizador uma visão clara e dinâmica do comportamento dos ocupantes durante o processo de evacuação, como ilustrado na Figura 18. Esta visualização multimédia oferece uma representação fiel do movimento das pessoas, permitindo identificar possíveis pontos de congestionamento ou dificuldades nas rotas de evacuação.

Para além da visualização em 3D, o software apresenta uma variedade de opções de análise dos resultados. Entre elas, destacam-se os gráficos que mostram a ocupação das divisões ao longo do tempo (número de ocupantes em cada divisão em função do tempo) e o fluxo de pessoas através de elementos de ligação, como escadas ou portas, ao longo do período de evacuação. Estes dados são essenciais para avaliar a eficiência das rotas e a capacidade de evacuação do edifício. Além disso, o Pathfinder gera automaticamente um relatório detalhado que pode ser exportado em formato de bloco de notas ou Excel, contendo um resumo dos principais resultados, o que facilita a análise posterior e o desenvolvimento de estratégias de melhoria.

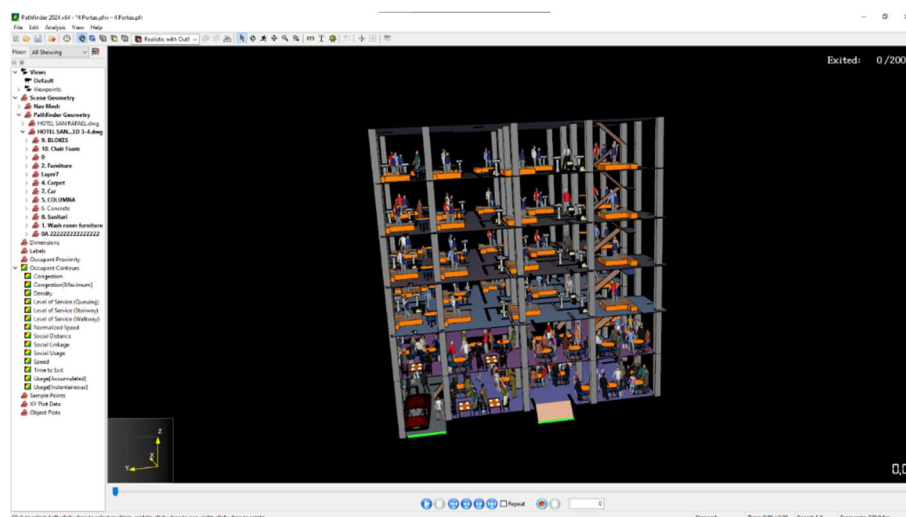


Figura 18 - Visualização 3D dos resultados da simulação

3.3 Análise de Estratégias de Evacuação

Para alcançar o objetivo geral deste projeto, foi conduzido um estudo que utilizou simulações computacionais para avaliar diferentes estratégias de evacuação, considerando a capacidade teórica máxima do edifício.

Para analisar o impacto no tempo total de evacuação do Hotel em estudo, foram desenvolvidas várias simulações, as quais fundamentam-se no Design Arquitetónico e Infraestrutura atual do hotel, modificando a variável “número de saídas de emergência”. O objetivo é entender como essas alterações influenciam a duração da evacuação efetiva.

A variável "número de saídas de emergência" refere-se à quantidade total de pontos de evacuação disponíveis no edifício, neste caso no hotel, através dos quais os ocupantes podem sair em caso de emergência. Considera-se esta variável como crucial para o estudo, pois influencia diretamente a capacidade de evacuação do edifício e o tempo necessário para que todos os ocupantes possam sair em segurança. Com base na revisão bibliográfica descrita no capítulo 2.2.2, parte-se da hipótese de que um maior número de saídas de emergência permite uma evacuação mais rápida e eficiente, reduzindo a possibilidade de congestionamento e facilitando o fluxo de pessoas para fora do edifício. O estudo pode analisar como diferentes quantidades e localizações de saídas de emergência impactam o tempo total de evacuação e a segurança dos ocupantes.

Após concluir-se qual o número de saídas de emergência que proporciona um menor tempo de evacuação, propõe-se a alteração do design arquitetónico e infraestrutura do hotel, através da construção de um elevador de emergência. Esta proposta surge com base no Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto, o qual exige que todos os edifícios com mais de quatro pisos são obrigados a ter, pelo menos, um elevador instalado.

Além disto, conforme descrito na revisão bibliográfica no subcapítulo 2.2.2.1, a utilização deste componente numa situação de evacuação pode ser crucial para assistência a pessoas com mobilidade reduzida, idosos, e outros que possam ter dificuldades em descer rapidamente pelas escadas

Nas estratégias descritas abaixo foram apenas consideradas as variáveis descritas acima para a realização das simulações. Contudo, existem variáveis estranhas a este estudo que podem influenciar os seus resultados num cenário real, como referido no subcapítulo 2.2.1, "Dinâmicas e Desafios na Evacuação de Edifícios".

3.3.1 Proposta 1 – Edifício Original

Nesta secção, será analisada a evacuação do edifício, considerando a sua configuração original, sem a realização de quaisquer alterações estruturais ou funcionais. O objetivo é avaliar o comportamento do plano de evacuação nas condições iniciais do edifício, permitindo identificar pontos fortes e fragilidades na sua conceção atual. Ao manter a integridade do edifício tal como projetado, pretende-se obter uma compreensão clara de como as infraestruturas e os acessos disponíveis influenciam o fluxo de evacuação e a segurança dos ocupantes.

3.3.1.1 Estratégia 1 – Edifício com 4 Saídas

Na estratégia 1, a evacuação dos 200 hóspedes foi realizada utilizando simultaneamente todas as quatro portas de saída disponíveis no hotel. Todos os ocupantes foram atribuídos ao comportamento "Go to Any Exit", permitindo que efetuassem a evacuação sem orientações específicas, seguindo o percurso mais curto até uma das saídas. Esta simulação teve como objetivo replicar o cenário original do hotel, com todas as entradas e saídas disponíveis, de

forma a avaliar a eficiência do plano de evacuação nas condições reais do edifício. Assim, foi possível analisar o comportamento dos ocupantes e a fluidez da evacuação, considerando a disposição natural das infraestruturas do hotel.

A Tabela 7 apresenta os resultados detalhados da simulação de evacuação, destacando diversos parâmetros cruciais para a análise do desempenho do processo. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, além do tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados permitem uma avaliação abrangente da eficácia do plano de evacuação implementado, bem como a identificação de possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 7 - Resultado da simulação do Cenário 1

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo de Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
1	4 Portas Disponíveis	209,000	78,855	79,312	30,649	152,250	48,983	76,250	17,394

A Figura 19 ilustra de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes neste cenário, onde todas as quatro portas de saída do edifício foram utilizadas. Este gráfico permite visualizar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, evidenciando como o uso simultâneo de todas as saídas contribuiu para um fluxo de evacuação mais eficiente. A análise do gráfico possibilita compreender a distribuição do fluxo através das diferentes saídas e identificar momentos chave, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é crucial para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação em um cenário ideal, com todas as portas operacionais.

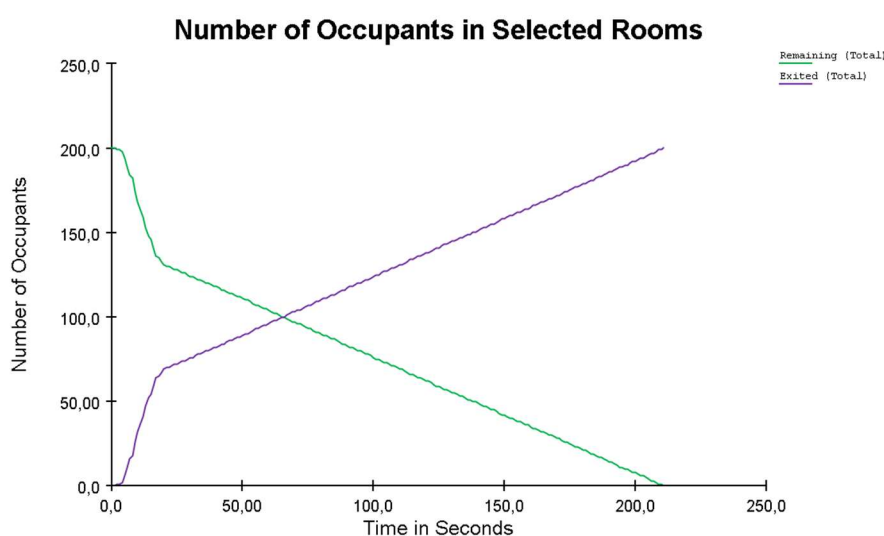


Figura 19 – Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com as quatro portas de saída do hotel disponíveis (cenário 1)

Ao analisar a Figura 19, observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, sugerindo um fluxo constante e bem organizado de evacuação. Inicialmente, há uma descida acentuada no número de ocupantes ainda presentes no edifício, enquanto o número de pessoas que saíram aumenta de forma correspondente, indicando uma resposta rápida e eficiente à necessidade de evacuação.

Notavelmente, por volta dos 65 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que demonstra a eficácia do plano de evacuação durante a fase inicial. Este ponto de inflexão no gráfico é um indicador positivo de que a evacuação foi conduzida de maneira ágil e sem grandes interrupções. À medida que o tempo avança, o gráfico mantém uma trajetória consistente, com a evacuação continuando de forma controlada até que todos os ocupantes tenham saído. Este comportamento gráfico sublinha a eficiência do processo de evacuação, garantindo que a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto e sem grandes atrasos.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 20 apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro principais portas de saída ao longo do tempo. Este gráfico oferece uma visão mais granular de como a evacuação se processou em cada uma das saídas disponíveis, permitindo identificar padrões específicos de utilização, como picos de fluxo e momentos de maior ou menor intensidade. A análise destas taxas de fluxo é crucial para compreender o comportamento dos ocupantes durante a evacuação, bem como para avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

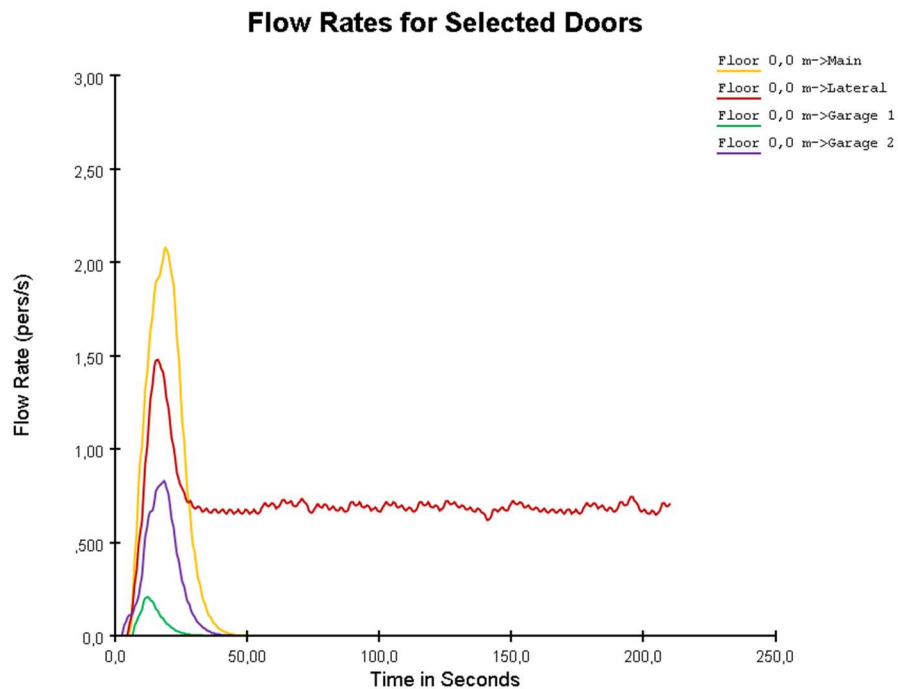


Figura 20 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro principais portas de saída ao longo do tempo (cenário1)

O gráfico apresentado na Figura 20 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação. As saídas analisadas incluem a porta Principal (linha amarela), a porta Lateral (linha vermelha), a Garagem 1 (linha verde) e a Garagem 2 (linha roxa).

Observa-se que a porta Principal (linha amarela) foi a mais utilizada inicialmente, evidenciada por um pico elevado e abrupto no fluxo de pessoas. Este pico deve-se, em grande parte, aos ocupantes da zona de restauração, localizada no rés-do-chão, que se encontravam mais próximos desta saída e, portanto, evacuaram rapidamente por essa rota. Após este fluxo inicial, a utilização da porta Principal diminuiu significativamente, indicando que a maior parte dos ocupantes desta área evacuou logo nos primeiros momentos, deixando a porta com um fluxo residual mais moderado ao longo do tempo.

A porta Lateral (linha vermelha) mostrou um fluxo mais sustentado ao longo do tempo, após o pico inicial. Esta utilização mais constante da porta Lateral deve-se à sua proximidade das únicas escadas que ligam aos andares superiores, o que a tornou a rota preferida para os ocupantes dos pisos superiores. Essa proximidade fez com que a porta Lateral recebesse um fluxo contínuo de pessoas ao longo da evacuação, evidenciando sua importância como uma das principais rotas de saída do edifício.

As Garagens 1 e 2, representadas pelas linhas verde e roxa, respetivamente, foram utilizadas predominantemente pelo pessoal do hotel que trabalhava nas áreas de cozinha e pontos de descarga. A Garagem 1 (linha verde) apresentou um fluxo mais consistente ao longo do tempo, o que sugere que o pessoal de cozinha utilizou esta saída de forma contínua, em grupos organizados, contribuindo para a evacuação sem grandes interrupções. Por outro lado, a Garagem 2 (linha roxa) exibiu um pico inicial seguido de uma rápida diminuição do fluxo, indicando que os funcionários evacuaram rapidamente em um curto espaço de tempo.

Estes padrões de fluxo refletem uma utilização funcional e bem distribuída das saídas do hotel. Enquanto a porta Principal suportou a evacuação inicial de forma rápida, principalmente devido aos ocupantes da zona de restauração no rés-do-chão, a porta Lateral manteve um fluxo constante, facilitando a evacuação de um grande número de pessoas ao longo do tempo devido à sua ligação direta com as escadas dos andares superiores. As garagens, por sua vez, serviram como rotas especializadas para o pessoal do hotel, minimizando os congestionamentos nas saídas principais e garantindo uma evacuação eficiente e organizada. Estes dados sublinham a importância de uma distribuição estratégica das saídas em cenários de evacuação, onde diferentes grupos de ocupantes podem utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

Neste cenário, observou-se um estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, com maior intensidade nos andares inferiores. Isso resultou em congestionamentos notáveis, especialmente na zona do bar e nas plataformas entre os lances de escadas, onde houve um aglomerado maior de ocupantes, como é possível ver na Figura 21.

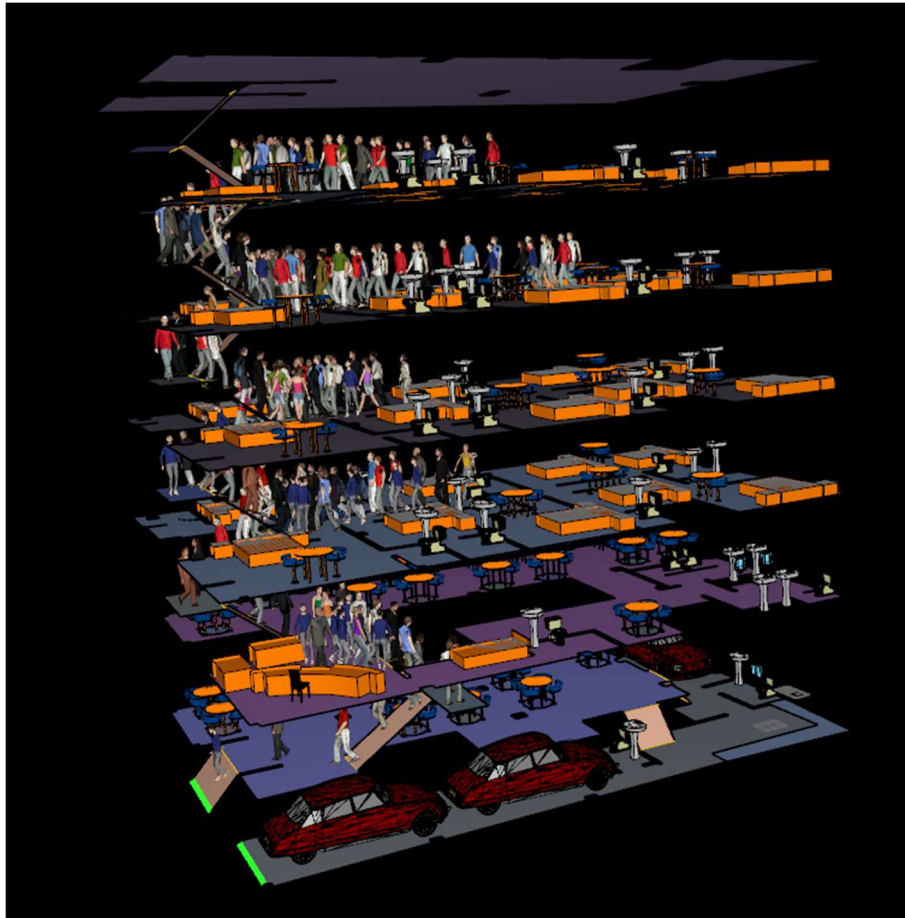


Figura 21 - Vista 3D do *bottleneck* (cenário 1)

Através da Figura22, que ilustra o número de ocupantes nas escadas ao longo do tempo, é possível identificar claramente a causa deste estrangulamento. Em cada lance de escadas, apenas 2 a 3 pessoas conseguem estar presentes simultaneamente, criando um "*bottleneck*" significativo que retardou o processo de evacuação. Este fator, combinado com a elevada concentração de pessoas nas áreas comuns dos pisos inferiores, contribuiu para o congestionamento observado.

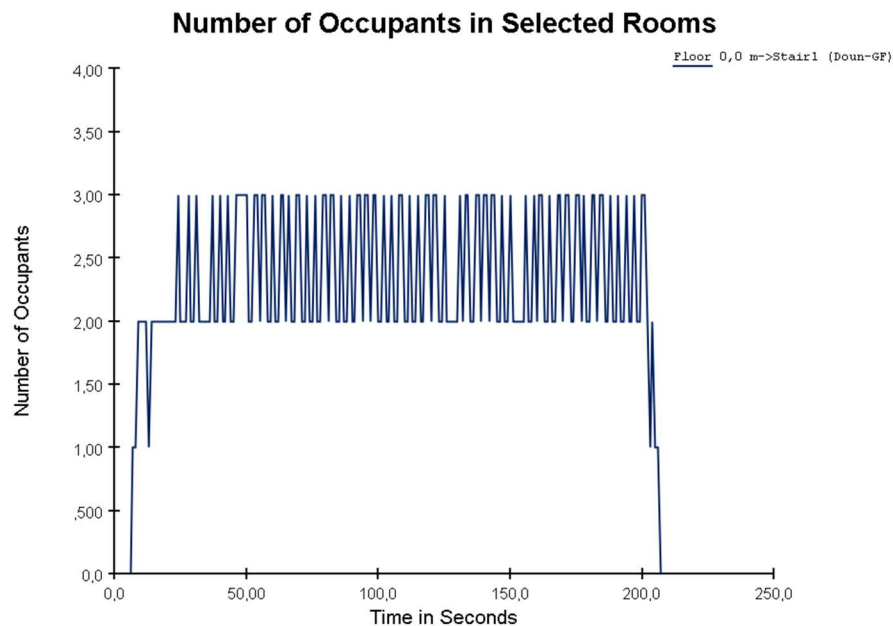


Figura 22 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com as quatro portas de saída do hotel disponíveis (cenário 1)

A existência de um considerável "*bottleneck*" é ainda confirmada pelos dados apresentados na Tabela 7, que indicam um tempo de congestionamento significativo, de aproximadamente 76 segundos por pessoa. O gráfico presente na Figura 22 reforça essa observação ao mostrar o número de ocupantes na escada ao longo do tempo.

