



CONTRIBUTOS DA SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA ANÁLISE E MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR DAS TELECOMUNICAÇÕES

DIOGO PINTO QUEIRÓS MACEDO DOS SANTOS

Maio de 2026



CONTRIBUTOS DA SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA ANÁLISE E MELHORIA DA EVACUAÇÃO DE UMA EMPRESA DO SETOR DAS TELECOMUNICAÇÕES

Diogo Pinto Queirós Macedo dos Santos

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

Orientador: Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, Doutor do ISEP

Coorientador: Mónica Glória Cardoso, Doutora do ISEP

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Rafaela Carla Barros Casais, Professor Adjunto Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

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

Professora Doutora Alexandra Borges, Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Porto, Maio, 2026

Agradecimentos

A conclusão da presente dissertação representa o culminar de uma etapa exigente e prazerosa da minha vida académica, cujo percurso não teria sido possível sem a presença diária das diversas pessoas que estiveram ao meu lado e que me apoiaram incondicionalmente.

Primeiramente, expresso o meu mais profundo agradecimento ao meu orientador, o Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, e à minha coorientadora, a Doutora Mónica Glória Cardoso, pela disponibilidade e orientação constante durante este longo processo, no qual ambos tiveram um papel preponderante na realização do presente estudo.

De seguida, gostaria de agradecer à NOS Comunicações, S.A, em particular ao Eng. Davide Vidal, pela disponibilidade e forma como me recebeu nas suas instalações do NorteShopping, bem como por toda a colaboração regular ao longo do projeto.

Adicionalmente, dirijo o meu sentido agradecimento à minha família, em particular aos meus pais, à minha irmã e aos meus avós por me apoiarem ao longo de todo este caminho académico e me incentivarem a continuar e a nunca desistir.

Por último, manifesto o meu agradecimento ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e a todo o corpo docente do Mestrado em Engenharia Mecânica, por proporcionar um ensino de excelência e uma base fundamental para a vida profissional.

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo analisar e melhorar os processos de evacuação, através da simulação baseada em agentes, numa empresa do setor das telecomunicações, nomeadamente nas instalações da NOS no edifício do NorteShopping em Matosinhos, Porto, Portugal. Neste âmbito, o estudo assenta numa metodologia híbrida, uma vez que concilia um caso de estudo com a modelação computacional, na qual se utiliza o *software Pathfinder* de modo a replicar a infraestrutura e simular os comportamentos individuais dos ocupantes perante 7 cenários de emergência. Assim, após a validação do modelo computacional, através da análise comparativa com medições reais, procede-se à avaliação do desempenho dos cenários com distintas configurações, nos quais se evidencia que a infraestrutura original apresenta congestionamentos de fluxos severos em relação ao Edifício Otimizado, uma vez que a adição da escada de emergência permite a redistribuição do fluxo de ocupantes por ambas as vias e, conseqüentemente, a redução do tempo total de evacuação. Para além disso, constata-se que o uso de elevadores é, de um modo geral, prejudicial na eficiência da evacuação, visto que prolonga substancialmente o tempo total de saída em 5 dos 7 cenários. Por último, a dissertação acresce valor para a empresa, dado que estabelece tempos de referência para futuros simulacros e potencia futuras estratégias de evacuação.

Palavras-chave: Simulação Baseada em Agentes, Evacuação de Edifícios Corporativos, *Software Pathfinder*, Setor das Telecomunicações, Tempo de Evacuação, Cenários de Evacuação

Abstract

The present dissertation aims to analyze and improve evacuation processes through agent-based simulation in a company within the telecommunications sector, namely at the NOS facilities in the NorteShopping building located in Matosinhos, Porto, Portugal. In this context, the study relies on a hybrid methodology, as it combines a case study with computational modeling, using the Pathfinder software to replicate the infrastructure and simulate the individual behaviors of the occupants across 7 emergency scenarios. Thus, following the validation of the computational model through a comparative analysis with real measurements, the performance of the scenarios with different configurations is evaluated. This evaluation shows that the original infrastructure presents severe flow congestion compared to the Optimized Building, since the addition of the emergency stairs allows the redistribution of the occupant flow through both routes and, consequently, the reduction of the total evacuation time. Furthermore, it is observed that the use of elevators is generally detrimental to evacuation efficiency, as it substantially prolongs the total exit time in 5 of the 7 scenarios. Lastly, the dissertation adds value to the company, given that it establishes benchmark times for future drills and enhances future evacuation strategies.

KEYWORDS: Agent-Based Simulation, Corporate Building Evacuation, Pathfinder Software, Telecommunications Sector, Evacuation Time, Evacuation Scenarios

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Acrónimos e Símbolos	xix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do Trabalho	1
1.2. Objetivos do Trabalho	3
1.3. Metodologia de Investigação	3
1.4. Apresentação da empresa NOS Comunicações, S.A.	4
1.5. Conteúdo e Organização da Dissertação	5
2. Revisão da Literatura e Fundamentação Teórica	7
2.1. Análise Bibliométrica e Estado da Arte	7
2.1.1. Metodologia de Pesquisa	7
2.1.2. Evolução Temporal da Produção Científica	8
2.1.3. Distribuição Geográfica e Áreas de Investigação	8
2.1.4. Principais Autores e Produção Científica	10
2.1.5. Análise de Palavras-Chave e Síntese	10
2.2. A Simulação no Contexto da Indústria 4.0 e a sua Aplicação em <i>Smart Buildings</i>	11
2.2.1. Indústria 4.0: Princípios Estratégicos	12
2.2.2. O Paradigma do <i>Digital Twin</i> na Gestão de Ativos	13
2.2.3. <i>Building Information Modeling (BIM)</i> e <i>Internet of Things (IoT)</i> como Fontes de Dados para Simulação	14
2.3. A Simulação Baseada em Agentes como Método de Análise	14
2.3.1. Fundamentos da Simulação Baseada em Agentes: Agentes, Ambiente e Diretrizes	15
2.3.2. Vantagens e Limitações da ABS	16
2.3.3. Comparação da ABS com Outros Paradigmas de Simulação	17
2.3.4. Plataformas e Software de Modelação ABS	18
2.4. O Domínio do Problema: Evacuação, Comportamento e Regulação	19
2.4.1. Gestão de Segurança e Risco em Edifícios de Elevada Ocupação	19
2.4.2. Condicionantes Temporais e Ambientais da Evacuação	20

2.4.3. Modelação do Comportamento Humano em Emergência: Fatores Psicológicos e Cognitivos	21
2.4.4. Dinâmicas de Multidão e Restrições Físicas do Espaço	22
2.4.5. Enquadramento Normativo (SCIE) como Definição de Requisitos do Modelo ..	23
2.5. Evacuação de Edifícios – Casos de Estudo	25
3. Estratégias de evacuação de uma empresa do setor das telecomunicações.....	31
3.1. Configuração Edifício NOS NorteShopping	31
3.1.1. Piso -1.....	32
3.1.2. Piso 0	33
3.1.3. Piso 1	36
3.1.4. Piso 2	37
3.1.5. Piso 3	40
3.1.6. Piso 4	41
3.1.7. Piso 5	41
3.1.8. Piso 6	42
3.1.9. Piso 7	42
3.1.10. Piso 8 Cobertura	43
3.2. Estudo de Simulação	44
3.2.1. Modelação (Interface Visual e Animação)	45
3.2.2. Validação do Modelo de Simulação.....	56
3.3. Análise de Estratégias de Evacuação.....	58
3.3.1. Cenário 1 – Edifício Original apenas com as saídas exteriores disponíveis (sem e com elevadores)	60
3.3.2. Cenário 2 - Edifício Original com as saídas principais bloqueadas (sem e com elevadores).....	64
3.3.3. Cenário 3 – Edifício Original com todas as saídas disponíveis (sem e com elevadores).....	68
3.3.4. Cenário 4 – Edifício Otimizado apenas com as saídas exteriores disponíveis (sem e com elevadores)	72
3.3.5. Cenário 5 – Edifício Otimizado com as saídas principais bloqueadas (sem e com elevadores).....	76
3.3.6. Cenário 6 – Edifício Otimizado com todas as saídas disponíveis (sem e com elevadores).....	80
3.3.7. Cenário 7 – Edifício Otimizado com a escada Corporativa do Piso 4 inutilizadas devido a Incêndio	84
4. Resultados e Discussão	87
4.1. Apresentação de resultados.....	87
4.2. Discussão de resultados	88
4.2.1. Análise de Desempenho e Variáveis de Saída sem Elevadores	88