O padrão irregular e oscilante do gráfico reflete o fluxo constante e limitado de pessoas que conseguem utilizar a escada simultaneamente, confirmando a limitação de capacidade. Essa oscilação no número de ocupantes nas escadas sugere que o "*bottleneck*" não apenas retardou o processo de evacuação, mas também criou momentos de espera e atraso à medida que as pessoas aguardavam para descer. Esta limitação de fluxo, representada pela incapacidade de mais de 2 a 3 pessoas estarem na escada ao mesmo tempo, demonstra como o estrangulamento nas escadas impactou diretamente a eficiência da evacuação e contribuiu para o prolongamento do tempo necessário para evacuar o edifício de forma segura.

3.3.1.2 Estratégia 2 – Edifício com a Saída Principal Bloqueada

Na estratégia 2, a evacuação dos 200 hóspedes foi realizada utilizando três das quatro portas de saída disponíveis no hotel, uma vez que a Porta Principal foi considerada obstruída nesta simulação. Todos os ocupantes foram atribuídos ao comportamento "*Go to Any Exit*", permitindo que efetuassem a evacuação sem orientações específicas, seguindo o percurso mais curto até uma das saídas restantes (Porta Lateral e as duas Garagens). Esta simulação teve como objetivo testar a eficiência do plano de evacuação em um cenário adverso, onde uma das principais saídas não está acessível, replicando assim uma situação de emergência em que os ocupantes precisam utilizar as alternativas disponíveis.

A Tabela 8 apresenta os resultados detalhados desta simulação, destacando vários parâmetros essenciais para a análise do desempenho do processo de evacuação. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, bem como o tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados são fundamentais para avaliar a eficácia do plano de evacuação em condições de restrição de saídas, além de ajudar a identificar possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 8 - Resultado da simulação do Cenário 2

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo de Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
2	Porta Principal Bloqueada	210.350	80.955	79.873	31.770	166.300	50.375	75.100	17.588

A Figura 23 apresenta de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes no cenário 2, onde três das quatro portas de saída do edifício foram utilizadas, uma vez que a Porta Principal estava obstruída. Este gráfico permite observar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, destacando como a utilização das saídas restantes contribuiu para um fluxo de evacuação relativamente eficiente, apesar da restrição. A análise do gráfico facilita a compreensão da distribuição do fluxo através das diferentes saídas e permite identificar momentos críticos, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é fundamental para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado em condições adversas, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação quando uma das saídas principais não está operacional.

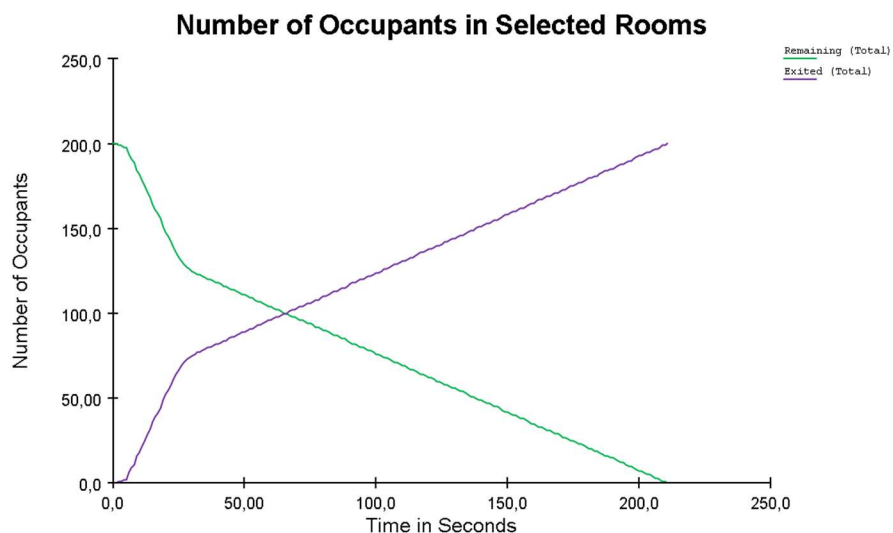


Figura 23 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a porta principal do hotel bloqueada (cenário 2)

Ao analisar a Figura 23, observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, indicando um fluxo constante e organizado de evacuação. Inicialmente, há uma descida acentuada no número de ocupantes

ainda presentes no edifício, enquanto o número de pessoas que saíram aumenta de forma correspondente, demonstrando uma resposta rápida e eficaz à necessidade de evacuação.

Notavelmente, por volta dos 66 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que sublinha a eficácia do plano de evacuação durante a fase inicial, mesmo com a restrição da Porta Principal. Este ponto de inflexão no gráfico é um indicador positivo de que a evacuação foi conduzida de maneira ágil e sem interrupções significativas. À medida que o tempo avança, o gráfico mantém uma trajetória consistente, com a evacuação prosseguindo de forma controlada até que todos os ocupantes tenham saído. Este comportamento gráfico reflete a eficiência do processo de evacuação, garantindo que a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto e sem grandes atrasos, mesmo diante das limitações impostas pelo cenário 2.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 24 apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três principais portas de saída ao longo do tempo no cenário 2, onde a Porta Principal estava obstruída. Este gráfico oferece uma visão mais granular de como a evacuação se processou em cada uma das saídas disponíveis, permitindo identificar padrões específicos de utilização, como picos de fluxo e momentos de maior ou menor intensidade. A análise destas taxas de fluxo é crucial para compreender o comportamento dos ocupantes durante a evacuação, bem como para avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

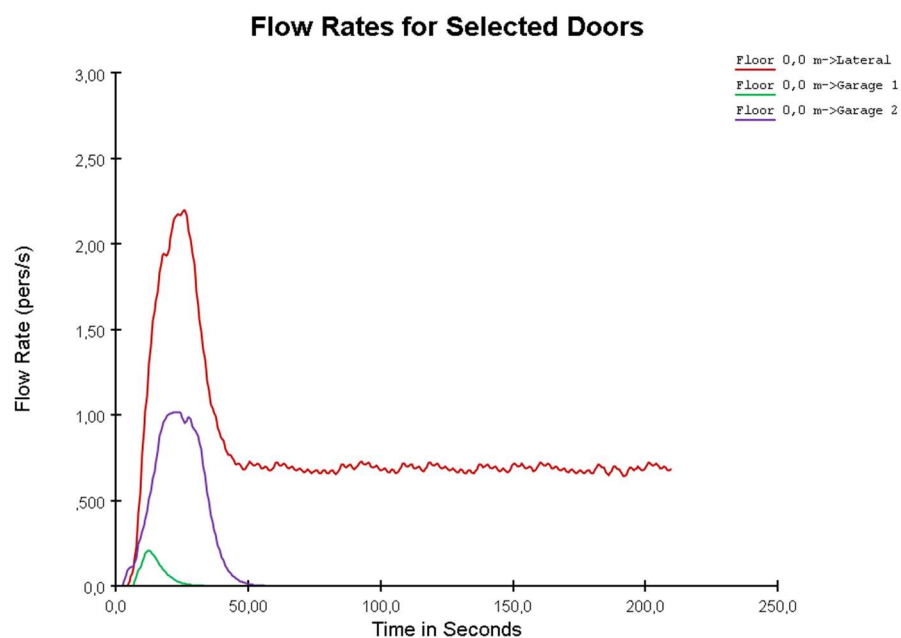


Figura 24 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a porta principal do hotel bloqueada (cenário 2)

O gráfico apresentado na Figura 24 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário

2. As saídas analisadas incluem a porta Lateral (linha vermelha), a Garagem 1 (linha verde) e a Garagem 2 (linha roxa).

Observa-se que a porta Lateral (linha vermelha) foi a mais utilizada inicialmente, evidenciada por um pico elevado e abrupto no fluxo de pessoas. Este pico deve-se, em grande parte, à proximidade desta porta com as únicas escadas que ligam aos andares superiores, tornando-a a rota preferida para os ocupantes desses pisos. A utilização contínua desta porta ao longo do tempo sublinha sua importância como uma das principais rotas de saída do edifício, especialmente em um cenário onde a Porta Principal está indisponível.

A Garagem 1 (linha verde) apresentou um fluxo mais moderado e constante ao longo do tempo, sugerindo que foi utilizada predominantemente pelo pessoal do hotel que trabalhava nas áreas de cozinha, situadas próximas a essa saída. Este fluxo contínuo e organizado indica que o pessoal utilizou a Garagem 1 de forma eficiente, sem grandes interrupções, contribuindo para uma evacuação ordenada.

Por outro lado, a Garagem 2 (linha roxa) exibiu um pico inicial de fluxo seguido de uma rápida diminuição, o que sugere que os funcionários que utilizavam essa saída evacuaram rapidamente em um curto espaço de tempo, possivelmente devido à localização próxima aos pontos de descarga. Este padrão de fluxo reflete uma evacuação concentrada e eficiente, mas de menor volume em comparação com as outras saídas.

Estes padrões de fluxo evidenciam uma utilização funcional e bem distribuída das saídas do hotel no cenário 2. A porta Lateral, devido à sua ligação direta com as escadas dos andares superiores, suportou a maior parte da evacuação, enquanto as garagens serviram como rotas especializadas para o pessoal do hotel. Essa distribuição estratégica das saídas permitiu minimizar congestionamentos e garantir uma evacuação eficiente e organizada, mesmo com a restrição da Porta Principal. Estes dados sublinham a importância de planejar a utilização das saídas em cenários de evacuação, assegurando que diferentes grupos de ocupantes possam utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

Neste cenário, observou-se que o estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, presente no cenário 1, também se manteve no cenário 2. Este estrangulamento foi mais acentuado nos andares inferiores, resultando em congestionamentos notáveis, especialmente na zona do bar e nas plataformas entre os lances de escadas, onde houve um aglomerado maior de ocupantes.

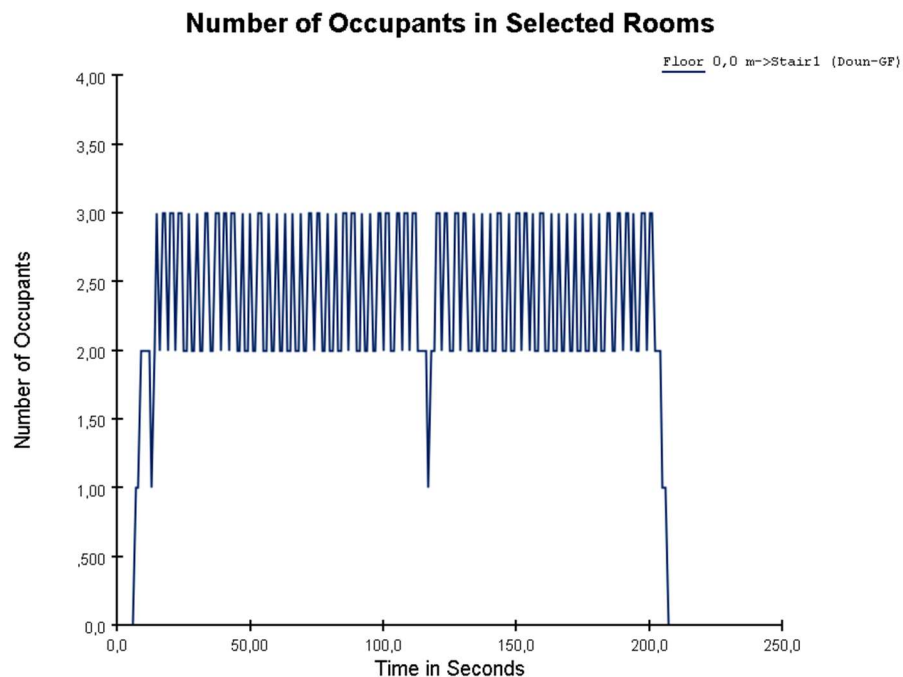


Figura 25 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com três portas de saída disponíveis, considerando a porta principal do hotel bloqueada (cenário 2)

Através da Figura 25, que ilustra o número de ocupantes nas escadas ao longo do tempo, é possível identificar claramente a persistência deste estrangulamento. Em cada lance de escadas, apenas 2 a 3 pessoas conseguem estar presentes simultaneamente, criando um "*bottleneck*" significativo que continuou a retardar o processo de evacuação. Este fator, combinado com a elevada concentração de pessoas nas áreas comuns dos pisos inferiores, contribuiu para o congestionamento observado tanto no cenário 1 quanto no cenário 2.

A existência deste considerável "*bottleneck*" é ainda confirmada pelos dados apresentados na Tabela 8, que indicam um tempo de congestionamento significativo, de aproximadamente 75 segundos por pessoa. O gráfico em anexo reforça essa observação ao mostrar o número de ocupantes na escada ao longo do tempo.

O padrão irregular e oscilante do gráfico reflete o fluxo constante e limitado de pessoas que conseguem utilizar a escada simultaneamente, confirmando a limitação de capacidade. Essa oscilação no número de ocupantes nas escadas sugere que o "*bottleneck*" não apenas retardou o processo de evacuação, mas também criou momentos de espera e atraso à medida que as pessoas aguardavam para descer. Esta limitação de fluxo, representada pela incapacidade de mais de 2 a 3 pessoas estarem na escada ao mesmo tempo, demonstra como o estrangulamento nas escadas impactou diretamente a eficiência da evacuação e contribuiu para o prolongamento do tempo necessário para evacuar o edifício de forma segura, tanto no cenário 1 quanto no cenário 2.

3.3.1.3 Estratégia 3 – Edifício com a Saída Lateral Bloqueada

Na estratégia 3, a evacuação dos 200 hóspedes foi realizada utilizando três das quatro portas de saída disponíveis no hotel, uma vez que a saída lateral, que nos cenários anteriores foi a mais utilizada, foi obstruída nesta simulação. Todos os ocupantes foram atribuídos ao comportamento "Go to Any Exit", permitindo que efetuassem a evacuação sem orientações específicas, seguindo o percurso mais curto até uma das saídas restantes. Esta simulação teve como objetivo avaliar a eficiência do plano de evacuação em condições adversas, replicando um cenário onde uma das saídas mais importantes, a saída lateral, não está acessível.

A Tabela 9 apresenta os resultados detalhados desta simulação de evacuação, destacando vários parâmetros cruciais para a análise do desempenho do processo. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, além do tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados permitem uma avaliação abrangente da eficácia do plano de evacuação implementado, oferecendo insights sobre como a obstrução da saída lateral impactou o fluxo de evacuação e ajudando a identificar possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 9 - Resultado da simulação do Cenário 3

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
3	Porta Lateral Bloqueada	213,100	83,698	83,324	34,699	158,275	48,402	71,600	16,633

A Figura 26 ilustra de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes no cenário 3, onde três das quatro portas de saída do edifício foram utilizadas, devido à obstrução da saída lateral. Este gráfico permite visualizar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, evidenciando como a utilização das saídas restantes influenciou o fluxo de evacuação. A análise do gráfico possibilita compreender a distribuição do fluxo através das diferentes saídas e identificar momentos chave, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é crucial para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado em condições de restrição, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação quando uma das principais portas não está operacional.

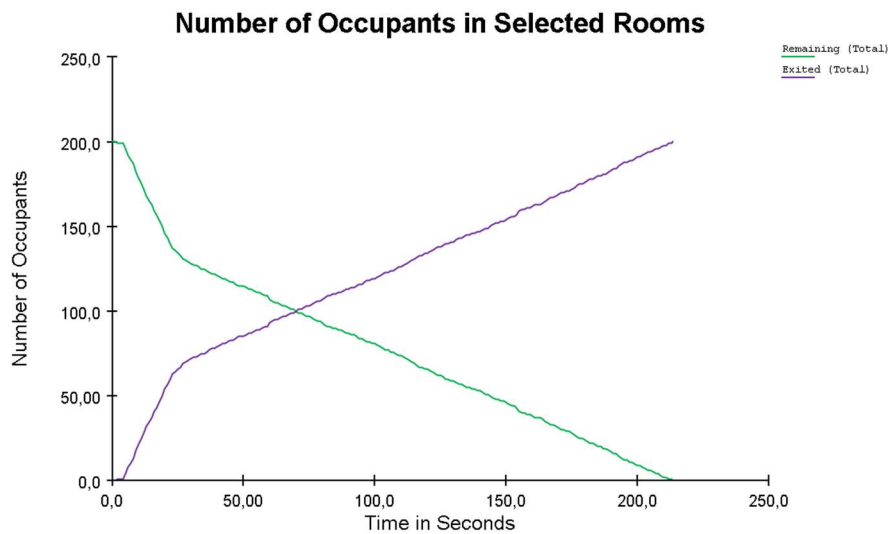


Figura 26 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a porta lateral do hotel bloqueada (cenário 3)

Ao analisar a Figura 26, observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, sugerindo um fluxo constante e bem organizado de evacuação, mesmo com a saída lateral obstruída. Inicialmente, há uma descida acentuada no número de ocupantes ainda presentes no edifício, enquanto o número de pessoas que saíram aumenta de forma correspondente, indicando uma resposta rápida e eficiente à necessidade de evacuação.