4.2.2. Influência da Utilização dos Elevadores.....	89
4.2.3. Edifício Original vs. Edifício Otimizado.....	90
4.2.4. Simulação de Bloqueio da Escada Corporativa Piso 4 (Cenário 7).....	91
5. Conclusão.....	93
5.1. Conclusões Finais	93
5.2. Principais contributos e valor acrescentado para a NOS Comunicações, S.A.....	94
5.3. Limitações e Dificuldades Encontradas.....	94
5.4. Trabalhos Futuros.....	95
Referências.....	97
Declaração de Integridade	103

Lista de Figuras

Figura 1- Edifício NOS Comunicações, S.A., NorteShopping	5
Figura 2 - Evolução anual do número de documentos publicados	8
Figura 3- Distribuição das publicações por país	9
Figura 4- Distribuição das publicações por área científica.....	9
Figura 5- Autores com maior número de publicações.....	10
Figura 6 – Ed. NOS Comunicações, S.A., NorteShopping e Localização (Google Maps, 2026) ..	31
Figura 7 - Escada Corporativa do Edifício	32
Figura 8 - Elevadores.....	32
Figura 9 - Planta Piso -1.....	33
Figura 10 - Central de bombagem instalada no Piso -1	33
Figura 11 - Planta Piso 0	34
Figura 12 - Receção Edifício NOS	34
Figura 13- Cantina	34
Figura 14 - Espaço <i>Hub Communities</i>	35
Figura 15 - Torniquetes Piso 0.....	35
Figura 16 - Saídas Principais do Edifício	36
Figura 17 - Saída Garagem	36
Figura 18 - Planta Piso 1	37
Figura 19 - Planta Piso 2	37
Figura 20 - Zona de trabalho em grupo	38
Figura 21 - Zona de trabalho individual	38
Figura 22 - Salas de Reunião	38
Figura 23 - Gabinete.....	39
Figura 24 - Cabines Acústicas.....	39
Figura 25 - Zona de Copa.....	40
Figura 26 - Hall de Acesso	40
Figura 27 - Planta Piso 3	41
Figura 28 - Planta Piso 4	41
Figura 29 - Planta Piso 5	42
Figura 30 - Planta Piso 6	42
Figura 31 - Planta Piso 7	43
Figura 32 - Planta Piso 8 Cobertura.....	43
Figura 33 - <i>Lounge Indoor</i> Piso 8.....	44
Figura 34 - Esplanada Piso 8.....	44
Figura 35 - Zona das Máquinas Piso 8.....	44
Figura 36 - Comparação entre a planta original e planta otimizada do Piso 3 em <i>AutoCAD</i>	45
Figura 37 - Interface Pathfinder	46
Figura 38 - Funcionalidade “ <i>Import File</i> ”	46
Figura 39 - Funcionalidade “ <i>Convert to Transient Obstacle</i> ”	47
Figura 40 - Estrutura de obstáculos do modelo	47

Figura 41 - Funcionalidade “ <i>Extract Room from Imported Geometry</i> ”	48
Figura 42 - Resultado extração do Piso 0	48
Figura 43 - Funcionalidade “ <i>Add a New Door</i> ”	49
Figura 44 - Distinção visual das portas: interiores (laranja) e exteriores (verde)	49
Figura 45 - Funcionalidade “ <i>Add a Polygonal Room</i> ”	50
Figura 46- Funcionalidade “ <i>Create stairs between two edges by choosing a point on each</i> ” ...	50
Figura 47 - Escada Corporativa.....	51
Figura 48 - Funcionalidade “ <i>Create Elevator</i> ”	51
Figura 49 - Configurações Elevador.....	52
Figura 50 - Modelo Computacional Ed. NOS.....	52
Figura 51 - Perfis criados.....	53
Figura 52 - Velocidade Perfis Gerais	53
Figura 53 - Velocidade Perfil Mobilidade Reduzida	54
Figura 54 - Restrição dos Perfis às áreas restritas.....	54
Figura 55 - <i>Behavior</i> Segurança.....	55
Figura 56 - Funcionalidade “ <i>Add Occupants</i> ”	55
Figura 57 - Ocupantes do Modelo.....	55
Figura 58 - Modelo Computacional Finalizado	56
Figura 59 - Introdução Escada de Emergência	59
Figura 60 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 1 (sem elevadores).....	61
Figura 61 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 1 (sem elevadores) .	61
Figura 62 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 1 (sem elevadores).....	62
Figura 63 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 1 (com elevador)	63
Figura 64 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 1 (com elevadores) .	63
Figura 65 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 1 (com elevadores)	64
Figura 66 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 2 (sem elevadores).....	65
Figura 67 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 2 (sem elevadores) .	65
Figura 68 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 2 (sem elevadores).....	66
Figura 69 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 2 (com elevador)	67
Figura 70 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 2 (com elevadores) .	67
Figura 71 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 2 (com elevadores)	68
Figura 72 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 3 (sem elevadores).....	69
Figura 73 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 3 (sem elevadores) .	69
Figura 74 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 3 (sem elevadores).....	70
Figura 75 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 3 (com elevadores)	71
Figura 76 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 3 (com elevadores) .	71
Figura 77 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 3 (com elevadores)	72
Figura 78 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 4 (sem elevadores).....	73
Figura 79 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 4 (sem elevadores) .	73
Figura 80 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 4 (sem elevadores).....	74
Figura 81 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 4 (com elevadores)	75
Figura 82 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 4 (com elevadores) .	75
Figura 83 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 4 (com elevadores)	76

Figura 84 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 5 (sem elevadores).....	77
Figura 85 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 5 (sem elevadores) .	77
Figura 86 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 5 (sem elevadores).....	78
Figura 87 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 5 (com elevadores)	79
Figura 88 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 5 (com elevadores) .	79
Figura 89 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 5 (com elevadores)	80
Figura 90 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 6 (sem elevadores).....	81
Figura 91 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 6 (sem elevadores) .	81
Figura 92- Mapa de Congestionamento máximo Cenário 6 (sem elevadores).....	82
Figura 93 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 6 (com elevadores)	83
Figura 94 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 6 (com elevadores) .	83
Figura 95 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 6 (com elevadores)	84
Figura 96 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 7	85
Figura 97 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 7.....	85
Figura 98 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 7	86