Notavelmente, por volta dos 70 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que demonstra a eficácia do plano de evacuação durante a fase inicial, mesmo com a limitação imposta pela obstrução da saída lateral. Este ponto de inflexão no gráfico é um indicador positivo de que a evacuação foi conduzida de maneira ágil e sem grandes interrupções. À medida que o tempo avança, o gráfico mantém uma trajetória consistente, com a evacuação continuando de forma controlada até que todos os ocupantes tenham saído. Este comportamento gráfico sublinha a resiliência e eficiência do processo de evacuação, garantindo que a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto e sem grandes atrasos, mesmo diante das adversidades deste cenário.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 27 apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três principais portas de saída ao longo do tempo no cenário 3, onde a saída lateral foi obstruída. Este gráfico oferece uma visão mais granular de como a evacuação se processou em cada uma das saídas disponíveis, permitindo identificar padrões específicos de utilização, como picos de fluxo e momentos de maior ou menor intensidade. A análise destas taxas de fluxo é crucial para compreender o comportamento dos ocupantes durante a evacuação, bem como para avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

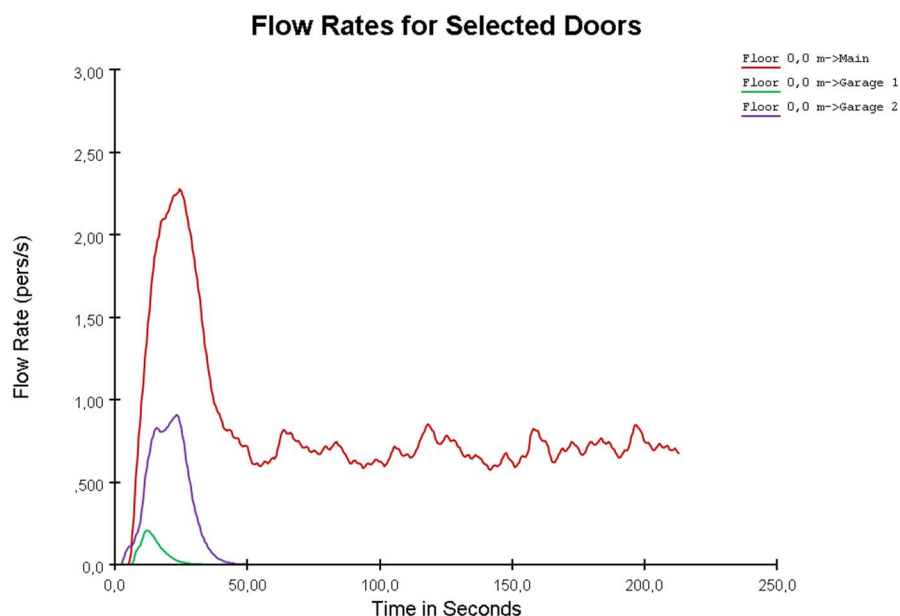


Figura 27- Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a porta lateral do hotel bloqueada (cenário 3)

O gráfico apresentado na Figura 27 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das três saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário 3. As saídas analisadas incluem a porta Principal (linha vermelha), a Garagem 1 (linha verde) e a Garagem 2 (linha roxa).

Observa-se que a porta Principal (linha vermelha) foi a mais utilizada inicialmente, evidenciada por um pico elevado e abrupto no fluxo de pessoas. Este pico deve-se, em grande parte, ao fato de a porta Principal ser a saída mais próxima das escadas que ligam aos pisos superiores, seguinte à porta lateral, que estava bloqueada. Com a obstrução da saída lateral, muitos ocupantes dos andares superiores escolheram a porta Principal como a rota alternativa mais próxima e acessível. Após este fluxo inicial, a utilização da porta Principal diminuiu, mas mantém-se constante ao longo do tempo, indicando que ela continuou a ser a escolha preferida por muitos ocupantes, mesmo após o pico inicial.

A Garagem 1 (linha verde) apresentou um fluxo mais moderado e constante ao longo do tempo, sugerindo que foi utilizada predominantemente pelo pessoal do hotel que trabalhava nas áreas de cozinha e serviços. O fluxo constante e organizado indica que o pessoal utilizou esta saída de forma eficiente, em grupos organizados, sem grandes interrupções, contribuindo para uma evacuação ordenada.

Por outro lado, a Garagem 2 (linha roxa) exibiu um pico inicial de fluxo seguido de uma rápida diminuição, o que sugere que os funcionários que utilizavam essa saída evacuaram rapidamente em um curto espaço de tempo, possivelmente devido à localização próxima aos pontos de descarga. Este padrão de fluxo reflete uma evacuação concentrada e eficiente, mas de menor volume em comparação com as outras saídas.

Estes padrões de fluxo evidenciam uma utilização funcional e bem distribuída das saídas do hotel no cenário 3. A porta Principal, devido à sua proximidade das escadas que levam aos pisos superiores, suportou a maior parte da evacuação, especialmente após a obstrução da saída lateral, enquanto as garagens serviram como rotas especializadas para o pessoal do hotel. Essa distribuição estratégica das saídas permitiu minimizar congestionamentos e garantir uma evacuação eficiente e organizada, mesmo com a restrição da saída lateral. Estes dados sublinham a importância de planejar a utilização das saídas em cenários de evacuação, assegurando que diferentes grupos de ocupantes possam utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

Neste cenário, observou-se que o estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, presente nos cenários 1 e 2, também se manteve no cenário 3. Este estrangulamento foi igualmente mais acentuado nos andares inferiores, resultando em congestionamentos notáveis, especialmente nas zonas de maior concentração de ocupantes, como a área do bar e nas plataformas entre os lances de escadas. A Figura 28 confirma essa continuidade do "bottleneck", mostrando como o fluxo de evacuação foi novamente limitado pela capacidade das escadas, levando a aglomerações similares às observadas nos cenários anteriores.

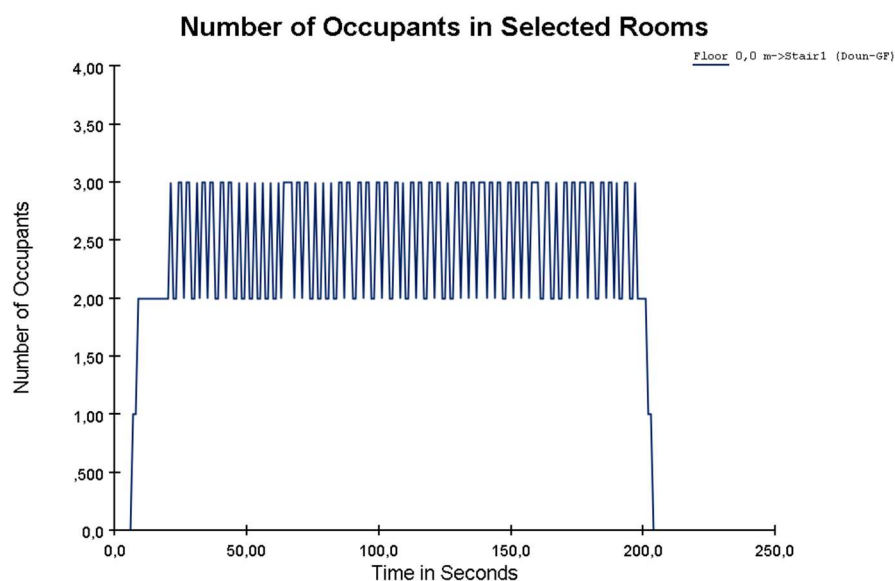


Figura 28 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com três portas de saída disponíveis, considerando a porta lateral do hotel bloqueada(cenário 3)

3.3.1.4 Estratégia 4 – Edifício com as Saídas Principais Bloqueadas

Na estratégia 4, a evacuação dos 200 hóspedes foi realizada utilizando apenas duas das quatro portas de saída disponíveis no hotel, uma vez que tanto a saída Principal quanto a saída Lateral, que nos cenários anteriores foram as mais utilizadas, foram obstruídas nesta simulação. Todos os ocupantes foram atribuídos ao comportamento "Go to Any Exit", obrigando-os a evacuar através das saídas restantes, que são as duas Garagens, geralmente utilizadas pelo staff do hotel.

Esta simulação teve como objetivo avaliar a eficiência do plano de evacuação em condições extremamente adversas, replicando um cenário onde as duas saídas mais importantes e acessíveis estão bloqueadas, forçando todos os ocupantes a utilizar as saídas menos convencionais. Este representa o pior cenário plausível de acontecer, testando ao máximo a capacidade das infraestruturas do hotel para lidar com uma evacuação de emergência.

A Tabela 10 apresenta os resultados detalhados desta simulação de evacuação, destacando vários parâmetros cruciais para a análise do desempenho do processo. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, além do tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados permitem uma avaliação abrangente da eficácia do plano de evacuação implementado, oferecendo insights sobre como a obstrução da saída lateral impactou o fluxo de evacuação e ajudando a identificar possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 10 - Resultado da simulação do Cenário 4

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
4	Portas Principais Bloqueadas	227,050	100,783	98,323	46,908	159,225	53,082	76,050	18,128

A Figura 29 ilustra de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes no cenário 4, onde apenas duas das quatro portas de saída do edifício foram utilizadas, devido à obstrução simultânea da saída Principal e da saída Lateral. Este gráfico permite visualizar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, evidenciando como a utilização das saídas restantes (Garagem 1 e Garagem 2) influenciou o fluxo de evacuação. A análise do gráfico possibilita compreender a distribuição do fluxo através das diferentes saídas e identificar momentos chave, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é crucial para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado em condições extremas, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação quando as saídas mais acessíveis não estão operacionais.

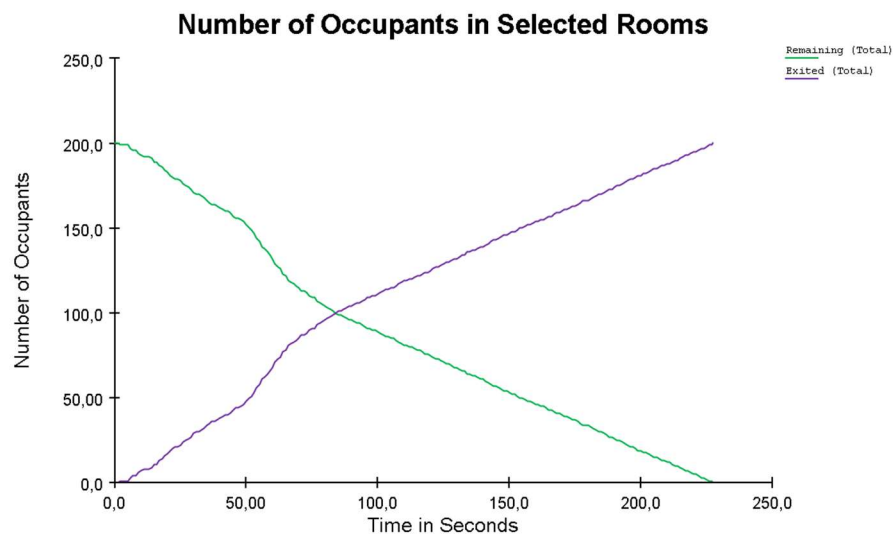


Figura 29 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com as saídas principais do hotel bloqueadas (cenário 4)

Ao analisar a Figura 29, observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, sugerindo um fluxo constante e bem organizado de evacuação, mesmo com as saídas Principal e Lateral obstruídas. Inicialmente, há uma descida acentuada no número de ocupantes ainda presentes no edifício, enquanto o número de pessoas que saíram aumenta de forma correspondente, indicando uma resposta relativamente eficiente à necessidade de evacuação, apesar das restrições severas.

Notavelmente, por volta dos 84 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que demonstra que, apesar das limitações impostas pela obstrução das duas principais saídas, o plano de evacuação conseguiu manter uma certa eficácia durante a fase inicial. Este ponto de inflexão no gráfico é um indicador positivo de que a evacuação foi conduzida de maneira razoavelmente ágil, embora mais lenta do que em cenários anteriores. À medida que o tempo avança, o gráfico mantém uma trajetória consistente, com a evacuação continuando de forma controlada até que todos os ocupantes tenham saído. Este comportamento gráfico sublinha a resiliência do processo de evacuação, garantindo que, apesar das adversidades extremas deste cenário, a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto, ainda que com maiores desafios e possíveis atrasos.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 30 apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas principais portas de saída ao longo do tempo no cenário 3, onde a saída lateral foi obstruída. Este gráfico oferece uma visão mais específica de como a evacuação se processou em cada uma das saídas disponíveis, permitindo identificar padrões de utilização, como picos de fluxo e variações na intensidade do movimento. A análise dessas taxas de fluxo é fundamental para compreender o comportamento dos ocupantes durante a evacuação e para avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

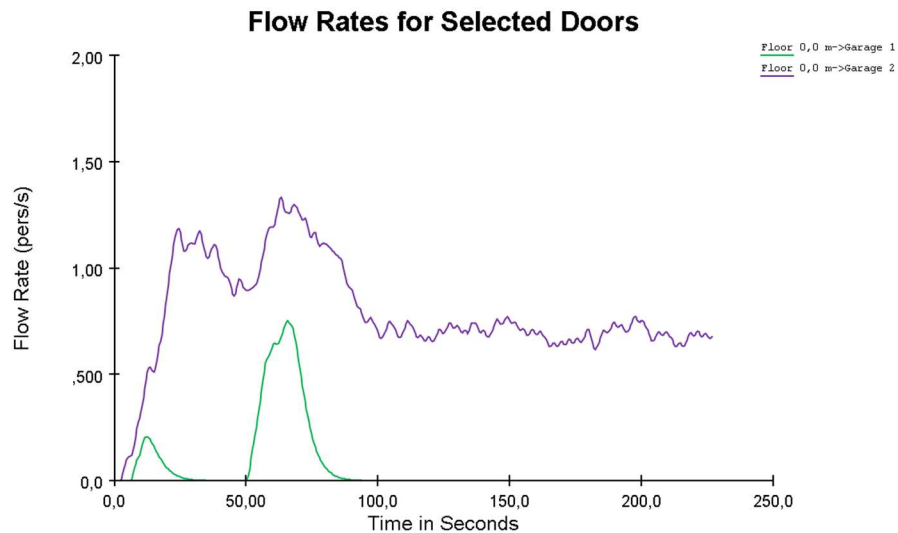


Figura 30- Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando as duas portas principais do hotel bloqueadas (cenário 4)

O gráfico apresentado na Figura 30 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário 3. As saídas analisadas incluem a Garagem 1 (linha verde) e a Garagem 2 (linha roxa).

Observa-se que a Garagem 2 (linha roxa) foi a mais utilizada inicialmente, evidenciada por um pico elevado e abrupto no fluxo de pessoas. Este pico deve-se, em grande parte, ao fato de a Garagem 2 ser a saída mais próxima para um grupo significativo de ocupantes, que provavelmente se encontravam nas áreas mais próximas dos pontos de descarga ou outras áreas de serviço. Após este fluxo inicial, a utilização da Garagem 2 diminuiu, mas mantém-se em níveis relativamente constantes ao longo do tempo, indicando que ela continuou a ser uma rota preferida para muitos ocupantes, mesmo após o pico inicial.

A Garagem 1 (linha verde) apresentou um fluxo mais moderado e concentrado em um curto período, sugerindo que foi utilizada predominantemente por um grupo menor de pessoas, possivelmente devido à sua localização menos acessível ou à sua utilização por um grupo específico de funcionários do hotel. O padrão de fluxo indica uma evacuação rápida e concentrada, mas de menor volume em comparação com a Garagem 2.

Esses padrões de fluxo evidenciam uma utilização funcional e distribuída das saídas do hotel no cenário 3. A Garagem 2, devido à sua localização e acessibilidade, suportou a maior parte da evacuação, especialmente após a obstrução da saída lateral. A Garagem 1, embora menos utilizada, ainda contribuiu para a evacuação, servindo como uma rota especializada para o pessoal do hotel. Essa distribuição das saídas permitiu minimizar congestionamentos e garantir uma evacuação eficiente e organizada, mesmo com a restrição da saída lateral. Estes dados sublinham a importância de planejar a utilização das saídas em cenários de evacuação, assegurando que diferentes grupos de ocupantes possam utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

Neste cenário, observou-se um estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, similar ao observado nos cenários 1, 2 e 3, com o congestionamento mais acentuado nos andares inferiores. Esse estrangulamento resultou em um aglomerado maior de pessoas na zona do bar e nas plataformas entre os lances de escadas, onde o fluxo de evacuação foi consideravelmente retardado. Além disso, no cenário 4, foi identificado um novo estrangulamento, embora de menor intensidade, nas escadas que levam às Garagens. Este novo ponto de congestionamento adicional contribuiu para atrasos na evacuação, particularmente entre os ocupantes que precisaram utilizar essas saídas após a obstrução das saídas principais. Esses fatores combinados evidenciam a complexidade e os desafios enfrentados durante a evacuação, mostrando que, mesmo com a distribuição dos ocupantes entre as saídas restantes, a capacidade das infraestruturas, como as escadas, foi severamente testada, como se pode ver na Figura 31.

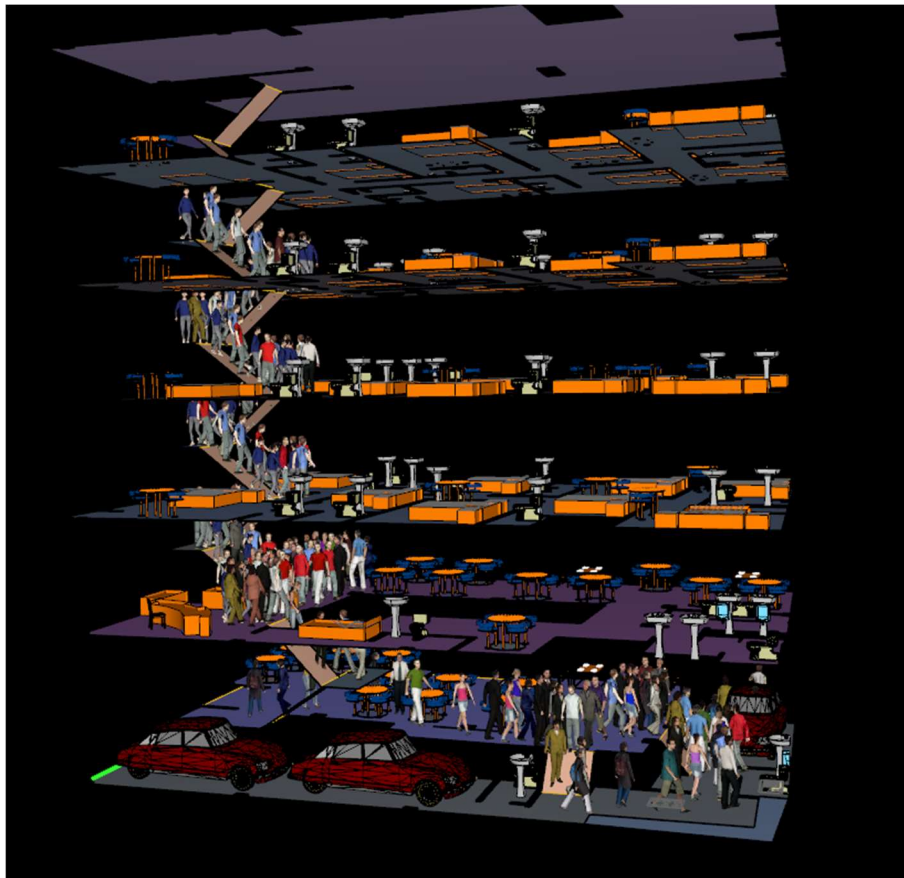


Figura 31 - Vista 3D do *bottleneck* (cenário 4)

Através da Figura 31, que ilustra o número de ocupantes nas escadas que levam aos pisos superiores ao longo do tempo, é possível identificar claramente a causa do estrangulamento. Em cada lance de escadas, apenas 2 a 3 pessoas conseguem estar presentes simultaneamente, criando um "*bottleneck*" significativo que retardou o processo de evacuação. Este fator, combinado com a elevada concentração de pessoas nas áreas comuns dos pisos inferiores, contribuiu para o congestionamento observado nas escadas principais.

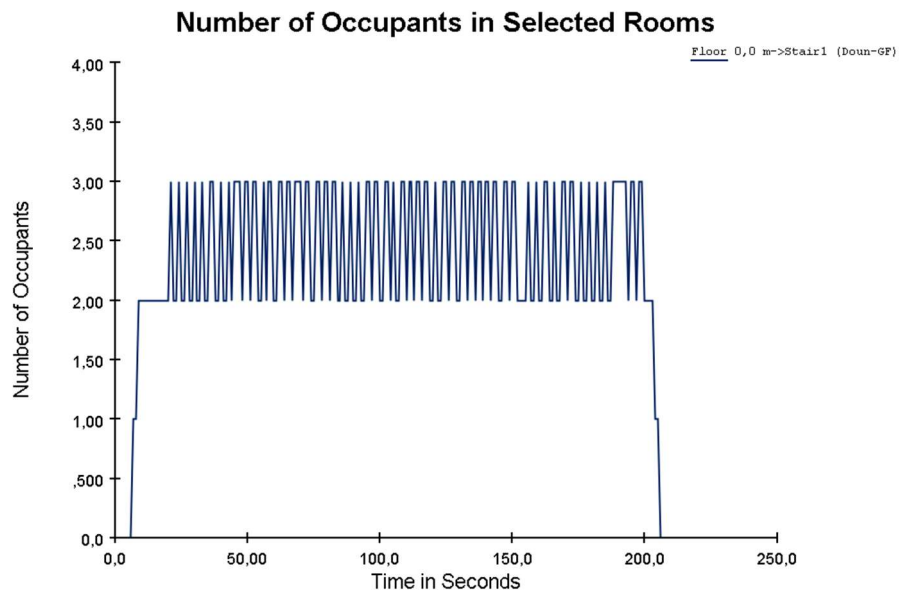


Figura 32 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com duas portas de saída disponíveis, considerando as duas portas principais do hotel bloqueadas (cenário 4)

Além disso, a Figura 32, que representa as escadas que levam às saídas disponíveis (Garagem 1 e Garagem 2), revela um segundo estrangulamento, embora de menor intensidade. No gráfico, a linha azul claro mostra o fluxo na escada que leva à Garagem 1, enquanto a linha verde representa a escada que leva à Garagem 2. Este segundo "bottleneck" acrescentou mais um ponto de atraso à evacuação, especialmente após as saídas principais terem sido obstruídas. O padrão observado na Figura 33 sugere que, embora essas escadas suportassem menos ocupantes simultaneamente, o impacto foi significativo o suficiente para prolongar ainda mais o tempo total de evacuação. Esses fatores combinados reforçam a necessidade de uma avaliação criteriosa das capacidades das infraestruturas de evacuação, especialmente em cenários adversos.

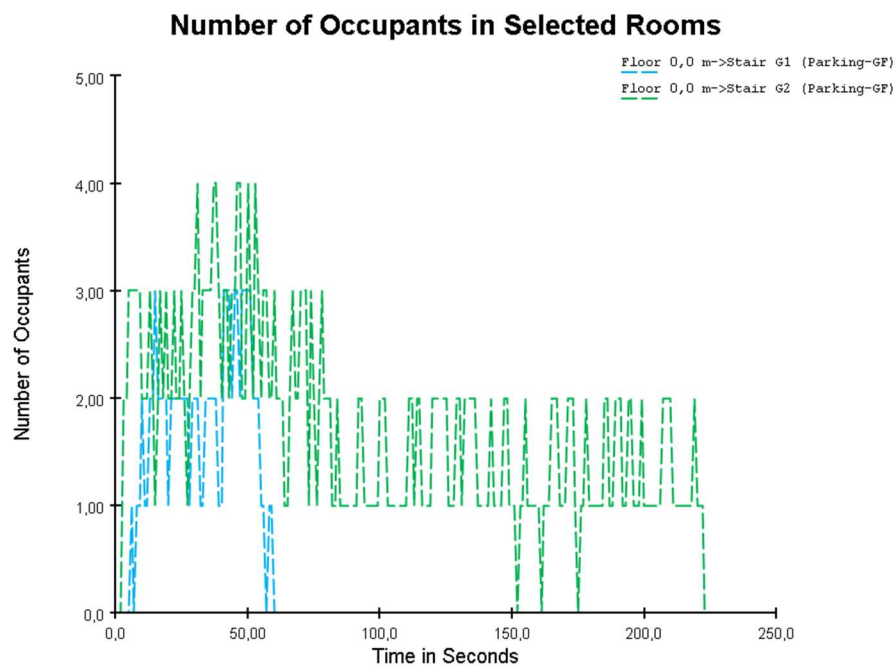


Figura 33 - Número de ocupantes por porta de saída disponível (Garagem 1 e 2) ao longo do tempo, considerando as duas portas principais do hotel bloqueadas (cenário 4)

A existência destes "*bottlenecks*" é ainda confirmada pelos dados apresentados na Tabela 10, que indicam um tempo de congestionamento máximo de 76,05 segundos e um tempo médio de congestionamento de 18,128 segundos por pessoa. O gráficos em anexo (Figura 34 e Figura 35) reforça essa observação ao mostrar o número de ocupantes na escada ao longo do tempo. O padrão irregular e oscilante do gráfico reflete o fluxo constante e limitado de pessoas que conseguem utilizar a escada simultaneamente, confirmando a limitação de capacidade. Essa oscilação no número de ocupantes nas escadas sugere que o "*bottleneck*" não apenas retardou o processo de evacuação, mas também criou momentos de espera e atraso à medida que as pessoas aguardavam para descer. Esta limitação de fluxo, representada pela incapacidade de mais de 2 a 3 pessoas, tendo um máximo irregular de 4, estarem na escada ao mesmo tempo, demonstra como o estrangulamento nas escadas impactou diretamente a eficiência da evacuação e contribuiu para o prolongamento do tempo necessário para evacuar o edifício de forma segura.

3.3.1.5 Estratégia 5 – Edifício com as Saídas das Garagens Bloqueadas

Na estratégia 5, a evacuação das 200 pessoas foi realizada utilizando apenas as duas saídas principais do hotel, uma vez que as saídas destinadas ao staff (Garagem 1 e Garagem 2) foram obstruídas nesta simulação. Todos os ocupantes, incluindo o staff, foram atribuídos ao comportamento "Go to Any Exit", forçando-os a evacuar sem orientações específicas e seguido o percurso mais curto até uma das saídas principais restantes. Esta simulação teve como objetivo avaliar a eficiência do plano de evacuação em condições extremamente adversas, replicando um cenário em que as saídas secundárias estão inacessíveis, obrigando todos os ocupantes a compartilhar as mesmas rotas de evacuação.

A Tabela 11 apresenta os resultados detalhados desta simulação de evacuação, destacando vários parâmetros cruciais para a análise do desempenho do processo. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, além do tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados permitem uma avaliação abrangente da eficácia do plano de evacuação implementado, oferecendo insights sobre como a obstrução das saídas do staff impactou o fluxo de evacuação, forçando uma maior concentração de pessoas nas saídas principais, e ajudando a identificar possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 11 - Resultado da simulação do Cenário 5

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
5	Garagens Bloqueadas	209,325	80,065	79,701	31,239	155,850	49,109	72,300	17,461

A Figura 34 ilustra de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes no cenário 4, onde apenas duas das quatro portas de saída do edifício foram utilizadas, devido à obstrução das saídas do staff (Garagem 1 e Garagem 2). Este gráfico permite visualizar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, evidenciando como a utilização das saídas principais influenciou o fluxo de evacuação. A análise do gráfico possibilita compreender a distribuição do fluxo através das diferentes saídas e identificar momentos chave, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é crucial para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado em condições de restrição severa, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação quando as saídas secundárias não estão disponíveis.

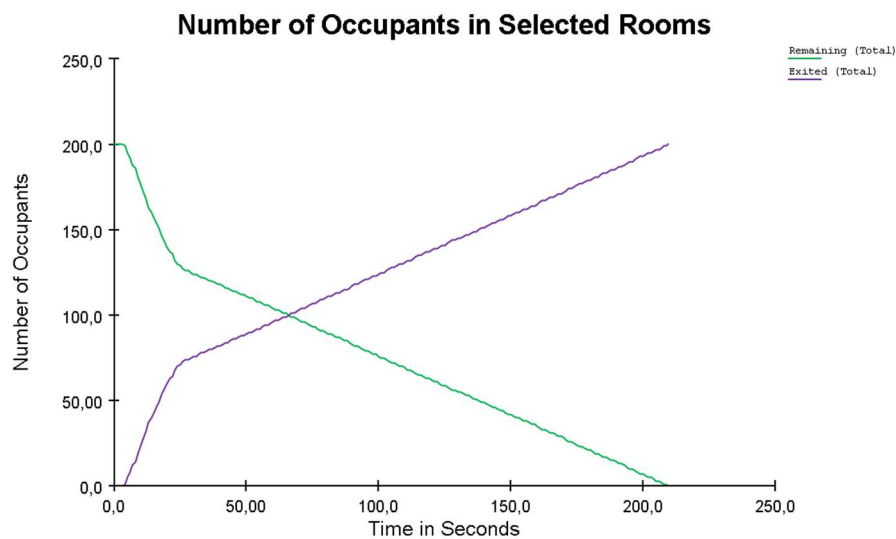


Figura 34 - Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com as saídas das garagens do hotel bloqueadas (cenário 5)

Ao analisar a Figura 34, observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, sugerindo um fluxo constante e bem organizado de evacuação, mesmo com as saídas do staff obstruídas. Inicialmente, há uma descida acentuada no número de ocupantes ainda presentes no edifício, enquanto o número de pessoas que saíram aumenta de forma correspondente, indicando uma resposta rápida e eficiente à necessidade de evacuação.

Notavelmente, por volta dos 66 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que demonstra a eficácia do plano de evacuação durante a fase inicial, mesmo com a limitação imposta pela obstrução das saídas secundárias. Este ponto de inflexão no gráfico é um indicador positivo de que a evacuação foi conduzida de maneira ágil e sem grandes interrupções. À medida que o tempo avança, o gráfico mantém uma trajetória consistente, com a evacuação continuando de forma controlada até que todos os ocupantes tenham saído. Este comportamento gráfico sublinha a resiliência e eficiência do processo de evacuação, garantindo que a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto e sem grandes atrasos, mesmo diante das adversidades deste cenário.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 35 apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas principais portas de saída ao longo do tempo no cenário 5, onde as saídas do staff (Garagem 1 e Garagem 2) foram obstruídas. Este gráfico oferece uma visão mais específica de como a evacuação se processou nas saídas restantes, permitindo identificar padrões de utilização, como picos de fluxo e momentos de maior ou menor intensidade. A análise destas taxas de fluxo é crucial para compreender o comportamento dos ocupantes durante a evacuação e avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

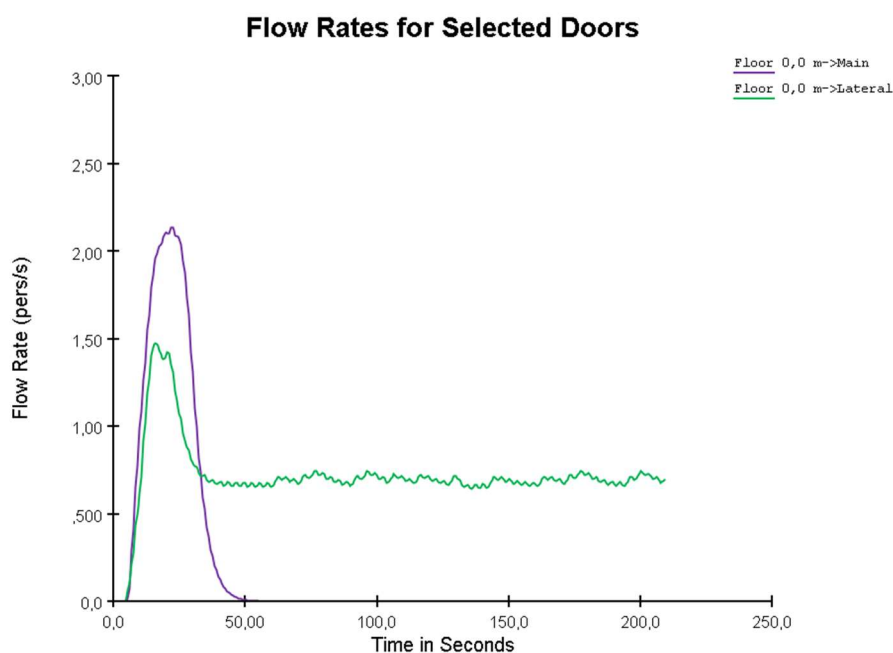


Figura 35 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando as duas portas das garagens do hotel bloqueadas (cenário 5)

O gráfico apresentado na Figura 35 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das duas saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário 5. As saídas analisadas incluem a entrada Principal (linha roxa) e a entrada Lateral (linha verde).

Observa-se que a entrada Principal (linha roxa) foi a mais utilizada inicialmente, evidenciada por um pico elevado e abrupto no fluxo de pessoas. Este pico deve-se, em grande parte, ao fato de a entrada Principal ser a saída mais próxima da zona de restauração e da área do staff. Muitos ocupantes que se encontravam nessas áreas, especialmente o pessoal do staff, escolheram esta rota por ser a mais acessível. Após este fluxo inicial, a utilização da entrada Principal diminuiu rapidamente, indicando que a maioria dos ocupantes dessas áreas evacuou rapidamente nos primeiros momentos da evacuação.

A entrada Lateral (linha verde), por outro lado, apresentou um fluxo mais sustentado ao longo do tempo. Este fluxo constante deve-se ao fato de a entrada Lateral ser a saída mais próxima das escadas que ligam aos pisos superiores. Esta proximidade fez com que a entrada Lateral fosse a escolha natural para muitos dos ocupantes que desciam dos andares superiores, garantindo um fluxo contínuo e distribuído ao longo do processo de evacuação.

Esses padrões de fluxo evidenciam a importância da utilização estratégica das saídas disponíveis no cenário 5. A entrada Principal, sendo a mais acessível para aqueles na zona de restauração e para o staff, suportou o maior pico de evacuação inicial, enquanto a entrada Lateral, devido à sua proximidade com as escadas dos pisos superiores, manteve um fluxo constante e crucial para o escoamento contínuo dos ocupantes. Essa distribuição permitiu minimizar os

congestionamentos e garantir uma evacuação relativamente eficiente e organizada, mesmo com a obstrução das saídas do staff. Estes dados sublinham a importância de um planejamento cuidadoso das saídas em cenários de evacuação, assegurando que diferentes grupos de ocupantes possam utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

Neste cenário, constatou-se que o estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, observado nos cenários 1, 2 e 3, também persiste no cenário 5. Esse "bottleneck" manteve-se especialmente acentuado nos andares inferiores, resultando em congestionamentos notáveis, particularmente nas áreas de maior concentração de ocupantes, como a zona do bar e nas plataformas entre os lances de escadas. A Figura 38, apresentada abaixo, confirma a continuidade desse estrangulamento, demonstrando como a capacidade limitada das escadas voltou a restringir o fluxo de evacuação, levando a aglomerações similares às verificadas nos cenários anteriores. Isso reforça a importância de abordar essa limitação crítica nas estratégias de evacuação para melhorar a eficiência e a segurança do processo.

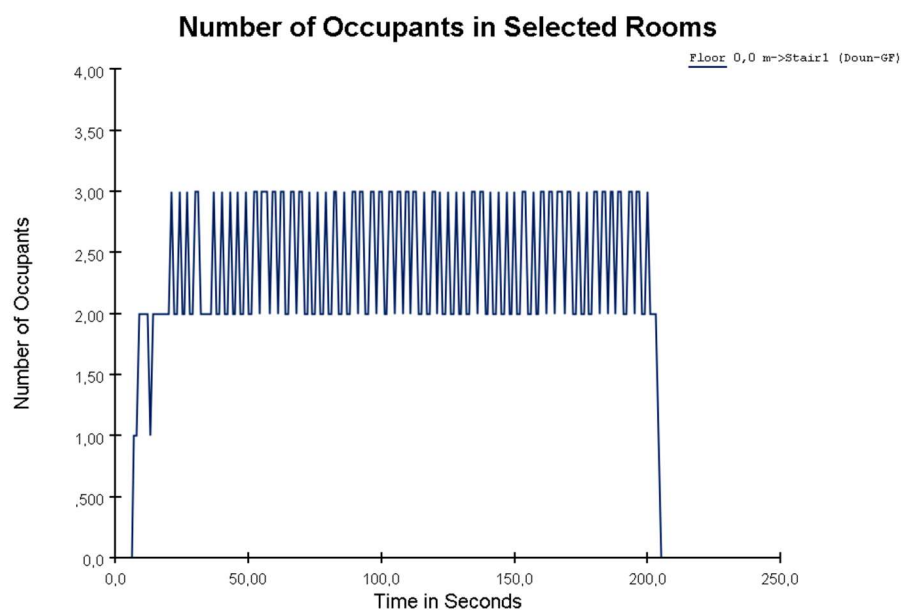


Figura 36 - Número de ocupantes na escada ao longo do tempo com duas portas de saída disponíveis, considerando as duas portas das garagens do hotel bloqueadas (cenário 5)

3.3.2 Proposta 2 – Edifício Original

Nesta secção será avaliada a evacuação do edifício, considerando algumas alterações na sua configuração original, como a adição de um elevador e uma escadaria adicional. O objetivo será verificar se essas modificações podem contribuir para melhorias no fluxo de evacuação e na segurança dos ocupantes. Ao introduzir estas mudanças estruturais, pretende-se explorar a eficácia das adaptações propostas em mitigar os pontos de estrangulamento identificados na configuração original e em otimizar o processo de evacuação em situações de emergência.

3.3.2.1 Estratégia 6 – Edifício com Elevador

Na estratégia 6, a evacuação das 206 pessoas foi realizada utilizando todas as quatro saídas disponíveis do hotel (Porta Principal, Porta Lateral e as duas Garagens). Este cenário inclui, além dos hóspedes e do pessoal do staff, seis pessoas com dificuldades motoras divididas pelos 6 andares do edifício, o que torna a simulação ainda mais complexa. Todos os ocupantes, incluindo o staff e as pessoas com dificuldades motoras, foram atribuídos ao comportamento "Go to Any Exit", permitindo-lhes evacuar sem orientações específicas e seguir o percurso mais curto até uma das saídas disponíveis.

Nesta secção, será também considerada a introdução de um elevador no edifício (conforme ilustrado na Figura 37) em conformidade com a legislação vigente. De acordo com a legislação portuguesa, todos os edifícios com mais de quatro pisos são obrigados a ter, pelo menos, um elevador instalado. Esta exigência visa assegurar a acessibilidade e a mobilidade para todos os ocupantes, especialmente para pessoas com mobilidade reduzida, e também pode influenciar o processo de evacuação em situações de emergência. Neste cenário, o objetivo é avaliar como a inclusão de um elevador no edifício pode impactar o fluxo de evacuação, oferecendo rotas alternativas e contribuindo para a segurança geral dos ocupantes. A combinação de todas as saídas disponíveis com a adição de um elevador busca otimizar a evacuação em condições que refletem tanto a realidade normativa quanto as necessidades especiais dos ocupantes. (Decreto-Lei n.º 163/2006, de 8 de agosto).