Lista de Tabelas

Tabela 1- Principais palavras-chave identificadas na literatura.....	10
Tabela 2- Comparação entre abordagens de simulação.....	18
Tabela 3- Principais plataformas de simulação.....	18
Tabela 4- Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação .	25
Tabela 5 - Simulação Real vs. Simulação Computacional	57
Tabela 6 - Resultados Cenário 1 sem elevadores.....	60
Tabela 7 - Resultados Cenário 1 com elevadores	62
Tabela 8 - Resultados Cenário 2 sem elevadores.....	64
Tabela 9 - Resultados Cenário 2 com elevadores	66
Tabela 10 - Resultados Cenário 3 sem elevadores.....	68
Tabela 11 - Resultados Cenário 3 com elevadores	70
Tabela 12 - Resultados Cenário 4 sem elevadores.....	72
Tabela 13 - Resultados Cenário 4 com elevadores	74
Tabela 14 - Resultados Cenário 5 sem elevadores.....	76
Tabela 15 - Resultados Cenário 5 com elevadores	78
Tabela 16 - Resultados Cenário 6 sem elevadores.....	80
Tabela 17 - Resultados Cenário 6 com elevadores	82
Tabela 18 - Resultados Cenário 7.....	84
Tabela 19 - Resultados de Todos os Cenários.....	87
Tabela 20 - Comparação Cenários Edifício Original (sem elevadores).....	88
Tabela 21 - Comparação Cenários Edifício Otimizado (sem elevadores).....	89
Tabela 22 - Comparação de tempos: sem elevadores Vs. com elevadores.....	89
Tabela 23 - Comparação Edifício Original Vs. Edifício Otimizado (sem elevadores).....	90
Tabela 24 - Comparação Edifício Original Vs. Edifício Otimizado (com elevadores)	91
Tabela 25 - Impacto do bloqueio da escada corporativa no Piso 4	91

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ABS	<i>Agent-Based Simulation</i> (Simulação Baseada em Agentes)
AI	<i>Artificial Intelligence</i> (Inteligência Artificial)
ASET	<i>Available Safe Egress Time</i> (Tempo Disponível para Evacuação Segura)
B2B	<i>Business to Business</i>
B2C	<i>Business to Consumer</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelação de Informação da Construção)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i> (Sistemas Ciber-Físicos)
CRM	<i>Customer Relationship Management</i> (Gestão de Relacionamento com o Cliente)
DES	<i>Discrete Event Simulation</i> (Simulação de Eventos Discretos)
DT	<i>Digital Twin</i> (Gémeo Digital)
DTMC	<i>Discrete Time Markov Chain</i> (Cadeias de Markov de Tempo Discreto)
GIS	<i>Geographic Information System</i> (Sistema de Informação Geográfica)
HRR	<i>Heat Release Rate</i> (Taxa de Libertação de Calor)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
IoP	<i>Internet of People</i> (Internet das Pessoas)
IT	<i>Information Technology</i> (Tecnologias de Informação)
KPI	<i>Key Performance Indicators</i> (Indicadores Chave de Desempenho)
OCEAN	<i>Openness, Conscientiousness, Extraversion, Agreeableness, Neuroticism</i> (Modelo dos Cinco Grandes Fatores de Personalidade)
ODD	<i>Overview, Design concepts, and Details</i> (Protocolo de Documentação)
PME	Pequenas e Médias Empresas
PUL	<i>Perceived Urgency Level</i> (Nível de Urgência Percebida)
RJ-SCIE	Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios
RSET	<i>Required Safe Egress Time</i> (Tempo Necessário para Evacuação Segura)
RT-SCIE	Regulamento Técnico de SCIE
SCIE	Segurança Contra Incêndio em Edifícios

SP	<i>System Dynamics</i> (Dinâmica de Sistemas)
UP	Unidade de Passagem

Lista de Símbolos

a	aceleração	m/s^2
σ	desvio padrão	m/s
T	temperatura	$^{\circ}C$
t	tempo	s
μ	velocidade média	m/s

1. Introdução

O presente capítulo é reservado à introdução da dissertação, no qual se procede, numa primeira fase, ao enquadramento do trabalho, salientando-se a sua relevância e pertinência. Posteriormente, são apresentados os principais objetivos do estudo, bem como respetivas questões que se pretendem ver elucidadas, seguindo-se a descrição da metodologia adotada, assente na Simulação Baseada em Agentes (ABS), e uma breve apresentação da empresa, na qual será realizado o estudo de evacuação. Por último, de modo a situar o leitor, apresenta-se o conteúdo e a organização da dissertação.

1.1. Enquadramento do Trabalho

Atualmente, a acentuada expansão das áreas urbanas, caracterizada pela progressiva verticalização de edifícios, nomeadamente edifícios destinados a residências, escritórios, ou a infraestruturas críticas, tem impulsionado uma crescente dependência de construções em altura e com uma elevada complexidade estrutural. Deste modo, esta medida acarreta desafios significativos no domínio da segurança, uma vez que, em caso de emergências, como incêndios, sismos ou outros desastres, a eficiência dos processos de evacuação do edifício pode ser comprometida (Y. S. Wang et al., 2025).

Um exemplo trágico mediático, como é o caso do incêndio da Torre *Grenfell*, vem reforçar as potenciais consequências de uma falha nos sistemas de segurança e de evacuação em edifícios de grande dimensão, salientando, desta forma, a urgência em reavaliar as práticas e regulamentações em vigor. Neste sentido, e principalmente nos edifícios de alto risco, há que ter em consideração, não apenas a dimensão física da estrutura, mas todo um sistema sociotécnico complexo, no qual interações tecnológicas, procedimentos e múltiplos intervenientes, como é o caso dos ocupantes, gestores e equipas de emergência, têm um papel determinante na segurança (Çidik & Phillips, 2021; Spearpoint et al., 2024).

Por conseguinte, um dos principais desafios reside na limitação das abordagens convencionais de planeamento de evacuação, visto que se baseiam, frequentemente, em planos estáticos e predefinidos (Lujak et al., 2017). Para além disso, estes planos, uma vez que se encontram muitas vezes limitados às rotas designadas, demonstram-se insuficientes perante uma situação de imprevisibilidade, como é o caso de uma emergência, na medida em que ignoram o comportamento humano sob *stress*, que é um fator determinante na eficiência do plano de evacuação (Z. Ding et al., 2024; Rendón Rozo et al., 2019). Este cenário deve-se, fundamentalmente, ao facto de os indivíduos não atuarem como agentes perfeitamente

racionais, visto que, para além de estarem afetados por fatores psicológicos, como o pânico, a ansiedade, a perceção do risco e as interações sociais, enfrentam dificuldades em compreender a dinâmica de ameaça em tempo real, bem como em identificar rotas de saída seguras. Deste modo, este conjunto de fatores, pode provocar decisões heurísticas e hesitações, que resultam em congestionamentos perigosos e tempos de evacuação prolongados (Z. Ding et al., 2024; Moussaïd et al., 2016; Trivedi & Rao, 2018). Neste sentido, os modelos tradicionais ignoram frequentemente estas dinâmicas, uma vez que assumem um comportamento homogêneo de todos os ocupantes, ao invés de considerar a heterogeneidade de cada elemento, sendo que esta omissão pode afetar drasticamente os resultados da evacuação (Lu et al., 2023).

De forma a dar uma alternativa e resposta aos problemas anteriormente enunciados, a simulação computacional, nomeadamente a metodologia de simulação, Simulação Baseada em Agentes, apresenta uma capacidade superior para lidar com a complexidade presente nos momentos de evacuação, tornando-se, desta forma, uma ferramenta indispensável para a análise e melhoria dos processos de evacuação (Kasereka, Kabwe, et al., 2025; Y. S. Wang et al., 2025).

Deste modo, a ABS permite modelar explicitamente os ocupantes como agentes autónomos heterogêneos, que consiste na atribuição a cada ocupante de características individuais, regras comportamentais próprias e capacidade de interação com o ambiente e com os restantes indivíduos envolvidos (Spearpoint et al., 2024; Trivedi & Rao, 2018).

Neste sentido, a ABS, para além de possibilitar a incorporação explícita de fatores psicológicos, cognitivos e sociais, permite ainda testar, sistematicamente, possíveis cenários de evacuação, avaliando o impacto de diferentes aspetos no sucesso do procedimento. Desta forma, esta flexibilidade viabiliza a integração de modelos de decisão, conferindo um maior realismo e fiabilidade às simulações (Ye et al., 2024).

Para além disso, a Indústria 4.0 intensificou a relevância das ferramentas de simulação nomeadamente em edifícios com uma grande sofisticação tecnológica (*Smart Buildings*), bem como, edifícios equipados com redes extensivas de sensores (*IoT*), sistemas de automação e plataformas de gestão de dados, como é o caso da plataforma BIM (*Building Information Modeling*). Desta forma, é possível reunir diversos dados e informações em tempo real, que visam melhorar a resposta a emergências (Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Piras et al., 2025).

Não obstante, o conceito de *Digital Twin (DT)*, revela-se igualmente relevante neste contexto, visto que, por se tratar de uma representação virtual dinâmica de um ativo físico, como por exemplo de um edifício, pode servir de plataforma para simulação, planeamento e apoio à decisão, na gestão de emergências, permitindo, deste modo, avaliar o impacto de possíveis catástrofes e melhorar e otimizar estratégias de evacuação de uma forma dinâmica e consciente (Ariyachandra & Wedawatta, 2023; Z. Ding et al., 2024; Piras et al., 2025).

Em suma, no âmbito dos processos de evacuação, verifica-se a urgência em aplicar metodologias de simulação, como a ABS, com o intuito de modelar, analisar e sugerir melhorias nos procedimentos de evacuação de uma empresa do setor das telecomunicações.

1.2. Objetivos do Trabalho

A presente dissertação tem como principal objetivo analisar e evidenciar os contributos da Simulação Baseada em Agentes para a compreensão, avaliação e melhoria dos processos de evacuação numa empresa do setor das telecomunicações. Deste modo, pretende-se demonstrar que esta abordagem de modelação, uma vez que é centrada no comportamento individual dos agentes, bem como nas suas interações, é uma mais-valia eficaz de apoio à decisão em ambientes com um elevado número de intervenientes e um alto grau de incerteza.

Neste enquadramento, o uso da ABS permite representar de forma realista os padrões de comportamento humano, bem como os seus fluxos de movimento e interações com o espaço físico, possibilitando, deste modo, a identificação de constrangimentos e de cenários alternativos que promovam uma melhoria da eficiência e da segurança do processo.

Desta forma, é proposto o desenvolvimento de um modelo de simulação que represente com rigor o espaço físico e as características organizacionais da empresa em estudo, no qual será incorporado o comportamento dos colaboradores durante a evacuação. Para além disso, será necessário avaliar o processo de evacuação existente, com o intuito de identificar os principais fatores que influenciam o seu desempenho, de forma a considerar essas informações na idealização do modelo de simulação. Após o desenvolvimento do modelo, serão testados e comparados diferentes cenários de evacuação, atendendo a possíveis alterações estruturais, bem como, novas rotas de evacuação, de modo a avaliar o impacto de cada variável no tempo total de evacuação e no nível de segurança.

Adicionalmente, pretende-se validar o modelo de simulação idealizado, através dos resultados obtidos no estudo, em comparação com as informações recolhidas na empresa.

1.3. Metodologia de Investigação

A presente dissertação, de modo a dar resposta à complexidade do estudo, apresenta como metodologia de investigação, uma abordagem híbrida, (Oliveira et al., 2016), com o Caso de Estudo como o método primordial e a Simulação Baseada em Agentes, como método de análise. Esta abordagem metodológica revela-se fundamental, visto que, por um lado, por se tratar de um sistema complexo, como é o caso de procedimentos de evacuação numa empresa líder no setor das telecomunicações, é necessário considerar a interação entre o caso e o seu contexto envolvente, que permita investigar as causas que conduziram a certos resultados (Yin, 2013). Por outro lado, a ABS, é também necessária, uma vez que, ao contrário dos métodos de simulação tradicionais, tem a capacidade de simular os comportamentos e interações humanas durante processos de evacuação, bem como modelar os agentes com regras e atributos individuais, conferindo-lhes uma heterogeneidade, sendo, desta forma, a melhor abordagem para assegurar a veracidade do estudo (Senanayake et al., 2024).

Não obstante, é necessário salientar que, apesar de todos os excelentes atributos, um desafio da ABS, reside no facto de haver uma escassez de dados empíricos para a calibração e validação dos modelos, visto que, para garantir a validade das simulações, é essencial a recolha de dados

com detalhe sobre o comportamento humano em emergências reais, o que se revela extremamente difícil de obter (Senanayake et al., 2024).

Para além disso, o Caso de Estudo, não atua unicamente como objeto de análise, visto que é também a principal fonte de validação empírica para o modelo ABS desenvolvido, uma vez que, este procedimento está alinhado com as melhores práticas para reforçar a validade em estudos de caso, nomeadamente através do uso de múltiplas fontes de dados e métodos, de forma a garantir uma conclusão fundamentada (Holm et al., 2018).

De um modo geral, o processo metodológico pode ser dividido nas seguintes 4 fases:

- **Caracterização do Caso de Estudo:** A primeira fase consiste na recolha e análise de dados empíricos essenciais à realização do estudo, nomeadamente a recolha das plantas em ficheiros CAD da infraestrutura do edifício, o número e as características dos ocupantes, bem como os procedimentos de evacuação existentes;
- **Conceção do Modelo de Simulação:** A segunda fase abrange o desenvolvimento de um modelo ABS representativo da infraestrutura da empresa e dos seus ocupantes, incorporando regras de comportamento nos dados recolhidos;
- **Calibração e Validação Empírica:** A terceira fase compreende o ajuste dos parâmetros do modelo e a verificação da sua capacidade em reproduzir dados ou padrões conhecidos do caso real. Esta etapa envolve a comparação de resultados simulados com os dados fornecidos pela empresa e, posteriormente, a validação do modelo simulado;
- **Simulação de Cenários:** A quarta fase engloba a utilização do modelo validado para explorar diferentes cenários, testar hipóteses sobre pontos críticos no processo de evacuação e avaliar o impacto potencial de estratégias de melhoria.

1.4. Apresentação da empresa NOS Comunicações, S.A.

A NOS Comunicações, S.A., foi a empresa selecionada para a realização do presente estudo, uma vez que, por ser uma das principais empresas no setor das telecomunicações a operar em Portugal, abrange uma elevada relevância nacional e assume um papel preponderante no desenvolvimento tecnológico e na prestação de serviços de comunicação no país, nomeadamente comunicações móveis e fixas, televisão, internet e serviços dirigidos ao segmento empresarial.

Para além disso, a NOS, denominação pela qual é comumente reconhecida, procura, através de uma estratégia de inovação contínua, reforçar a sua posição no setor, bem como contribuir positivamente para a digitalização do país, dada a sua aposta em infraestruturas de última geração, incluindo o desenvolvimento da tecnologia 5G e a melhoria dos serviços digitais.