Figura 37– Edifício do Hotel com a inclusão de um elevador (cenário 6)

A Tabela 12 apresenta os resultados detalhados desta simulação de evacuação, destacando vários parâmetros cruciais para a análise do desempenho do processo. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, além do tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados permitem uma avaliação abrangente da eficácia do plano de evacuação implementado, oferecendo insights sobre como a obstrução das saídas do staff impactou o fluxo de evacuação, forçando uma maior concentração de pessoas nas saídas principais, e ajudando a identificar possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 12 - Resultado da simulação do Cenário 6

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo de Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
6	4 Portas, 1 Escada e elevador	239,900	75,962	89,683	31,311	190,800	43,746	66,475	13,772

A Figura 38 ilustra de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes no cenário 6, onde todas as quatro portas de saída do edifício foram utilizadas. Neste cenário, o edifício acomodou 206 pessoas, incluindo hóspedes, staff, e indivíduos com dificuldades motoras. Este gráfico permite visualizar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, evidenciando como a utilização de todas as saídas influenciou o fluxo de evacuação. A análise do gráfico possibilita compreender a distribuição do fluxo através das diferentes saídas e identificar momentos chave, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é crucial para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado em condições normais, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação com todas as saídas operacionais.

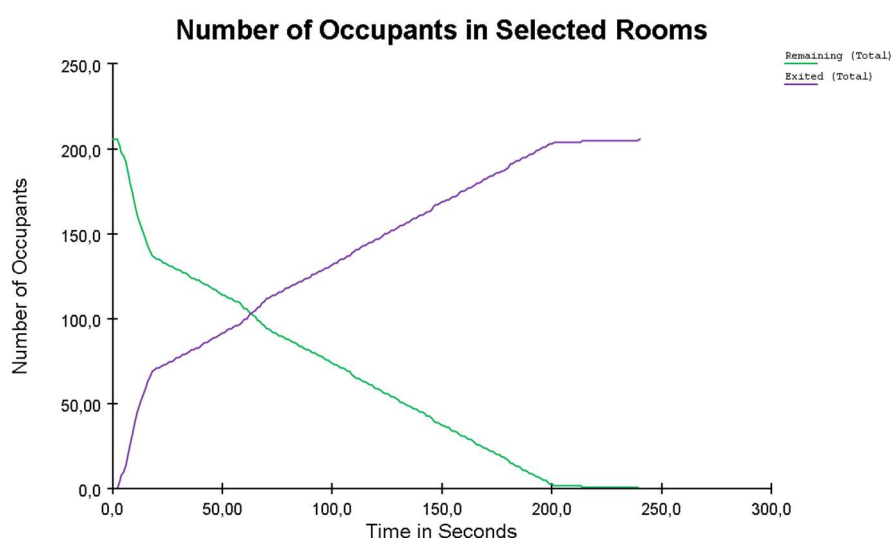


Figura 38- Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a utilização do elevador de emergência (cenário 6)

Ao analisar a Figura 38 observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, sugerindo um fluxo constante e bem

organizado de evacuação, mesmo com o aumento no número de ocupantes simulados. Inicialmente, há uma descida acentuada no número de ocupantes ainda presentes no edifício, enquanto o número de pessoas que saíram aumenta de forma correspondente, indicando uma resposta rápida e eficiente à necessidade de evacuação.

Notavelmente, por volta dos 63 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que demonstra a eficácia do plano de evacuação durante a fase inicial, apesar do maior número de pessoas a evacuar. Este ponto de inflexão no gráfico é um indicador positivo de que a evacuação foi conduzida de maneira ágil e sem grandes interrupções. À medida que o tempo avança, o gráfico mantém uma trajetória consistente, com a evacuação continuando de forma controlada até que todos os ocupantes tenham saído. Este comportamento gráfico sublinha a resiliência e eficiência do processo de evacuação, garantindo que a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto, mesmo com o aumento da complexidade e do número de ocupantes neste cenário.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 39 apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro principais portas de saída ao longo do tempo no cenário 6, onde todas as saídas estavam operacionais. Este gráfico oferece uma visão específica de como a evacuação se processou através de cada saída, permitindo identificar padrões de utilização, como picos de fluxo e momentos de maior ou menor intensidade. A análise destas taxas de fluxo é crucial para compreender o comportamento dos ocupantes durante a evacuação e avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

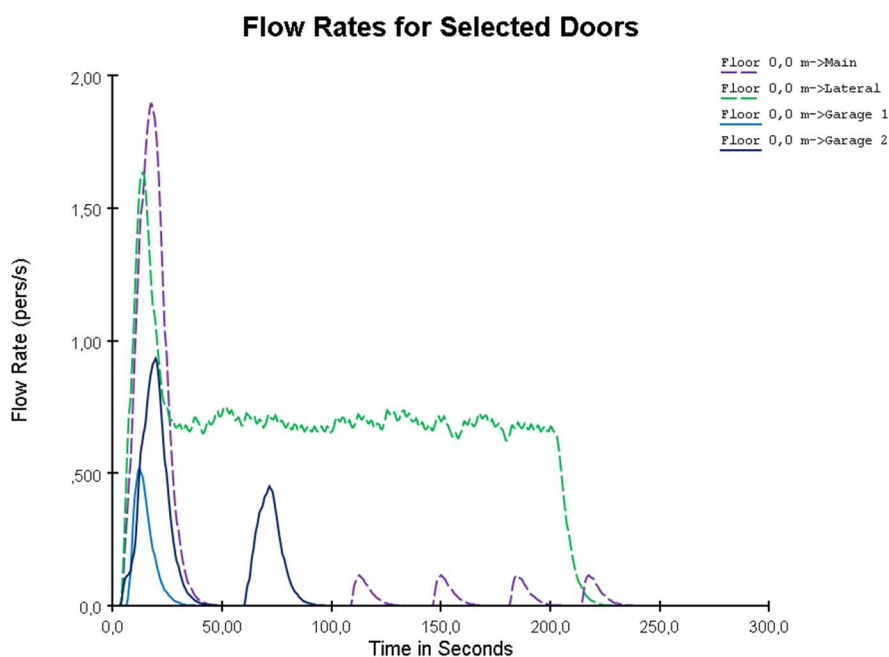


Figura 39 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a utilização do elevador de emergência (cenário 6)

O gráfico apresentado na Figura 39 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário 6. As saídas analisadas incluem a porta Principal (linha roxa), a porta Lateral (linha verde), a Garagem 1 (linha azul-claro) e a Garagem 2 (linha azul escura).

Observa-se que a porta Principal (linha roxa) foi a mais utilizada inicialmente, evidenciada por um pico elevado no fluxo de pessoas logo nos primeiros segundos. Este pico inicial deve-se, em grande parte, ao fato de a porta Principal ser a saída mais próxima da zona de restauração, o que fez com que muitas pessoas localizadas nesta área optassem por essa rota devido à sua acessibilidade. Os picos subsequentes pela porta Principal foram gerados pelas pessoas com mobilidade condicionada, que estavam nos andares 2 ao 5, e que desceram pelo elevador, saindo por essa entrada.

A porta Lateral (linha verde) apresentou um fluxo sustentado ao longo do tempo, com um pico inicial gerado pelas pessoas que se encontravam na zona de restauração próxima a essa saída. O fluxo constante subsequente deve-se à proximidade desta porta com as escadas que ligam aos pisos superiores, fazendo com que a maioria dos ocupantes que desciam pelas escadas preferisse esta saída.

A Garagem 1 (linha azul-claro) mostrou um pico menor, que foi gerado pelo staff que estava localizado nas áreas adjacentes a essa saída.

Já a Garagem 2 (linha azul-escura) exibiu dois picos distintos. O primeiro foi devido ao staff que se encontrava próximo a essa área, enquanto o segundo pico foi causado por seis pessoas que desceram do primeiro andar pelo elevador e utilizaram esta saída.

Esses padrões de fluxo evidenciam a importância da utilização estratégica das saídas disponíveis no cenário 6. A porta Principal suportou o maior pico de evacuação inicial, seguido pelos picos gerados pelas pessoas com mobilidade condicionada. A porta Lateral manteve um fluxo constante e crucial devido à proximidade com as escadas principais. As Garagens 1 e 2, embora menos utilizadas, desempenharam um papel importante na distribuição dos ocupantes, ajudando a evitar congestionamentos nas saídas principais. Esta distribuição permitiu minimizar os congestionamentos e garantir uma evacuação relativamente eficiente e organizada, mesmo com a complexidade adicional trazida pelo maior número de ocupantes e pela inclusão de pessoas com mobilidade reduzida. Estes dados sublinham a importância de um planejamento cuidadoso das saídas em cenários de evacuação, assegurando que diferentes grupos de ocupantes possam utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

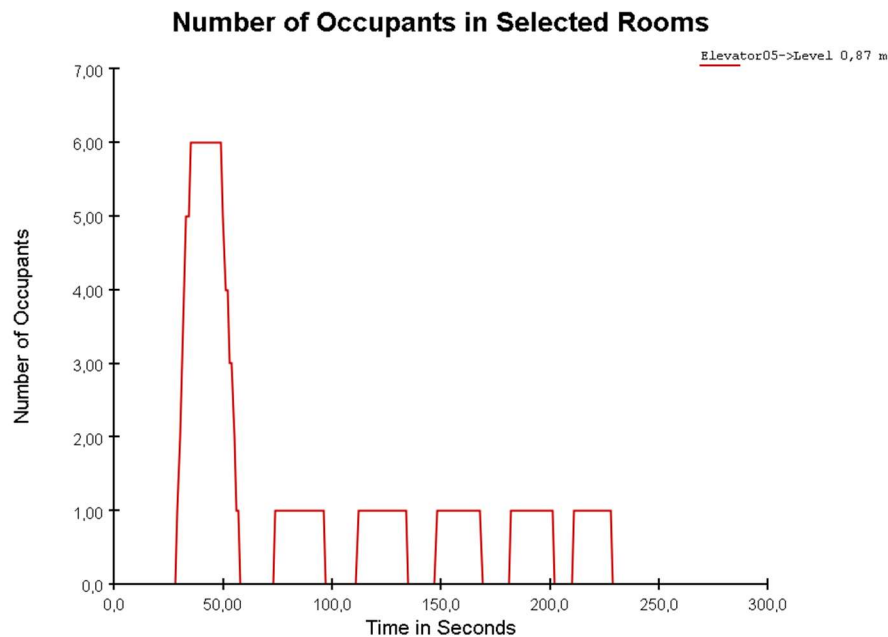


Figura 40- Número de ocupantes que utilizaram o elevador ao longo do tempo (cenário 6)

O gráfico presente na Figura 40 ilustra o número de ocupantes que utilizaram o elevador para descer dos andares superiores até ao rés-do-chão durante o processo de evacuação no cenário 6. Como observado, o gráfico apresenta um pico inicial significativo, seguido por uma série de picos menores, que correspondem ao movimento de seis pessoas com mobilidade condicionada, que estavam nos andares 2 ao 5.

O pico inicial mais elevado, visível por volta dos 40 segundos, indica o momento em que a maior parte das pessoas com mobilidade condicionada iniciou a sua descida pelo elevador. Este grande fluxo inicial pode ser atribuído à necessidade urgente de evacuação, com o elevador sendo rapidamente ocupado para garantir que estas pessoas fossem transportadas para o rés-do-chão o mais rapidamente possível.

Os picos menores subsequentes, espaçados ao longo do tempo, refletem o uso contínuo do elevador por essas mesmas pessoas, uma vez que, devido às suas limitações, o elevador teve de fazer várias viagens para evacuar todos os ocupantes com dificuldades motoras. Este comportamento mostra que, enquanto o elevador foi eficaz em transportar os ocupantes, a necessidade de várias viagens resultou numa evacuação em ondas, com cada novo grupo de pessoas sendo transportado assim que o elevador estava disponível.

Neste cenário 6, constatou-se que o estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, já observado nos cenários anteriores continua a manifestar-se. Este "bottleneck" manteve-se especialmente acentuado nos andares inferiores, resultando em congestionamentos notáveis, particularmente nas áreas de maior concentração de ocupantes, como a zona do bar e nas plataformas entre os lances de escadas. A Figura 41, apresentada abaixo, confirma a persistência deste estrangulamento, e a Figura 42 demonstra como a capacidade limitada das escadas continuou a restringir o fluxo de evacuação, levando a

aglomerações similares às verificadas nos cenários anteriores. Esta recorrência reforça a necessidade urgente de abordar esta limitação crítica nas estratégias de evacuação, a fim de melhorar a eficiência e a segurança do processo.

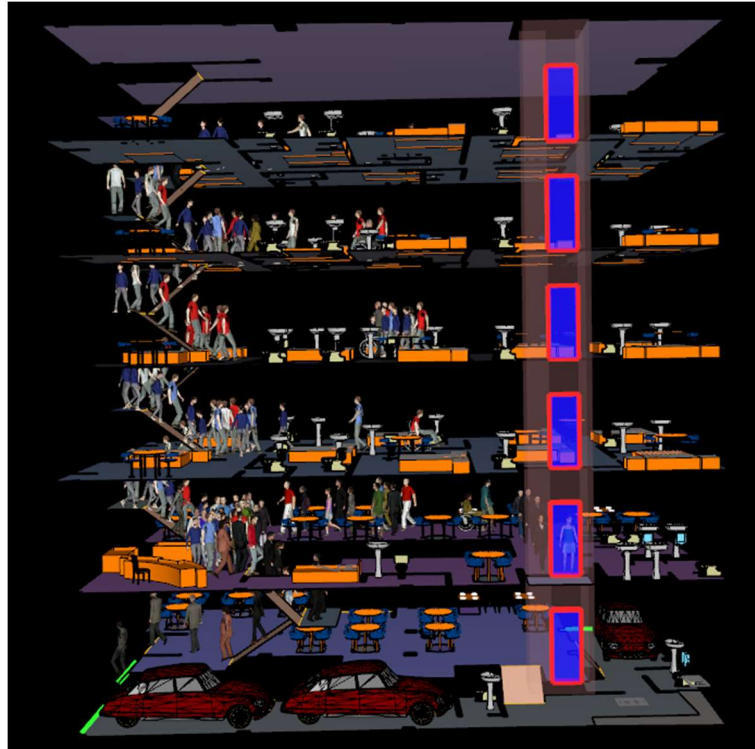


Figura 41- Vista 3D do *bottleneck* (cenário 6)

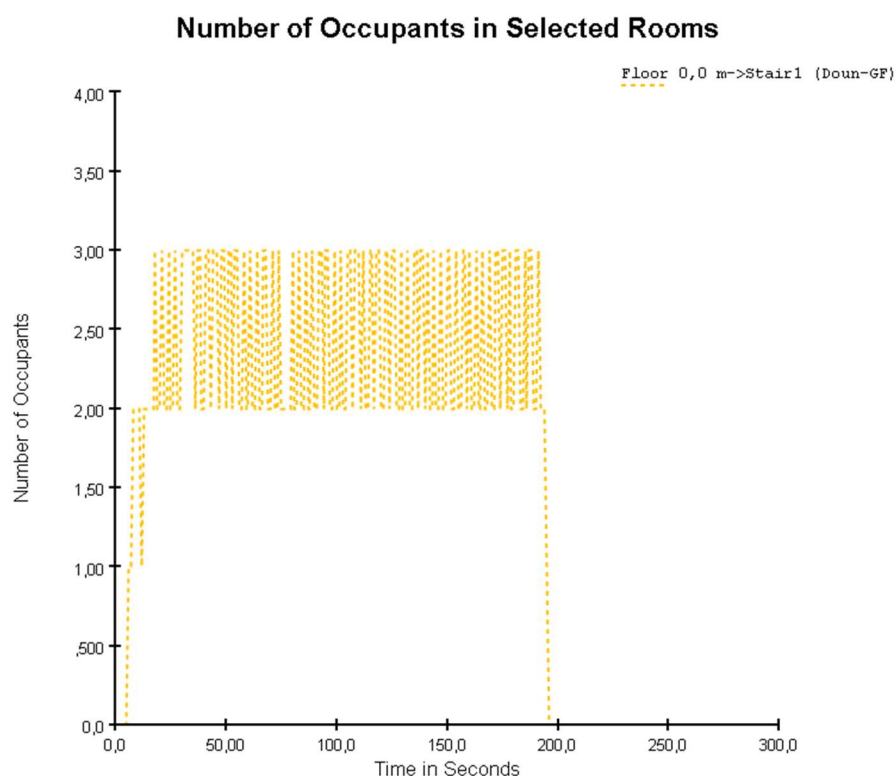


Figura 42- Número de ocupantes na escadaria ao longo do tempo, considerando a utilização do elevador de emergência (cenário 6)

3.3.2.2 Estratégia 7 – Edifício com Elevador e 2 Escadas

Na estratégia 7, a evacuação das 206 pessoas foi realizada utilizando todas as quatro saídas disponíveis do hotel (Porta Principal, Porta Lateral e as duas Garagens). Este cenário, além de incluir os hóspedes e o pessoal do staff, abrange seis pessoas com dificuldades motoras distribuídas pelos seis andares do edifício, o que adiciona uma camada extra de complexidade à simulação. Todos os ocupantes, incluindo o staff e as pessoas com dificuldades motoras, foram atribuídos ao comportamento "*Go to Any Exit*", permitindo-lhes evacuar sem orientações específicas e seguir o percurso mais curto até uma das saídas disponíveis.

Neste cenário, além das condições estabelecidas no cenário 6, foi introduzida uma segunda escada que percorre todos os andares do edifício (conforme ilustrado na Figura 43), oferecendo assim uma rota adicional para os ocupantes. Esta nova escada, juntamente com a escada já existente, proporciona aos hóspedes e ao staff a possibilidade de escolher entre duas rotas de evacuação, potencialmente melhorando o fluxo e reduzindo os tempos de evacuação.

O objetivo é avaliar como a adição desta escada impacta o processo de evacuação, oferecendo rotas alternativas e aliviando a pressão sobre as saídas principais. A combinação de todas as saídas disponíveis com a inclusão de uma segunda escada visa otimizar a evacuação em

condições que refletem tanto as necessidades especiais dos ocupantes quanto a busca por melhorias na eficiência e na segurança do plano de evacuação.