O presente estudo será desenvolvido nas instalações da NOS, mais concretamente no edifício do NorteShopping, em Matosinhos (Figura 1). Este edifício destaca-se pela sua elevada dimensão e densidade ocupacional, visto que abrange diariamente um número significativo de colaboradores repartidos pelos diversos pisos e departamentos. Deste modo, fatores como o ambiente dinâmico e a sua elevada diversidade, tornam este edifício um exemplo

representativo das exigências associadas à segurança e, respetivamente, à eficiência nos processos de evacuação em grandes empresas no setor das telecomunicações.

Adicionalmente, a escolha por este edifício da NOS, justifica-se pela relevância que o edifício protagoniza no contexto organizacional da empresa e pelas condições favoráveis à realização de um estudo aprofundado sobre procedimentos de evacuação em ambientes corporativos e complexos.



Figura 1- Edifício NOS Comunicações, S.A., NorteShopping

1.5. Conteúdo e Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se segmentada em 5 capítulos.

O capítulo 1 é reservado à Introdução da dissertação, no qual é contextualizado o tema de investigação e são estabelecidos os objetivos a atingir ao longo do estudo. Para além disso, é apresentada a metodologia de investigação e é realizada uma breve apresentação da empresa na qual será elaborado o Caso de Estudo.

No Capítulo 2, intitulado de Revisão da Literatura e Fundamentação Teórica, apresenta-se o estado da arte e os conceitos teóricos que servem de suporte ao desenvolvimento do trabalho. Neste sentido, este capítulo aborda a importância da simulação no contexto da Indústria 4.0 e a Simulação Baseada em Agentes como ferramenta de apoio à decisão. Destaca-se ainda a importância dos processos de evacuação na gestão de edifícios e a sua legislação aplicável. Por último, é realizada uma revisão de casos de estudo relevantes na área.

O Capítulo 3, designado por Estratégias de evacuação de uma empresa do setor das telecomunicações, descreve a componente prática da investigação. Este capítulo detalha a aplicação da metodologia ao caso de estudo, detalhando o processo de recolha de dados e a construção de um modelo de simulação representativo infraestrutura da empresa e dos seus ocupantes. Adicionalmente, neste capítulo, são testados e analisados diversos cenários de evacuação, que vão permitir identificar pontos críticos e testar o impacto de diferentes estratégias de melhoria.

Introdução

No Capítulo 4, denominado de Resultados e Discussão, são apresentados os resultados obtidos nos diversos cenários, seguida de uma análise e discussão do impacto das variáveis na eficiência da evacuação.

O Capítulo 5, é destinado às conclusões da dissertação, no qual são sintetizadas as principais contribuições e conclusões retiradas do trabalho. Adicionalmente, são também apresentadas as limitações da investigação e propostas para trabalhos futuros.

Por último, é apresentada a lista de Referências Bibliográficas que fundamentam o desenvolvimento da dissertação.

2. Revisão da Literatura e Fundamentação Teórica

O presente capítulo aborda a revisão do estado da arte e a fundamentação teórica que permite suportar a dissertação. Neste sentido, primeiramente, é realizada uma análise bibliométrica, com o intuito de demonstrar a evolução científica do tema e a sua pertinência atual. De seguida, procede-se ao enquadramento tecnológico do estudo, no qual é abordada a simulação no contexto da Indústria 4.0 e a sua aplicação em *Smart Buildings*. Posteriormente, é realçado o método de análise central da dissertação, a Simulação Baseada em Agentes, bem como a sua aplicação aos processos de evacuação atendendo ao comportamento humano. Por último, realiza-se uma análise crítica de diversos casos de estudo relevantes na literatura, de modo a sustentar a abordagem proposta.

2.1. Análise Bibliométrica e Estado da Arte

O presente capítulo, com o intuito de contextualizar o tema de investigação e demonstrar a sua atualidade científica, apresenta uma análise bibliométrica quantitativa, na qual é possível aferir a evolução temporal da investigação, bem como identificar a distribuição geográfica da literatura e validar a sua pertinência no que diz respeito à segurança do processo.

Neste sentido, a metodologia de pesquisa tem por base estudos de referência na área, que validam a utilização da base de dados *Scopus* como fonte fidedigna para a extração de indicadores e análise de tendências em domínios técnicos.

2.1.1. Metodologia de Pesquisa

A recolha dos dados bibliométricos foi efetuada na base de dados *Scopus* no dia 28 de novembro de 2025, na qual, com o objetivo de identificar a convergência entre a ferramenta de análise do estudo, a Simulação Baseada em Agentes, e o domínio de aplicação, utilizou-se a seguinte combinação de palavras-chaves:

((“Agent-based”) AND (“Simulation” OR “Modeling”)) AND (“Evacuation”)

Adicionalmente, de modo a refinar a amostra e a assegurar a coerência com os padrões observados na literatura, foram aplicados critérios de seleção específicos, nomeadamente a restrição da pesquisa aos campos Título, Resumo e Palavras-chave, bem como a delimitação temporal entre 2010 e 2024, uma vez que se pretendeu considerar somente anos completos.

Para além disso, a seleção restringiu-se unicamente a Artigos de Revista, a Artigos de Conferência e a Capítulos de Livro unicamente documentados em língua inglesa.

A aplicação destes filtros resultou na identificação de 863 documentos, que constituem a base da análise estatística apresentada de seguida.

2.1.2. Evolução Temporal da Produção Científica

A análise da distribuição cronológica das publicações permite aferir o grau de maturidade e o interesse crescente sobre o tema. A Figura 2, ilustra a evolução do número de documentos publicados anualmente.

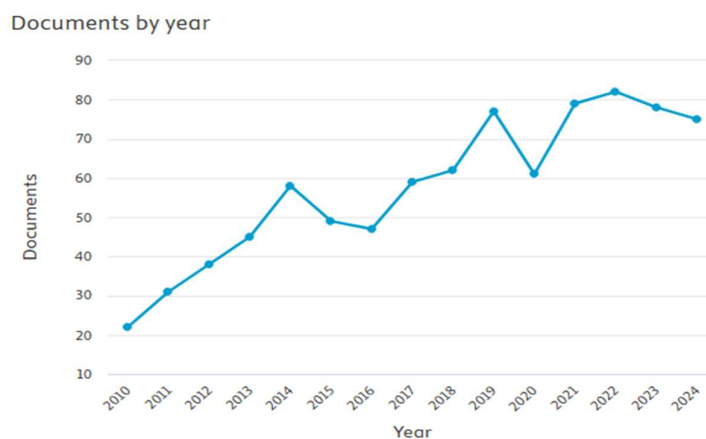


Figura 2 - Evolução anual do número de documentos publicados

Através da análise do gráfico, podemos concluir que existe um crescimento significativo do volume de publicações de documentos relacionados com a Simulação Baseada em Agentes aplicada à evacuação, com o pico de documentos a ser registado em 2022, totalizando 82 publicações. Estes dados evidenciam uma correlação positiva entre a crescente necessidade de ferramentas de simulação avançada e a gestão de segurança em infraestruturas complexas.

2.1.3. Distribuição Geográfica e Áreas de Investigação

A análise geográfica, representada na Figura 3, destaca os países que lideram a investigação nesta área.

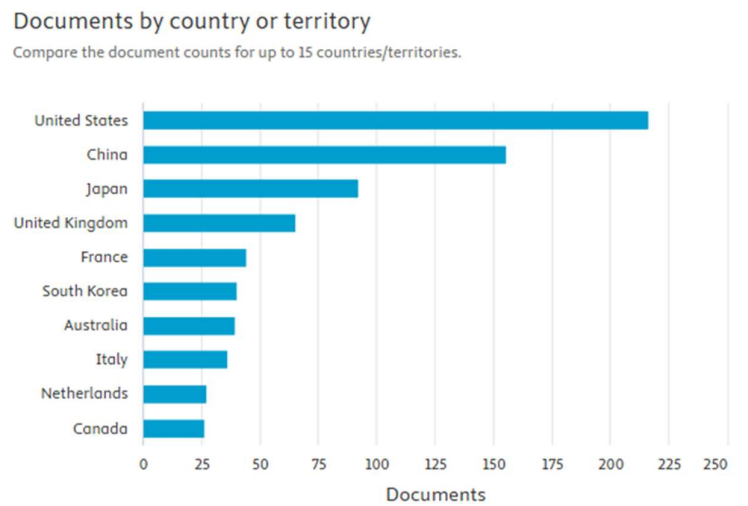


Figura 3- Distribuição das publicações por país

Os dados presentes, revelam que os Estados Unidos assumem a liderança destacada na produção científica, seguidos pela China e pelo Japão. Esta distribuição reflete o forte investimento destas nações em tecnologias de segurança, gestão de multidões e computação avançada, o que permite corroborar a tendência das grandes potências tecnológicas liderarem a investigação em simulação.

Por sua vez, no que diz respeito às áreas científicas, a Figura 4 ilustra a diversidade de domínios científicos envolvidos.

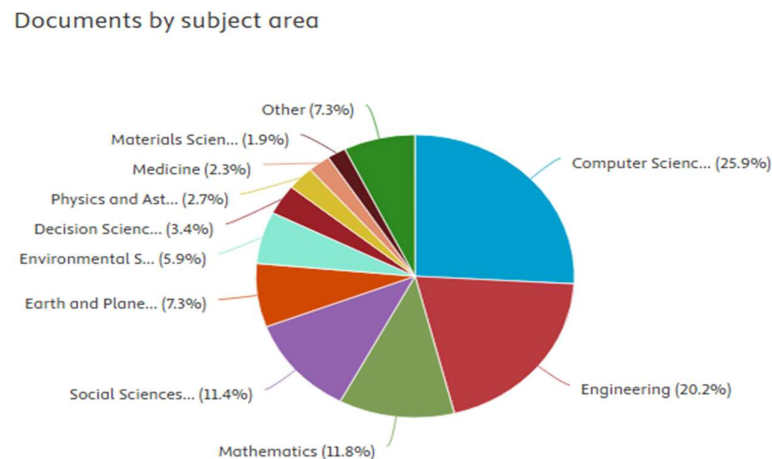


Figura 4- Distribuição das publicações por área científica

A Ciência de Computadores (*Computer Science*, 25,9%) e a Engenharia (*Engineering*, 20,2%) são as áreas predominantes e representam a base técnica necessária para o desenvolvimento dos modelos de simulação. Para além disso, a Matemática (*Mathematics*, 11,8%) desempenha um papel fundamental no suporte algorítmico e na estruturação lógica dos agentes, enquanto a presença significativa das Ciências Sociais (*Social Sciences*, 11,4%) demonstra o reconhecimento da componente humana na evacuação, o que valida a necessidade de integrar comportamentos sociais nos modelos de engenharia.

2.1.4. Principais Autores e Produção Científica

Não obstante, é fundamental identificar os investigadores mais conceituados na área, visto que a sua produção científica influencia as tendências metodológicas. Deste modo, a Figura 5 apresenta os autores com maior número de publicações.

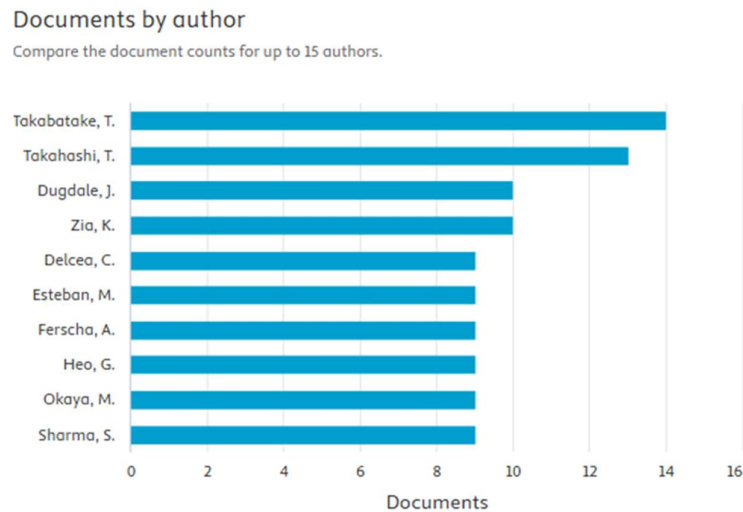


Figura 5- Autores com maior número de publicações

A análise do gráfico permite aferir que Takabatake, T. lidera a produção científica com 14 documentos, seguido por Takahashi, T. com 13 publicações. Para além disso, observa-se que existe um núcleo consolidado de vários autores, nomeadamente Dugdale, J. e Zia, K., ambos com 10 documentos, que apresentam uma produção consistente que evidencia uma forte presença da comunidade científica no estudo de processos de evacuação com base na Simulação Baseada em Agentes.

2.1.5. Análise de Palavras-Chave e Síntese

A análise das palavras-chave mais frequentes permite identificar os temas predominantes na literatura analisada. A Tabela 1 apresenta os termos com maior incidência nos documentos, após a exclusão das variações diretas dos termos de pesquisa principais.

Tabela 1- Principais palavras-chave identificadas na literatura

Palavra-Chave (<i>Keyword</i>)	Nº de Documentos
<i>Computational Methods</i>	300
<i>Autonomous Agents</i>	296
<i>Behavioral Research</i>	159
<i>Emergency Evacuation</i>	123
<i>Decision Making</i>	113
<i>Multi Agent Systems</i>	104
<i>Disasters</i>	95

Tabela 1- Principais palavras-chave identificadas na literatura (cont.)

Palavra-Chave (<i>Keyword</i>)	Nº de Documentos
<i>Risk Assessment</i>	67
<i>Fires</i>	54

A análise dos resultados obtidos na Tabela 1, revela a existência de duas vertentes distintas na literatura científica, uma vez que, por um lado, termos técnicos como *Computational Methods* e *Autonomous Agents* são predominantes, o que demonstra a complexidade dos modelos utilizados e, por outro lado, palavras-chaves como *Behavioral Research* e *Decision Making* surgem com elevada frequência, o que evidencia o papel preponderante do fator humano no processo. Adicionalmente, a presença de termos como *Disasters* e *Fires* contextualiza os cenários de aplicação predominantes.

Em suma, os resultados validam a pertinência deste estudo, inserindo-o numa área de investigação em expansão e de elevada relevância, impulsionada pela necessidade de consolidar a Simulação Baseada em Agentes como uma ferramenta de apoio à decisão, essencial para a gestão da segurança e melhoria de processos de evacuação.