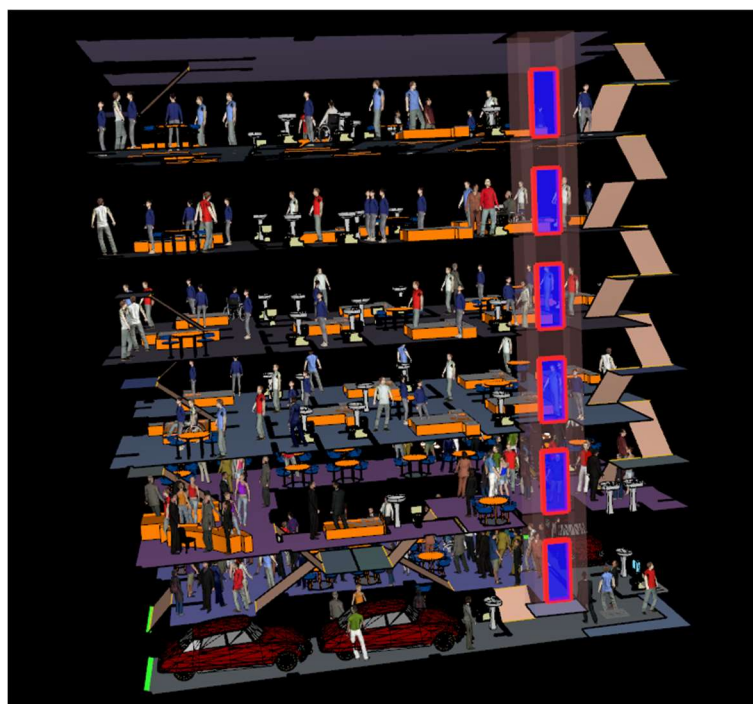


Figura 43 - Edifício do Hotel com a inclusão de um elevador e uma escadaria adicional (cenário 7)

A Tabela 13 apresenta os resultados detalhados desta simulação de evacuação, destacando vários parâmetros cruciais para a análise do desempenho do processo. Os dados incluem o tempo total da simulação, o tempo médio de evacuação dos ocupantes, a distância percorrida máxima e média, além do tempo de congestionamento máximo e médio. Estes resultados permitem uma avaliação abrangente da eficácia do plano de evacuação implementado, oferecendo insights sobre como a obstrução das saídas do staff impactou o fluxo de evacuação, forçando uma maior concentração de pessoas nas saídas principais, e ajudando a identificar possíveis pontos de estrangulamento ou ineficiências ao longo do percurso dos ocupantes.

Tabela 13 - Resultado da simulação do Cenário 7

Parâmetros		Tempo de Saída (s)		Distância Percorrida (m)		Tempo Congestionamento (s)		Tempo de Congestionamento nas Escadas (s)	
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média
7	4 Portas, 2 Escadas e elevador	188,825	48,704	92,530	29,883	145,625	13,070	5,825	2,523

A Figura 44 ilustra de forma detalhada a evolução do processo de evacuação dos ocupantes no cenário 7, onde todas as quatro portas de saída do edifício foram utilizadas. Neste cenário, o edifício acomodou 206 pessoas, incluindo hóspedes, staff e indivíduos com dificuldades motoras. Este gráfico permite visualizar claramente o comportamento dos ocupantes ao longo do tempo, evidenciando como a utilização de todas as saídas influenciou o fluxo de evacuação. A análise do gráfico possibilita compreender a distribuição do fluxo através das diferentes

saídas e identificar momentos-chave, como o ponto em que metade dos ocupantes já havia deixado o edifício. Esta representação gráfica é crucial para avaliar a eficácia do plano de evacuação implementado em condições normais, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica de evacuação com todas as saídas operacionais.

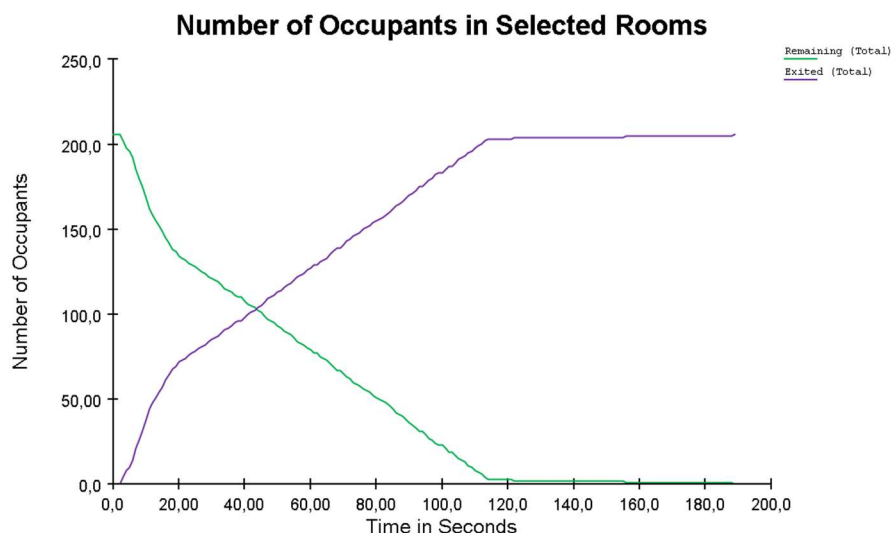


Figura 44- Gráfico de evolução da evacuação dos ocupantes com a utilização do elevador de emergência e das duas escadarias (cenário 7)

Ao analisar a Figura 44, observa-se que o gráfico do número de pessoas que deixou o edifício ao longo do tempo revela uma tendência quase linear, sugerindo um fluxo constante e bem organizado de evacuação, mesmo com o aumento no número de ocupantes simulados. Notavelmente, por volta dos 44 segundos, metade dos ocupantes já havia deixado o edifício, o que demonstra a eficácia do plano de evacuação durante a fase inicial, apesar do maior número de pessoas a evacuar. Este ponto de inflexão no gráfico indica que a evacuação foi conduzida de maneira ágil e sem grandes interrupções.

À medida que o tempo avança, por volta dos 114 segundos, o gráfico estabiliza, mostrando que 203 dos 206 ocupantes já haviam evacuado o edifício, restando apenas três pessoas. Estes últimos ocupantes eram indivíduos com mobilidade condicionada, que se encontravam nos pisos superiores e aguardavam pelo elevador para concluir a evacuação. Este comportamento gráfico sublinha a resiliência e eficiência do processo de evacuação, garantindo que a maioria das pessoas conseguiu abandonar o edifício em um tempo relativamente curto, mesmo com o aumento da complexidade e do número de ocupantes neste cenário.

Complementando essa análise, o gráfico presente na Figura 4) apresenta uma visão detalhada das taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro principais portas de saída ao longo do tempo no cenário 7, onde todas as saídas estavam operacionais. Este gráfico oferece uma visão específica de como a evacuação se processou através de cada saída, permitindo identificar padrões de utilização, como picos de fluxo e momentos de maior ou menor intensidade. A análise destas taxas de fluxo é crucial para compreender o comportamento dos

ocupantes durante a evacuação e avaliar a eficiência e a capacidade de cada saída em lidar com o volume de pessoas em diferentes momentos do processo.

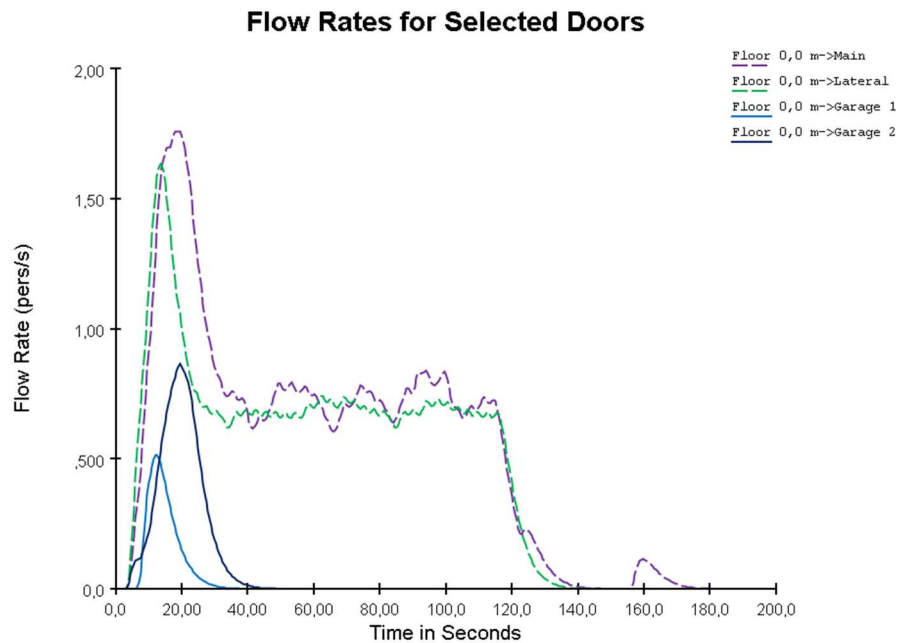


Figura 45 - Taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro portas de saída disponíveis ao longo do tempo, considerando a utilização do elevador de emergência e das duas escadarias (cenário 7)

O gráfico apresentado na Figura 45 ilustra as taxas de fluxo de pessoas por segundo através das quatro saídas principais do hotel ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário 7. As saídas analisadas incluem a porta Principal (linha roxa), a porta Lateral (linha verde), a Garagem 1 (linha azul-claro) e a Garagem 2 (linha azul-escura).

Observa-se que a porta Principal (linha roxa) foi uma das mais utilizadas inicialmente, evidenciada por um pico elevado no fluxo de pessoas logo nos primeiros segundos. Este pico inicial deve-se, em grande parte, ao fato de a porta Principal ser a saída mais próxima da zona de restauração, o que fez com que muitas pessoas localizadas nesta área optassem por essa rota devido à sua acessibilidade. Após esse pico inicial, a linha roxa mantém-se relativamente constante ao longo da maior parte do tempo, indicando um fluxo contínuo de evacuação. O pequeno pico adicional no final do gráfico reflete a evacuação das pessoas com mobilidade reduzida, que desceram pelo elevador e utilizaram essa saída.

A porta Lateral (linha verde) também apresentou um pico elevado no início, gerado pelas pessoas que se encontravam na zona de restauração próxima a essa saída. Após o pico inicial, o fluxo manteve-se constante, principalmente devido à proximidade desta porta com as escadas que ligam aos pisos superiores, tornando-a a escolha preferida para muitos dos ocupantes que desciam pelas escadas.

A Garagem 1 (linha azul-claro) mostrou um pico menor, gerado principalmente pelo staff que estava localizado nas áreas adjacentes a essa saída. Este pico único indica que, embora menos utilizada, a Garagem 1 desempenhou um papel importante na evacuação do staff.

A Garagem 2 (linha azul-escuro) apresentou um único pico, utilizado tanto pelo staff que se encontrava próximo a essa área quanto por algumas das pessoas com mobilidade reduzida que optaram por essa rota alternativa.

Esses padrões de fluxo evidenciam a importância da utilização estratégica das saídas disponíveis no cenário 7. A porta Principal suportou um grande pico de evacuação inicial, seguido por um fluxo contínuo devido à evacuação de pessoas com mobilidade reduzida. A porta Lateral manteve um fluxo constante e crucial, especialmente para os ocupantes que desciam pelas escadas principais. As Garagens 1 e 2, apesar de menos utilizadas, desempenharam um papel significativo na distribuição dos ocupantes, ajudando a evitar congestionamentos nas saídas principais. Esta distribuição permitiu minimizar os congestionamentos e garantir uma evacuação relativamente eficiente e organizada, mesmo com a complexidade adicional trazida pela inclusão de pessoas com mobilidade reduzida e a maior capacidade de evacuação do edifício. Estes dados sublinham a importância de um planeamento cuidadoso das saídas em cenários de evacuação, assegurando que diferentes grupos de ocupantes possam utilizar saídas distintas para otimizar o fluxo e reduzir o tempo total de evacuação.

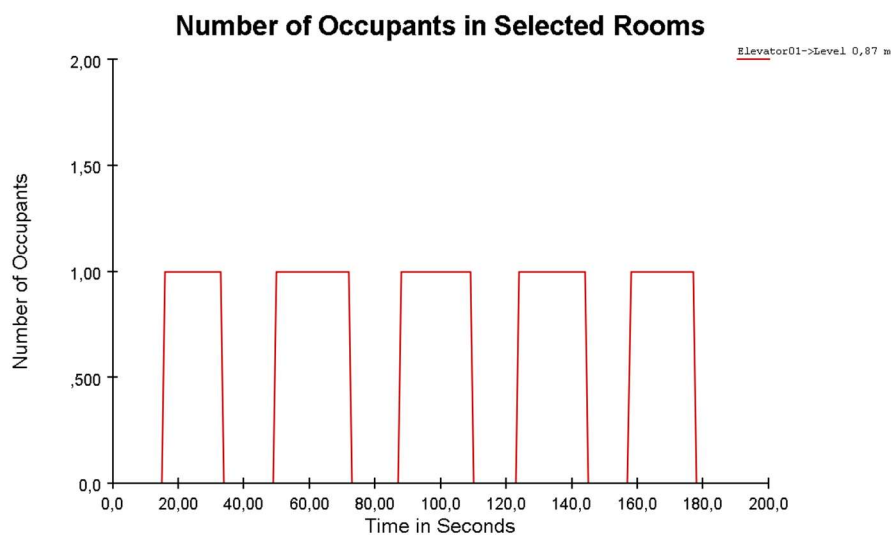


Figura 46 - Número de ocupantes que utilizaram o elevador ao longo do tempo (cenário 7)

Como se pode ver na Figura 46, o gráfico ilustra o número de ocupantes no elevador ao longo do tempo durante o processo de evacuação no cenário 7. Observa-se que o elevador foi utilizado de forma contínua por um único ocupante de cada vez, em intervalos regulares, para transportar as cinco pessoas com mobilidade reduzida dos pisos superiores para o nível de saída. Cada ciclo de utilização do elevador é claramente demarcado por picos no gráfico, refletindo o tempo necessário para completar cada viagem, desde o carregamento do ocupante até a chegada ao piso de saída. Estes dados confirmam que o elevador desempenhou um papel

crucial na evacuação segura e organizada dessas pessoas, permitindo que elas fossem evacuadas com eficiência, mesmo em um cenário complexo com muitos ocupantes.

No cenário 7, verificou-se que o estrangulamento significativo do fluxo de pessoas nas escadas, já observado nos cenários anteriores, continua a manifestar-se. Este "*bottleneck*" manteve-se especialmente acentuado nos andares inferiores, resultando em congestionamentos notáveis, particularmente nas áreas de maior concentração de ocupantes, como a zona do bar, restauração e nas plataformas entre os lances de escadas.

A persistência desse estrangulamento pode ser claramente observada na Figura 47, que oferece uma visão visual do congestionamento ocorrido. No entanto, a análise da Figura 48 revela a razão subjacente a este problema: o fato de que, em cada lance de escadas, apenas três pessoas conseguem utilizá-las simultaneamente, criando um gargalo inevitável. Apesar disso, pode-se constatar na Figura 48 e no tempo de evacuação da maioria dos ocupantes que o *bottleneck* foi significativamente reduzido neste cenário, sugerindo que as medidas implementadas, como a adição de uma segunda escada, contribuíram para melhorar a eficiência do processo de evacuação, embora ainda haja espaço para melhorias. Essa análise reforça a importância de considerar ajustes adicionais nas estratégias de evacuação para mitigar completamente os impactos desse gargalo e garantir a segurança máxima dos ocupantes.



Figura 47- Vista 3D do *bottleneck* (cenário 7)

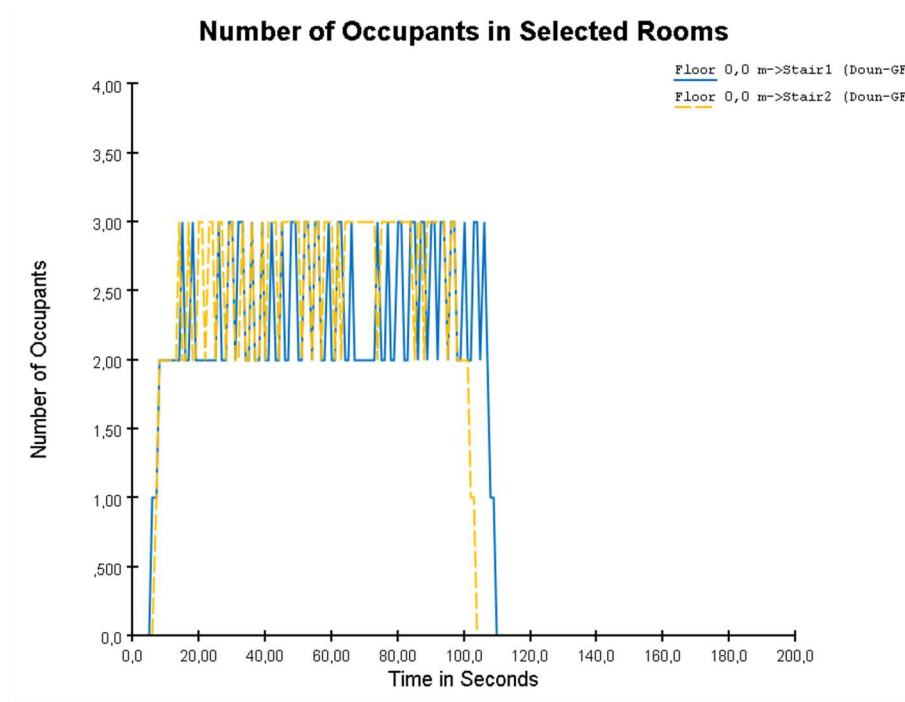


Figura 48- Número de ocupantes nas duas escadarias ao longo do tempo, considerando também a utilização do elevador de emergência (cenário 7)

4 Resultados

Neste projeto foram realizadas simulações de várias estratégias de evacuação do Hotel em estudo, com o objetivo de analisar e melhorar o processo de evacuação, contribuindo para garantir o aumento da segurança e proteção dos hóspedes e funcionários, bem como para a diminuição do tempo de evacuação em caso de ocorrência de emergências.

Neste capítulo, serão apresentados e analisados os resultados obtidos nas simulações de evacuação para os diversos cenários testados nos edifícios original e alterado. O objetivo é comparar os tempos de saída, as distâncias percorridas e os níveis de congestionamento nas rotas de evacuação, de modo a determinar quais as configurações mais eficazes para garantir uma evacuação segura e eficiente. As análises realizadas permitirão identificar os melhores cenários e justificar o seu desempenho com base nas condições propostas e na literatura abordada.

Para garantir consistência nas várias estratégias, foi decidido não orientar os ocupantes, permitindo que estes seguissem o caminho mais curto. A distribuição dos ocupantes foi a seguinte:

- 5º andar – 20 hóspedes
- 4º andar – 20 hóspedes
- 3º andar – 20 hóspedes
- 2º andar – 20 hóspedes
- 1º andar – 55 hóspedes
- Rés do Chão – 65 pessoas (55 hóspedes e 10 funcionários)

4.1 Resultados do Edifício Original

No edifício original, foram simulados cinco cenários com diferentes bloqueios e alterações nas saídas. Estes resultados são apresentados e discutidos de forma a compreender a influência do número de saídas disponíveis, assim como a localização das mesmas, no processo de evacuação.

4.1.1 Análise dos Resultados: Comparação Teórica

4.1.1.1 Cenário 1: 4 Portas Disponíveis

Este cenário apresentou o melhor desempenho, com o menor tempo médio de evacuação (78,855 segundos) e a menor distância média percorrida (30,649 metros). A presença de quatro portas disponíveis facilitou uma distribuição mais equitativa do fluxo de evacuados, resultando em menor congestionamento e tempos de estrangulamento nas escadas (17,394 segundos em média). Estes resultados corroboram a teoria de que o número e a distribuição das saídas de emergência são fatores críticos para uma evacuação eficiente, como destacado por Hu et al. (2018). O estudo de Pelechano e Badler (2006) também reforça a ideia de que rotas bem distribuídas minimizam o risco de congestionamento e pânico durante a evacuação.

4.1.1.2 Cenário 2: Porta Principal Bloqueada

Com a porta principal bloqueada, o tempo médio de evacuação aumentou ligeiramente (80,954 segundos), e a distância percorrida também foi maior. O bloqueio desta saída crucial forçou os evacuados a redistribuírem-se pelas restantes portas, o que provocou um pequeno aumento do congestionamento, refletido nos 50,374 segundos médios de congestionamento. Estes resultados estão alinhados com a literatura, que sugere que o bloqueio de uma saída principal força uma redistribuição dos evacuados para outras saídas, causando pequenos aumentos nos tempos de evacuação e congestionamento. Kuo et al. (2022) destacam que o bloqueio de saídas primárias pode comprometer a evacuação, mas se as saídas alternativas forem adequadamente localizadas, o impacto pode ser minimizado.

4.1.1.3 Cenário 3: Porta Lateral Bloqueada

Este cenário resultou num desempenho inferior ao cenário 2, com um tempo médio de evacuação de 83,698 segundos. A porta lateral bloqueada obrigou os evacuados a percorrer distâncias mais longas (34,698 metros em média), contribuindo para um tempo maior de evacuação. Estes resultados confirmam a importância de ter todas as saídas operacionais durante a evacuação. Como evidenciado por Proulx (2002), o bloqueio de saídas, mesmo que secundárias, pode causar uma sobrecarga nas restantes rotas, resultando em tempos de evacuação mais longos e maior congestionamento.

4.1.1.4 Cenário 4: Portas Principais Bloqueadas

O cenário 4 foi o mais ineficiente, com o maior tempo médio de evacuação (100,782 segundos) e a maior distância percorrida (46,908 metros). O bloqueio das portas principais causou um aumento substancial na concentração de pessoas nas saídas secundárias, resultando em um tempo médio de congestionamento de 53,082 segundos e uma maior carga nas escadas (18,128 segundos). Este cenário reflete as conclusões de Trivedi e Rao (2018), que indicam que a

obstrução das saídas mais acessíveis aumenta o risco de pânico e congestionamento, prolongando os tempos de evacuação e colocando os ocupantes em maior perigo.

4.1.1.5 Cenário 5: Garagens Bloqueadas

O bloqueio das garagens não teve um impacto tão severo como o bloqueio de portas principais. Com um tempo médio de evacuação de 80,064 segundos, este cenário demonstrou que as garagens não são uma rota de evacuação prioritária, e o seu bloqueio apenas causou uma ligeira redistribuição para as saídas principais. Segundo Gwynne et al. (1999), as rotas secundárias, como garagens, podem ajudar a aliviar o fluxo principal, mas o seu impacto na evacuação depende da sua utilização durante situações de emergência.

4.1.2 Análise Comparativa dos Cenários

Para avaliar o desempenho dos cinco cenários simulados no edifício original, foi atribuído um ranking de 1 a 5 a cada um dos parâmetros avaliados: tempo de saída, distância percorrida e tempo de congestionamento. Nesta escala, o valor 1 indica o melhor desempenho (ou seja, o cenário com os resultados mais favoráveis), enquanto o valor 5 representa o pior desempenho (ou seja, o cenário com os piores resultados).

Esta análise permite comparar diretamente o impacto de cada cenário no processo de evacuação, considerando fatores como a rapidez de saída, a eficiência em termos de distâncias percorridas e o nível de congestionamento nas escadas. A Classificação Final foi determinada pela soma das classificações atribuídas em cada parâmetro, onde os cenários com as menores somas foram considerados os mais eficientes. A Tabela 14 resume o ranking atribuído a cada cenário.

Tabela 14 – Ranking atribuído a cada cenário simulado utilizando o design e infraestrutura do Edifício do Hotel atual

Parâmetros		Ranking Tempo de Saída		Ranking Distância Percorrida		Ranking Tempo Congestionamento		Ranking Tempo de Congestionamento Escadas		Classificação Final
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média	
1	4 Portas Disponíveis	1	1	1	1	1	2	5	2	1
2	Porta Principal Bloqueada	3	3	3	3	5	4	3	4	4
3	Porta Lateral Bloqueada	4	4	4	4	3	1	1	1	3
4	Portas Principais Bloqueadas	5	5	5	5	4	5	4	5	5
5	Garagens Bloqueadas	2	2	2	2	2	3	2	3	2

A análise dos cenários do edifício original demonstra que a acessibilidade total às saídas principais e secundárias, como no Cenário 1, resulta numa evacuação mais eficiente, com tempos mais baixos e menores níveis de congestionamento. O Cenário 5, com as garagens bloqueadas, manteve um desempenho positivo, sugerindo que as rotas principais são suficientes para suportar a evacuação, mesmo com o bloqueio de rotas secundárias. Por outro lado, o Cenário 4, onde as portas principais estavam bloqueadas, apresentou o pior desempenho, confirmando que o bloqueio de rotas principais aumenta significativamente o

tempo de evacuação e o congestionamento. Esta conclusão evidencia a importância de manter as saídas principais operacionais durante situações de emergência para garantir uma evacuação rápida e segura.

4.2 Resultados Edifício Alterado

4.2.1 Cenário 6: 4 Portas, 1 Escada e 1 Elevador

O cenário 6, com apenas a alteração da construção de um elevador, teve um desempenho inferior ao cenário 7, com um tempo médio de evacuação de 75,961 segundos. A única escada disponível não foi suficiente para suportar o fluxo adicional de pessoas, resultando em congestionamentos mais prolongados (43,745 segundos em média) e tempos de estrangulamento maiores nas escadas (13,772 segundos).

4.2.2 Cenário 6: 4 Portas, 2 Escada e 1 Elevador

O cenário 7 apresentou o melhor desempenho no edifício alterado, com um tempo médio de evacuação de apenas 48,703 segundos. A adição de mais uma escada permitiu um escoamento mais eficiente, aliviando a pressão sobre as saídas principais e reduzindo significativamente o congestionamento (13,069 segundos em média) e o estrangulamento nas escadas (2,523 segundos).

4.3 Comparação e Resultados Finais de Todos os Cenários

Ao comparar todos os cenários, fica claro que o cenário 7, com quatro portas, duas escadas e um elevador, é o mais eficiente, com o menor tempo médio de evacuação (48,703 segundos) e o menor tempo de congestionamento. A adição de mais rotas de evacuação verticais e horizontais permitiu uma maior distribuição dos evacuados, reduzindo significativamente o tempo de evacuação, o que está de acordo com os estudos de Kulkarni e Agashe (2016) e Bernardini et al. (2016), que destacam a importância de múltiplas rotas de evacuação.

Por outro lado, o cenário 4, onde as portas principais foram bloqueadas, revelou-se o pior, com o maior tempo de evacuação e um elevado nível de congestionamento. Estes resultados destacam o impacto negativo que o bloqueio das saídas principais pode ter, aumentando o risco de congestionamento e prolongando os tempos de evacuação, como descrito por Galea et al. (2017).

A Tabela 15 apresenta uma comparação detalhada dos sete cenários avaliados, incluindo os cinco cenários do edifício original e os dois cenários do edifício alterado. Os parâmetros considerados foram o tempo de saída médio, distância percorrida média e tempo de congestionamento médio. Esta tabela fornece uma visão abrangente sobre como cada cenário

se comportou, permitindo identificar as melhorias introduzidas com as alterações feitas no edifício e como estas impactaram o processo de evacuação.

Tabela 15 - Ranking atribuído a cada cenário simulado utilizando o design e infraestrutura do Edifício do Hotel com as alterações propostas

Parâmetros		Ranking Tempo de Saída		Ranking Distância Percorrida		Ranking Tempo Congestionamento		Ranking Tempo de Congestionamento Escadas		Classificação Final
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média	
1	4 Portas Disponíveis	2	3	1	2	2	4	7	4	2
2	Porta Principal Bloqueada	4	5	3	5	6	6	5	6	6
3	Porta Lateral Bloqueada	5	6	4	6	4	3	3	3	5
4	Portas Principais Bloqueadas	6	7	7	7	5	7	6	7	7
5	Garagens Bloqueadas	3	4	2	3	3	5	4	5	3
6	4 Portas, 1 Escada e elevador	7	2	5	4	7	2	2	2	4
7	4 Portas, 2 Escadas e elevador	1	1	6	1	1	1	1	1	1

Esta comparação permite avaliar diretamente a eficiência dos cenários, tanto no edifício original como no edifício alterado. Como se observa, o Cenário 7 (com as alterações no edifício) apresentou o melhor desempenho global, destacando-se como o mais eficiente em termos de evacuação. Em contraste, o Cenário 4, com as portas principais bloqueadas, demonstrou ser o menos eficiente, reforçando a importância de manter as principais rotas de evacuação desobstruídas.

5 Conclusão

O projeto apresentado foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Esta dissertação tem como objetivo principal melhorar o processo de evacuação do hotel em estudo, contribuindo para garantir o aumento da segurança e proteção dos hóspedes e funcionários, bem como diminuir o tempo de evacuação em caso de ocorrência de emergências. Recorrendo à simulação computacional, foi possível realizar o estudo das diferentes estratégias de evacuação no Hotel.

Neste capítulo apresenta-se as principais conclusões do estudo realizado, bem como aborda-se os principais contributos deste projeto. Numa segunda secção expõe-se as maiores dificuldades sentidas durante a execução desta dissertação e sugerem-se propostas de trabalhos futuros para aprofundamento do tema exposto.

5.1 Conclusões e Contributos do Projeto

Este projeto proporcionou uma visão detalhada de diversas estratégias de evacuação para o Hotel em estudo. Além disso, permitiu uma compreensão mais aprofundada dos diferentes tempos de evacuação, variando conforme a combinação das saídas disponíveis e a proposta de alterações à infraestrutura do edifício pela construção de um elevador de emergência e uma nova escadaria.

Utilizou-se a metodologia da simulação computacional para testar várias estratégias possíveis de evacuação e compará-las a nível de tempo, distância e constrangimentos. Esta ferramenta revelou ter um enorme potencial como apoio na tomada de decisões. Isto porque, após a criação do modelo do hotel, foi possível testar as várias estratégias em alguns minutos. Sem o software estas estratégias teriam de ser testadas num cenário real, o que poderia levar meses a pôr em prática.

Utilizando o software Pathfinder, foi criado um modelo de simulação para o edifício hoteleiro em estudo. Além do fim para que foi usado neste projeto, este modelo oferece outros benefícios para o hotel em questão. Com este modelo, o hotel pode identificar potenciais pontos críticos ou gargalos nas rotas de saída, bem como otimizar a localização e o número de saídas de emergência. Além disso, a simulação ajuda a treinar os funcionários do hotel, melhorando a sua capacidade de resposta em casos de emergência, e a garantir a conformidade com as normas de segurança. Este nível de preparação não só aumenta a segurança dos hóspedes e funcionários, mas também fortalece a reputação do hotel como um estabelecimento que prioriza a segurança e o bem-estar dos seus clientes.

Da análise e comparação de várias simulações realizadas, permitiu-se chegar à Tabela 16 final de resultados de todas as estratégias simuladas e retirar as conclusões 16:

Tabela 16 – Resultado Final de cada cenário simulado utilizando o design e infraestrutura do Edifício do Hotel atual e com as alterações propostas

Parâmetros		Ranking Tempo de Saída		Ranking Distância Percorrida		Ranking Tempo Congestionamento		Ranking Tempo de Congestionamento Escadas		Classificação Final
Cenário	Descrição	Max	Média	Max	Média	Max	Média	Max	Média	
1	4 Portas Disponíveis	2	3	1	2	2	4	7	4	2
2	Porta Principal Bloqueada	4	5	3	5	6	6	5	6	6
3	Porta Lateral Bloqueada	5	6	4	6	4	3	3	3	5
4	Portas Principais Bloqueadas	6	7	7	7	5	7	6	7	7
5	Garagens Bloqueadas	3	4	2	3	3	5	4	5	3
6	4 Portas, 1 Escada e elevador	7	2	5	4	7	2	2	2	4
7	4 Portas, 2 Escadas e elevador	1	1	6	1	1	1	1	1	1

Considerando o design atual do Hotel, a estratégia em que se utiliza 4 saídas de emergência é a que garante menor tempo de evacuação, de acordo com as simulações realizadas.

Com as saídas existentes operacionais, o melhor cenário é quando os ocupantes têm 4 saídas de emergência disponíveis, porque no global dos fatores críticos avaliados apresenta o melhor desempenho (tempo de saída, distância percorrida e tempo de congestionamento);

Verificou-se um estrangulamento do fluxo de pessoas recorrente em todos os cenários, nos espaços anteriores às escadas, o qual é vai sendo cada vez mais notório nos pisos inferiores, devido à capacidade insuficiente da escadaria.

Considerando a possibilidade de alterações na infraestrutura do Hotel, para cumprir a legislação em vigor atualmente recomenda-se a construção de um elevador de emergência;

Além da alteração supracitada, para melhorar a capacidade de evacuação sugere-se o acréscimo de uma escadaria adicional.

A implementação de um elevador de emergência e a construção de uma escadaria adicional permite diminuir o tempo de saída em 10,68%, o que significa uma redução de 20,75 segundos, em relação ao design atual do Hotel (mesmo com o incremento de 6 pessoas com mobilidade reduzida).

Mesmo com o acréscimo de 6 pessoas com mobilidade reduzida, as alterações propostas neste projeto (elevador e escadaria adicional) permitem uma melhoria de 30,15 segundos no tempo médio de evacuação, o que corresponde a um aumento de eficiência neste parâmetro de 61,91%.

As alterações sugeridas ao design do Hotel permitem um aumento significativo da eficiência em caso de evacuação total do Hotel. Considera-se que a implementação destas alterações seria benéfica para o Hotel em estudo, não só pela melhoria da segurança dos hóspedes e funcionários em situações de emergência, mas também para cumprir a legislação em vigor atualmente, reduzir a probabilidade de danos materiais e melhorar a sua reputação no mercado em geral.

5.2 Dificuldades e Trabalhos Futuros

No decorrer deste trabalho, foram encontradas duas principais dificuldades.

Uma delas prendeu-se com a necessidade de familiarização com um software novo. Este desafio exigiu uma fase inicial de experimentação e testes, que foi necessária antes de iniciar a construção do modelo de simulação descrito na dissertação.

Contudo, destaco como dificuldade mais significativa a falta de cooperação da parte do Hotel para o qual foi realizado o estudo de caso. O hotel não disponibilizou o plano de emergência, nem permitiu a realização de simulacros de evacuação ou sugeriu outro tipo de parceria. Tal limitou a profundidade da análise e a verificação prática das estratégias de evacuação propostas. Esta ausência de colaboração impactou negativamente a capacidade de validar as simulações desenvolvidas, restringindo as conclusões da dissertação a uma abordagem mais teórica e menos baseada em dados empíricos. Como consequência, algumas recomendações tiveram de ser formuladas com base em pressupostos e informações secundárias, o que pode afetar a aplicabilidade direta das conclusões ao contexto específico do hotel estudado.

Atendendo à dificuldade supracitada, seria pertinente aprofundar o tema desta dissertação, através da realização de outros trabalhos no futuro. Por exemplo, de forma a validar o modelo de simulação elaborado, seria interessante realizar um estudo comparativo entre o tempo de uma evacuação real e o tempo de evacuação obtido através de simulação no software Pathfinder, atendendo apenas às variáveis consideradas neste estudo.

Seria igualmente proveitoso, para a melhoria da segurança no hotel, a realização de novas simulações, considerando novas saídas de emergência em escadaria ou outros meios de ligação entre pisos, bem como a implementação de sistemas de orientação para evacuação mais otimizados.

Porém, sabemos que numa evacuação real existem outras variáveis a considerar, para além daquelas incluídas neste estudo. Por este motivo, torna-se pertinente realizar estudos que

considerem a influência dos comportamentos humanos (pré-movimentação, estado emocional, condição física, comportamento em grupo), influenciados pelo ambiente envolvente (presença de fumo, de escuridão; influência das condições meteorológicas). As conclusões destes estudos poderiam ajudar a refinar as ferramentas de apoio à decisão, tornando-as mais robustas e adaptadas a uma variedade de circunstâncias reais.

Referências

- Alvim, N. A. (2017). Simulação numérica-experimental de movimentação de pessoas em situações de incêndio. Tese de doutorado, USP.
- Alvim, N. A. (2017). Simulação numérica-experimental de movimentação de pessoas em situações de incêndio. Tese de doutorado, USP.
- Araújo, Luís. (2017). Estratégia Turismo 2027. Turismo de Portugal I.P. (TdP)
- Atila, U., Ortakci, Y., Özacar, K., Demiral, E., & Karas, I. R. (2018). SmartEscape: A Mobile Smart Individual Fire Evacuation System Based on 3D Spatial Model. ISPRS Int. J. Geo Inf.
- Atila, U., Ortakci, Y., Özacar, K., Demiral, E., & Karas, I. R. (2018). SmartEscape: A Mobile Smart Individual Fire Evacuation System Based on 3D Spatial Model. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 7(6), 223.
- Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC).
- Averill, J. D., Mileti, D. S., Peacock, R. D., Kuligowski, E. D., Groner, N., Proulx, G., Reneke, P. A., & Nelson, H. E. (2005). Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster: Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communication. NIST NCSTAR 1-7. National Institute of Standards and Technology.
- Azevedo, N. C., & Tavares, S. F. (2020). Interoperabilidade entre as ferramentas Revit e OpenStudio para simulação termoenergética. TCC, UFSC.
- Bahrami, V., Etesam, I., & Shahcheraghi, A. (2021). The Identification of the Elements Effective on the Resilient Design of emergency evacuation ways against Fire.
- Banks, J. (1999). Introduction to simulation. In P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, & G. W. Evans (Eds.), Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference (pp. 7-13). IEEE.

- Bernardini, G., Azzolini, M., D’Orazio, M., & Quagliarini, E. (2016). Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical theatres without altering their architectural characteristics. *Journal of Cultural Heritage*, 22, 1006-1018.
- Beyaz, Ç., Özgener, E. D., Bağcı, Y. G., Akin, Ö., & Demirel, H. (2021). Integration Of Building Information Modeling and Agent-based Modeling For Evacuation Simulation. *Automation in Construction*, 127, 103681.
- Bhushan, A., & Sarda, N. L. (2018). Indoor evacuation planning using modified artificial bee colony optimization. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications, and Informatics (ICACCI)* (pp. 263-268). IEEE.
- Bi, H., & Gelenbe, E. (2019). A Survey of Algorithms and Systems for Evacuating People in Confined Spaces. *Electronics*.
- Boje, C., & Li, H. (2018). Crowd simulation-based knowledge mining supporting building evacuation design. *Adv. Eng. Informatics*, 36, 18-33.
- Boje, C., & Li, H. (2018). Crowd simulation-based knowledge mining supporting building evacuation design. *Adv. Eng. Informatics*.
- Bryan, J. L. (2008). Behavioral response to fire and smoke. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 3-315). National Fire Protection Association.
- Canter, D., Breaux, J., & Sime, J. (1980). Domestic, multiple occupancy, and hospital fires. In D. Canter (Ed.), *Fires and Human Behaviour* (pp. 117-136). John Wiley & Sons.
- Carvalho, L., Ferreira, A., & Figueira, L. (2018). "Tourism, sustainability and regional development: New perspectives on tourism and the regional dimension in Portugal." *Sustainability*, 10(8), 2796.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2019). Emergency Preparedness and Response: Evacuating Yourself and Your Family. Retrieved from <https://www.cdc.gov/disasters/earthquakes/evacuating.html>
- CFPA. (2009). Fire safety engineering concerning evacuation from buildings, CFPA -E No 19:2009 F. https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_19_2009.pdf
- Chen, C. Y. (2009). A Fuzzy-Based Approach for Smart Building Evacuation Modeling. 2009 Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC).
- Chen, C. Y. (2009). A Fuzzy-Based Approach for Smart Building Evacuation Modeling. 4th Int. Conf. on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC), 172-176.