2.2. A Simulação no Contexto da Indústria 4.0 e a sua Aplicação em *Smart Buildings*

Na sociedade contemporânea, a gestão de edifícios, nomeadamente em questões relevantes como a segurança e a elevada eficiência operacional de infraestruturas com alta afluência, tem sofrido uma profunda transformação impulsionada pela Indústria 4.0 (Zhan et al., 2025). Deste modo, os edifícios deixam de ser perspetivados unicamente como estruturas estáticas, passando a ser contextualizados como sistemas dinâmicos e complexos, nos quais se incluem os *Smart Buildings*.

Desta forma, no contexto da Indústria 4.0, um *Smart Building* caracteriza-se como um Sistema Cyber-Físico (CPS), visto que, ao contrário dos sistemas tradicionais de automação, que operam com estratégias simplistas e reativas, uma abordagem sustentada num CPS permite recorrer a representações computacionais de processos físicos subjacentes, como por exemplo o fluxo de ocupantes, que possibilita a implementação de estratégias de controlo preditivas (Schmidt & Åhlund, 2018).

Neste contexto, o *Digital Twin* surge como a principal plataforma de gestão de ativos (Piras et al., 2024), uma vez que, por ter em consideração duas fontes de dados complementares, como o *Building Information Modeling (BIM)*, responsável pelo contexto geométrico e semântico estático (X. Hu et al., 2024), e a *Internet of Things (IoT)*, que disponibiliza os dados dinâmicos em tempo real (Biagini et al., 2024), torna-se uma medida fulcral para a análise de processos sociotécnicos complexos, nomeadamente processos de simulação de evacuações que, tendo por base esta infraestrutura de dados, deixam de ser unicamente estáticos ou prescritivos e passam a ser adaptativos e integrados em tempo real com o ativo físico.

2.2.1. Indústria 4.0: Princípios Estratégicos

A quarta revolução industrial, representa a digitalização e automação abrangente da indústria, na qual se alterou profundamente os modelos de produção e operação (Zhan et al., 2025). Este paradigma integra operações físicas com tecnologias digitais inteligentes, como *Big Data* e Inteligência Artificial (AI), estabelecendo, desta forma, um ecossistema corporativo totalmente interligado (Javaid et al., 2023).

Posto isto, a Indústria 4.0 assenta em quatro princípios estratégicos fundamentais, nomeadamente (Serôdio et al., 2024):

- Interconectividade: Ligação entre máquinas, sensores e pessoas via *Internet of Things (IoT)* e *Internet of People (IoP)*;
- Transparência da Informação: Uso de dados para apoiar a tomada de decisão;
- Assistência Tecnológica: Sistemas auxiliares em tarefas complexas ou de elevado risco;
- Tomada de Decisão Descentralizada: Autonomia dos sistemas para executar tarefas independentes.

Neste sentido, estes 4 princípios encontram-se materializados através dos 9 pilares da Indústria 4.0, constituídos por *Big Data* e Análise de Dados, Robôs Autónomos, Simulação, Integração de Sistemas, *Internet of Things (IoT)*, Cyber segurança, *Cloud Computing*, Manufatura Aditiva e Realidade Aumentada (Baghalzadeh Shishehgharkhaneh et al., 2022; Serôdio et al., 2024).

Em termos operacionais, o princípio da Interconectividade é sustentado pela *IoT*, pela *Cloud Computing* e pela Integração de Sistemas, enquanto o *Big Data* e Análise de Dados impulsiona a Transparência de Informação. Por sua vez, a Simulação e a Realidade Aumentada implementam a Assistência Tecnológica. Por último, o princípio da Tomada de Decisão Descentralizada tem como base os Robôs Autónomos, sendo que o pilar da Cyber segurança atua como transversal a todos os princípios.

Adicionalmente, o CPS emerge como conceito central desta convergência, definindo-se pela integração de processos computacionais e físicos que, através de ciclos de *feedback*, permitem que o *software* defina o comportamento da realidade física (Javaid et al., 2023; Jiang, 2018; Schmidt & Åhlund, 2018; Serôdio et al., 2024).

Tendo por base esta abordagem, há uma transformação evidente nos *Smart Buildings*, visto que, ao contrário da automação tradicional, na qual se opera de uma forma simplista e reativa, um *Smart Building*, enquanto CPS, utiliza representações computacionais de processos físicos subjacentes, de modo a implementar estratégias de controlo preditivas. Desta forma, esta dinâmica permite estabelecer um ciclo fechado (*closed loop*), no qual decisões de atuação, como por exemplo a sugestão de rotas de evacuação, impactam o processo físico medido por sensores, sendo, posteriormente, gerado novos dados que afetarão decisões futuras.

De modo a estruturar o ciclo de *feedback* e a progressão dos dados no CPS, é frequentemente utilizado a arquitetura dos 5C, uma vez que permite descrever com clareza o fluxo de informação em 5 níveis distintos, nomeadamente (Javaid et al., 2023; Jiang, 2018):

- Conexão: Aquisição de dados precisos de máquinas e sensores;
- Conversão: Transformação de dados brutos em informação processável;
- *Cyber*: Espaço central que agrega dados e estabelece o *Digital Twin*;
- Cognição: Apresentação da informação a utilizadores ou sistemas de AI para suporte à decisão;
- Configuração: Ciclo de *feedback* que permite configurar, ajustar e otimizar automaticamente o sistema.

Este enquadramento é crucial, visto que estabelece o *Digital Twin*, localizado no nível *Cyber*, como a plataforma que suporta a simulação inerente ao nível Cognição, promovendo a ligação entre a recolha de dados dos níveis Conexão e Conversão e a ação física do nível Configuração.

2.2.2. O Paradigma do *Digital Twin* na Gestão de Ativos

O conceito de *Digital Twin*, no âmbito da Gestão do Ciclo de Vida do Produto, foi introduzido com uma abordagem integrada para a representação e análise de sistemas físicos, com base em modelos virtuais (Mousavi et al., 2024).

Esta evolução permitiu ao DT conceber-se numa ferramenta essencial para monitorizar, simular e otimizar ativos físicos, sendo, por isso, atualmente definido como uma representação virtual que reproduz de forma precisa o comportamento do sistema real, adaptando-se às mudanças e fornecendo os resultados de forma célere e eficiente (Piras et al., 2024; Zhan et al., 2025).

Deste modo, podemos segmentar a estrutura fundamental de um DT em três componentes essenciais (Piras et al., 2024; Zhan et al., 2025):

- o ativo ou sistema físico existente no espaço real;
- o modelo virtual correspondente no domínio digital;
- a infraestrutura de comunicação e recolha de dados que assegura a ligação bidirecional entre ambos.

Neste contexto, o DT representa uma transformação paradigmática, uma vez que permite avaliar, de forma contínua, o estado operacional dos equipamentos, prever anomalias e otimizar e melhorar o desempenho dos sistemas (Zhan et al., 2025).

Adicionalmente, para além de permitir que haja uma redução dos custos de manutenção, o impacto mais significativo para o presente estudo diz respeito ao domínio da resiliência e segurança, uma vez que, a sua capacidade de minimizar riscos de acidentes e monitorizar situações em tempo real, faz com que seja uma ferramenta ideal para a gestão de segurança (Mousavi et al., 2024) e para a gestão de emergências (Piras et al., 2024), essencial para a simulação de cenários de evacuação.