- Chen, H. (2012). Investigation of Individual Characteristics and Evacuation Behavior Patterns in Complex Construction. *Journal of Tianjin Institute of Urban Construction*.
- Chung, J. Y., Park, S., & Kim, S. (2020). A Study on the Evacuation Capability Evaluation of Hotels in the Event of Fire Emergency. *Sustainability*, 12(24), 10250.
- Cunha, L. (1997). *Economia e Política do Turismo*, Lisboa, McGraw-Hill.
- Decreto-Lei nº 163/2006, de 8 de agosto. Regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos que recebem público, via pública e edifícios habitacionais.
- Dickerson, M., Huang, T., & Russell, I. (2000). Using simulation across the curriculum. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 16.
- Ding, J. (2013). Evacuation Simulation in Chemical Plant Fire Using Pathfinder. *Guangzhou Chemical Industry*.
- Ding, J., Chen, H., Zhu, Y., & Lu, W. (2021). Application of Simulation in Fire Evacuation of High-Rise Buildings. *Journal of Building Engineering*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2020). Emergency Preparedness and Response. Retrieved from <https://www.ready.gov/>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2020). Evacuation Planning. Retrieved from <https://www.ready.gov/evacuation>
- Galea, E. R., Gwynne, S. M. V., & Lawrence, P. J. (2017). The EXODUS evacuation model applied to building evacuation scenarios. *Journal of Emergency Management*, 15(6), 331-347.
- Gao, Y., Chen, T., Luh, P., & Zhang, H. (2015). Simulation of Building Evacuation Considering Information Flow.
- Gerges, M., Demian, P., & Adamu, Z. (2021). Customising Evacuation Instructions for High-Rise Residential Occupants to Expedite Fire Egress: Results from Agent-Based Simulation. *Fire*, 4, 21.
- Gerges, M., Demian, P., Khalafallah, A., & Salamak, M. (2022). Occupants' Perspectives of the Use of Smartphones during Fire Evacuation from High-Rise Residential Buildings. *Applied Sciences*.
- Goeldner, C. R., & Ritchie, J. R. B. (2018). *Tourism: Principles, Practices, Philosophies* (13th Edition). Wiley.
- Gökceli, S., Zhmurov, N., Karabulut-Kurt, G., & Örs, B. (2017). IoT in Action: Design and Implementation of a Building Evacuation Service. *J. Comput. Networks Commun.*

- Gökceli, S., Zhmurov, N., Karabulut-Kurt, G., & Örs, B. (2017). IoT in Action: Design and Implementation of a Building Evacuation Service. *J. Comput. Networks Commun.*, 2017, 7023145.
- Gonçalves, R., Martins, A., & Lopes, P. (2019). "Impact of tourism on economic growth: The case of Portugal." *Tourism Economics*, 25(6), 962-983.
- Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (1999). "A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment." *Building and Environment*, 34(6), 741-749.
- Gwynne, S., Galea, E. R., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (1999). Modelling occupant interaction with fire conditions using the buildingEXODUS evacuation model. *Fire Safety Journal*, 34(4), 285-328.
- Gwynne, S. M. V., & Boswell, R. G. (2016). Pre-evacuation behavior and exit choice in fire emergencies. *Fire Safety Journal*, 85, 97-107.
- Haihao, C. (2021). An Evaluation Model for Fire Fighting and Emergency Evacuation Plan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Han, L., Li, H., & Liu, G. (2023). Entropy-based Layered Evacuation Strategy And Simulation For Multi-storey Building Fire Scene. *Fire Safety J.*, 134, 103670.
- Hassanpour, S., González, V. A., Liu, J., Zou, Y., & Cabrera-Guerrero, G. (2022). A Hybrid Hierarchical Agent-based Simulation Approach For Buildings Indoor Layout Evaluation Based On The Post-earthquake Evacuation. *Automation in Construction*, 133, 104035.
- He, J. (2020). Earthquake Evacuation Simulation Of Multi-story Buildings During Earthquakes. *J. Safety Science and Resilience*, 1(1), 14-21.
- Hosseini, S., Ronchi, E., & Nilsson, D. (2020). "Fire evacuation plans in high-rise hotels: A case study of Doha." *Fire Safety Journal*, 118, 102982.
- Hu, Y., Wang, X., & Wang, F. (2018). A quantitative study of factors influence on evacuation in building fire emergencies. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*.
- Hui-dong, W. (2011). Study on simulation of smoke spread and evacuation in hotel fire. *Journal of Safety Science and Technology*.
- Hunt, A. L., Galea, E. R., & Lawrence, P. J. (2014). An analysis and numerical simulation of the performance of trained staff using a coding scheme during hotel evacuations. *Fire Safety Journal*, 68, 65-75.

- Hwang, H., Hong, W.H., & Kim, S. (2019). "The Impact of Hotel Characteristics on Fire Fatalities: A Cross-National Analysis." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 465.
- Ingallis, R.G. (1998). The value of simulation in modeling supply chains. 1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274), 2, 1371-1375 vol.2.
- Instituto Nacional de Estatística - Estatísticas do Turismo : 2022. Lisboa : INE, 2023. Disponível na www: <url:https://www.ine.pt/xurl/pub/72384938>. ISSN 0377-2306. ISBN 978-989-25-0644-9
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- J. Kuo, T. Lai, P. Lee. (2018). Simulating Evacuation Plan of Fire Disaster Based on Cloud Surveillance System. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*.
- Jia-peng, H., & Juan, X. (2006). Assessment and Analysis on Safe Evacuation from the Fire of High-rise Buildings. *China Safety Science Journal*.
- Johnson, C. W., Johnson, A. P., & Rathbone, M. (1994). Evacuation simulation and fire modelling. *Journal of Fire Sciences*, 12(2), 89-113.
- Kai, H., Li, X., & Lei, X. (2020). Simulation of hotel fire and safe evacuation based on FDS and Pathfinder. 2020 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS).
- Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B., & Post, J. G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1-11.
- Krings, A., & Owen, M. (2020). "Risk Perception in Fire Evacuation Behavior Revisited: Definitions, Related Concepts, and Empirical Evidence." *Fire Science Reviews*, 9(1).
- Kuligowski, E. D. (2011). The process of human behavior in fires. National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Kuligowski, E. D. (2013). Predicting human behavior during fires. *Fire Technology*, 49(1), 101-120.
- Kulkarni, S. S., & Agashe, S. D. (2016). Study of intelligent evacuation systems of highrise buildings in India-A review. 2016 International Conference on Computing, Analytics and Security Trends (CAST).
- Kuo, T., Lin, C., Chuang, Y., & Hsiao, G. L. (2022). Using Smartphones for Indoor Fire Evacuation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

- Li, Y., Zhang, Y., & Jiang, J. (2018). Research on Emergency Evacuation Simulation of Old Dormitory Building Based on Pathfinder. *Man-Machine-Environment System Engineering*.
- Lin, J., Zhu, R., Li, N., & Becerik-Gerber, B. (2020). Do people follow the crowd in building emergency evacuation? A cross-cultural immersive virtual reality-based study. *Advanced Engineering Informatics*.
- Long, M. (2009). Application of FDS and Pathfinder in Building Fires and Evacuation. *Industrial Safety and Environmental Protection*.
- Lopes, C.; Mendes, A.; Souza, R. (2017). Análise da eficiência de saídas de emergência em grandes edifícios: Um estudo de caso. *Revista Brasileira de Segurança*, v. 12, n. 3, p. 45-56.
- Lu, J., Cuff, R., & Mansour, M. (2020). Simulation in surgical education. *American Journal of Surgery*.
- Luís, E. (2002). Turismo no Espaço Rural em Portugal, *GeoINova*, 5, 139-150.
- Manley, M., & Kim, Y. (2012). Modeling emergency evacuation of individuals with disabilities (exitus): An agent-based public decision support system. *Expert Systems with Applications*, 39, 8300-8311.
- Marzouk, M., & Mohamed, B. H. (2019). Integrated agent-based simulation and multi-criteria decision making approach for buildings evacuation evaluation. *Safety Science*.
- McGuire, L., Ford, E. S., & Okoro, C. A. (2007). Natural disasters and older US adults with disabilities: implications for evacuation. *Disasters*, 31(1), 49-56.
- Mohan, K., Mahesh, A., Vasudevan, A., & Panchagnula, K. (2018). IoT based Emergency Evacuation System. *International journal of engineering research and technology*.
- N. Dimakis, A. Filippoupolitis, E. Gelenbe. (2010). Distributed Building Evacuation Simulator for Smart Emergency Management. *Comput. J.*
- National Fire Protection Association (NFPA). (2020). NFPA 101: Life Safety Code. NFPA.
- Nelson, H. E., & Mowrer, F. W. (2002). "Emergency Movement." In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Norma Europeia EN 1125 sobre dispositivos de controle de saída.
- Norma Técnica Portuguesa NTP 4552:2015 sobre sistemas de alarme e detecção de incêndio.
- O'Leary, T., & Gratz, J. M. (1981). Simulation of Building Evacuation. *Simulation & Gaming*, 12, 466-474.

- P. Lorusso, M. D. Iulii, Sebastiano Marasco, M. Domaneschi, G. Cimellaro, Valentina Villa. (2022). Fire Emergency Evacuation from a School Building Using an Evolutionary Virtual Reality Platform. *Buildings*.
- Pablo Cristian Tissera, A. M. Printista, M. Errecalde. (2007). Evacuation simulations using cellular automata. *Journal of Computer Science and Technology*.
- Pascapurnama, D.N., Murakami, A., & Toyoda, Y. (2018). "The Importance of Building and Infrastructure Resilience for Disaster Risk Reduction." *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 465-474.
- Paulsen, E., Brown, D., & Evac, M. (2015). "Using Simulation to Study Human Behavior During Evacuations." *Fire Technology*, 51(3), 683-701.
- Pelechano, N., & Badler, N. (2006). Modeling crowd and trained leader behavior during building evacuation. *IEEE Computer Graphics and Applications*.
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in Construction*, 17, 377-385.
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in Construction*.
- Proulx, G. (1995). Evacuation time and movement in apartment buildings. *Fire Safety Journal*, 24, 229-246.
- Proulx, G. (2002). Evacuation time and movement in apartment buildings. *Fire Safety Journal*, 37(2), 103-129.
- Proulx, G., & Reid, I. (2006). Occupant behavior and evacuation during the Chicago Cook County Administration Building fire. *Journal of Fire Protection Engineering*, 16(4), 283-309.
- Purser, D. A. (2003). "Toxicity assessment of combustion products." *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2, 2-80.
- Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE), Portaria nº 1532/2008.
- Ronchi, E. (2016). A fire safety engineering perspective on crowd evacuation dynamics. *Physics of Life Reviews*.
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire Science Reviews*, 2(1), 1-21.

- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2013). "The Variation of Pre-movement Time in Building Evacuation." *Fire Technology*, 49(3), 563-584.
- Sá, J., Lopes, A., & Costa, P. (2022). "Evacuation Simulation in High-Rise Buildings: A Review." *Fire Technology*, 58(1), 69-92.
- Sagun, A., Anumba, C., & Bouchlaghem, D. (2014). Safety Issues in Building Design to Cope with Extreme Events: Case Study of an Evacuation Process. *Journal of Architectural Engineering*.
- Santos, J.; Pereira, L. (2018). Evacuação de edifícios: estratégias e desafios em situações de emergência. *Segurança e Prevenção*, v. 5, n. 2, p. 89-98.
- Shen, T. (2005). Building Planning Evaluation for Emergency Evacuation. *Journal of Applied Fire Science*.
- Siikonen, M. L., & Hakonen, H. (2003). Efficient evacuation methods in tall buildings. *Elevator World*, 51(7), 78-83.
- Sime, J. D. (1985). Movement toward the familiar: person and place affiliation in a fire entrapment setting. *Environment and Behavior*, 17(6), 697-724.
- Silva, R.; Moura, P. (2019). A influência da localização das saídas de emergência no tempo de evacuação de edifícios comerciais. *Revista de Engenharia e Segurança*, v. 8, n. 1, p. 22-35.
- Sixuan Wang, Michael Van Schyndel, Gabriel A. Wainer, V. S. Rajus, R. Woodbury. (2012). DEVS-based Building Information Modeling and simulation for emergency evacuation. *Proceedings Title: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*.
- Smith, T., & Jones, M. (2018). Human behavior in fire: A review of past research and future directions. *Fire Safety Science*, 26(4), 45-67.
- Starbuck, W. (1973). Computer simulation of human behavior. *Systems Research and Behavioral Science*, 28(2), 154-165.
- Sutrisno, H. H., Amiruddin, J., & Triyono. (2018). Improving the Evacuation Time for 8-Story Office Building Using Pathfinder Simulation. *International Journal of Engineering & Technology*.
- Takabatake, H., Nakamura, T., & Yamada, S. (2020). "Utilization of Evacuation Simulation in Building Safety Evaluation." *Journal of Disaster Research*, 15(5), 783-794.
- Taleai, M., Mokhtari, M., & Zlatanova, S. (2022). 3D Based Smoke Fire Emission And Emergency Evacuation Simulation In High-rise Buildings. *Safety Science*, 140, 105320.

- Tang, F., & Zhang, X. (2008). A GIS-Based 3D Simulation for Occupant Evacuation in a Building. *Tsinghua Science & Technology*, 13, 58-64.
- Thompson, P., Wu, J., & Marchant, E. (1997). Simulex 3.0: Modelling Evacuation In Multi-storey Buildings. *Fire Safety Science*, 5, 725-736.
- Tissera, P. C., Printista, A. M., & Errecalde, M. (2007). Evacuation simulations using cellular automata. *Journal of Computer Science and Technology*, 7, 14-20.
- Tissera, P. C., Printista, A. M., & Errecalde, M. (2007). Evacuation simulations using cellular automata. *Journal of Computer Science and Technology*.
- Trivedi, A., & Rao, S. (2018). Agent-Based Modeling of Emergency Evacuations Considering Human Panic Behavior. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2019). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019. UNDRR.
- Vershinin, A., Mihaylov, A., Reutov, V. V., Sidorkin, V., Chistyakova, A., & Sidorkin, G. (2023). Psychological and pedagogical aspects of effective evacuation of children, including children with disabilities, in emergencies and fires. *Applied Psychology and Pedagogy*.
- Wang, S., Van Schyndel, M., Wainer, G. A., Rajus, V. S., & Woodbury, R. (2012). DEVS-based Building Information Modeling and simulation for emergency evacuation. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*.
- Wang, S., Van Schyndel, M., Wainer, G. A., Rajus, V. S., & Woodbury, R. (2012). DEVS-based Building Information Modeling and simulation for emergency evacuation. *Proceedings Title: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*.
- Wang, S., Van Schyndel, M., Wainer, G. A., Rajus, V. S., & Woodbury, R. (2012). DEVS-based Building Information Modeling and simulation for emergency evacuation. *Winter Simulation Conference (WSC)*, 1-12.
- Wang, Z. (2012). Study on evacuation simulation of fire ground based on pathfinder and FDS. *Journal of Safety Science and Technology*.
- WEBSTER, Craig; IVANOV, Stanislav, 2014 – “Transforming competitiveness into economic benefits: Does tourism stimulate economic growth in more competitive destinations?”. *Tourism Management*. Vol. 40, p. 137-140.
- Wehbe, R., & Shahrour, I. (2021). A BIM-Based Smart System for Fire Evacuation. *Future Internet*, 13(9), 221.
- Wehbe, R., & Shahrour, I. (2021). A BIM-Based Smart System for Fire Evacuation. *Future Internet*.

- Wei, X., Lou, Z., Song, H., Qin, H.-j., & Yao, H. (2023). Exploring the Impacts of Exit Structures on Evacuation Efficiency. *Fire*.
- Weinroth, J. (1989). A Model for the Management of Building Evacuation. *Simulation*.
- World Travel & Tourism Council (WTTC). (2020). "Economic impact reports 2020: Portugal."
- WTA, World Travel Awards. (2024). Winners 2023. Recuperado de <https://www.worldtravelawards.com/winners/2023>
- Wu, G. Y., & Huang, H. C. (2015). Modeling the emergency evacuation of the high rise building based on the control volume model. *Safety Science*, 73, 62-72.
- Wu, G.-Y., & Huang, H.-C. (2015). Modeling the emergency evacuation of the high rise building based on the control volume model. *Safety Science*.
- Xiao, M., & Zhou, X. (2022). Simulation Of Emergency Evacuation From Construction Site Of Prefabricated Buildings. *Automation in Construction*, 134, 104052.
- Xinhai, Z., Shoushi, Z., Sichen, Z., & Kai, W. (2021). Research on Evacuation of Hotel Staff Based on Pathfinder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Xiu-huan, C. (2004). Computer Simulation of Safety Evacuation Time in High-rise Building. *Journal of Chongqing University*.
- Zhang, H., & Long, H. (2021). Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Zhang, J., Guo, J., Xiong, H., Liu, X., & Zhang, D. (2019). A Framework for an Intelligent and Personalized Fire Evacuation Management System. *Sensors (Basel, Switzerland)*.
- Zhang, J., Guo, J., Xiong, H., Liu, X., & Zhang, D. (2019). A Framework for an Intelligent and Personalized Fire Evacuation Management System. *Sensors*, 19(16), 3494.
- Zhang, X., Zhang, S., Zhao, S., & Wang, K. (2021). Research on Evacuation of Hotel Staff Based on Pathfinder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Zhao, J., & Song, S. (2016). Research on Safe Evacuation Simulation of University Students' Dormitory Buildings Based on Pathfinder.
- Zheng, X., Zhong, T., & Liu, M. (2009). Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and Environment*.
- Zhong, G., Zhai, G., & Chen, W. (2022). Evacuation Simulation Of Multi-story Buildings During Earthquakes Based On Improved Cellular Automata Model. *Safety Science*, 145, 105497.

- Zhong, Z., & Zhang, J. (2023). Mathematical Modeling and Simulation Experiment of Psychological Factors Affecting Pedestrian Evacuation Efficiency. *Simul. Model. Pract. Theory*, 122, 102492.
- Zhou, T. (2023). Modeling and Simulation of Emergency Evacuation Planning Paths for Urban Rail Transit Hubs Based on Multilevel Genetic Algorithm. *Math. Probl. Eng.*, 2023, 9821376.
- Żydek, K., Król, M., & Król, A. (2021). Evacuation Simulation Focusing on Modeling of Disabled People Movement. *Sustainability*.

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: André Ferreira

ISEP, Porto, 04 de julho de 2024