2.2.3. *Building Information Modeling (BIM)* e *Internet of Things (IoT)* como Fontes de Dados para Simulação

O conceito de *Digital Twin*, como já foi referido anteriormente, refere-se à criação de uma réplica digital fiel de um ativo físico, no nosso caso de estudo, um edifício, que integra as informações detalhadas sobre a estrutura e as suas funcionalidades com dados em tempo real. No entanto, a concretização deste conceito depende da integração de fontes de dados essenciais como a *Internet of Things (IoT)* e o *Building Information Modeling (BIM)* (Baghalzadeh Shishehgharkhaneh et al., 2022; Biagini et al., 2024; Piras et al., 2024).

Desta forma, a *IoT* caracteriza-se como sendo o elemento central da componente dinâmica do *DT*, no qual funciona como infraestrutura responsável pela interligação dos sensores, atuadores e sistemas de comunicação (Mousavi et al., 2024; Piras et al., 2024). Deste modo, num *Smart Building*, os sensores *IoT* recolhem sistematicamente diversos dados, como por exemplo, temperatura, humidade, ocupação do espaço e o estado dos equipamentos, permitindo ao modelo digital demonstrar o estado real do ativo físico e manter-se atualizado constantemente (Biagini et al., 2024; X. Hu et al., 2024; X. Hu & Assaad, 2024).

Por sua vez, o *Building Information Modeling (BIM)* diz respeito à componente estática do sistema, visto que é responsável pela fonte de informação abrangente que descreve as características físicas e funcionais do edifício, tais como os materiais, os sistemas e as relações espaciais (X. Hu et al., 2024). Desta forma, enquanto os sensores *IoT* indicam o ocorrido, o *BIM* fornece o local e o motivo desse acontecimento, contextualizando os dados de *IoT* e permitindo a sua análise. (Biagini et al., 2024; X. Hu et al., 2024)

Em suma, na Indústria 4.0, a convergência dos dados entre o *BIM* e a *IoT* sustenta o *Digital Twin* sendo capaz de representar de forma atualizada e contínua o comportamento do edifício, para o nosso caso de estudo. Deste modo, a sua convergência permite obter o fundamento necessário para o desenvolvimento de modelos de simulação avançada, como é o caso do ABS, que, ao representar de forma explícita o comportamento e as interações dos ocupantes do edifício, revela-se uma abordagem adequada para a análise e melhoria de processos simulação de evacuação.

2.3. A Simulação Baseada em Agentes como Método de Análise

A Simulação Baseada em Agentes é uma abordagem de modelação relativamente recente que permite uma nova perspetiva de análise a sistemas complexos (Macal, 2016), sendo particularmente adequada para o estudo de sistemas sociotécnicos (Bemthuis & Lazarova-Molnar, 2025), nos quais o processo de evacuação de um edifício se enquadra. Para além disso, a ABS distingue-se de outras metodologias, uma vez que, ao adotar uma abordagem *bottom-up* foca-se no indivíduo como tema central (Siebers et al., 2010) permitindo, desta forma, modelar explicitamente a heterogeneidade e a autonomia na tomada de decisão dos ocupantes.

Adicionalmente, a ABS permite que sejam identificados fenómenos coletivos e padrões, como é o caso da formação de congestionamentos que podem surgir através de interações locais e

adaptativas dos agentes (An et al., 2021). Desta forma, a ABS, por ter esta capacidade de modelar padrões e estruturas que surgem espontaneamente, (Macal & North, 2010) é uma ferramenta essencial para analisar a dinâmica complexa do comportamento humano em situações de evacuação, algo que as abordagens *top-down* têm mais dificuldade (Swinerd & McNaught, 2012).

2.3.1. Fundamentos da Simulação Baseada em Agentes: Agentes, Ambiente e Diretrizes

A ABS, como referido anteriormente, ao adotar uma abordagem *bottom-up*, enfatiza uma análise a nível individual, no qual os agentes são a entidade fundamental. Deste modo, é tipicamente constituída por três elementos principais, nomeadamente, os agentes, as diretrizes, que definem a lógica do modelo, e o ambiente e topologia no qual os agentes existem e interagem (Jamali et al., 2024; Macal & North, 2010).

No que diz respeito aos Agentes, a característica principal que os define é a sua autonomia, visto que têm a capacidade de tomar decisões independentes e agir unicamente com base na sua perceção e estado emotivo em resposta às situações em que se encontram (Grimm et al., 2024). Deste modo, podemos conceber os agentes como entidades:

- Individuais e Heterogéneas: O agente é uma entidade individual que o modelo representa de forma explícita a heterogeneidade que existe numa população, e as suas variações nos atributos e nos comportamentos (Jamali et al., 2024; Macal & North, 2010);
- Detentoras de Estado Interno: De modo a suportar a autonomia, um agente necessita de um estado Interno, geralmente um subconjunto de atributos, que varia ao longo do tempo (Macal & North, 2010), sendo o seu comportamento condicionado por este estado;
- Ativas e Orientadas a Objetivos: Os agentes são frequentemente modelados como entidades ativas que iniciam ações para alcançar objetivos internos (Macal & North, 2010), em vez de serem meramente passivos e reativos;
- Adaptativas e com Capacidade de Aprendizagem: Os agentes podem alterar os seus comportamentos durante a simulação (Macal, 2016), refletindo um processo de aprendizagem e adaptação baseado nas suas experiências (Grimm et al., 2024);
- Sociais: Os agentes, uma vez que são entidades sociais que possuem interações dinâmicas com outros agentes, são passíveis de ser influenciados e influenciarem (Macal & North, 2010).

As Diretrizes, por sua vez, permitem definir a lógica do modelo, uma vez que são estas regras que permitem determinar como um agente avalia a sua situação e a sua próxima ação. Deste modo, estas diretrizes podem ser divididas em duas principais categorias, nomeadamente, diretrizes de comportamento interno dos agentes e diretrizes de interação.

As diretrizes de comportamento, definem-se como o conjunto de regras que conectam a situação de um agente, determinada pelo seu estado interno e pela percepção que tem do ambiente, às suas decisões e ações (Macal & North, 2010). Neste sentido, podem ser regras simples e reativas como raciocínios lógicos básicos (Grimm et al., 2024; Macal & North, 2010), comportamentos planejados (Macal, 2016) ou modelos de decisão baseados em teorias comportamentais estabelecidas (Berger & Mahdavi, 2020; Jamali et al., 2024).

Por outro lado, as diretrizes de interação constituem a base da dinâmica do sistema, visto que os padrões e comportamentos globais emergem precisamente destas interações que são tipicamente baseadas em informações locais (Macal & North, 2010).

Por último, o Ambiente é o contexto no qual os agentes operam e interagem (Macal & North, 2010) que, no caso de estudo desta dissertação, se remete para a própria infraestrutura física do edifício, como corredores, portas, saídas, escadas etc. Para além disso, o ambiente não é passivo, uma vez que permite fornecer informações e impor constrangimentos às ações dos agentes. Adicionalmente, a topologia é a estrutura que define as vizinhanças e os canais de interação, sendo que, na maioria dos casos de estudo, a vizinhança será definida pela proximidade espacial.

Em suma, a Simulação Baseada em Agentes, analisa de que forma os comportamentos individuais dos agentes, governados por diretrizes e condicionados por interações locais, dentro de um dado contexto, dão origem a padrões e dinâmicas complexas (Jamali et al., 2024; Macal & North, 2010).

2.3.2. Vantagens e Limitações da ABS

A aplicação da Simulação Baseada em Agentes a sistemas que retratam processos de evacuação, apresenta diversas vantagens significativas (An et al., 2021; Bemthuis & Lazarova-Molnar, 2025), no entanto também existem igualmente um conjunto de desafios e limitações que devem ser considerados.

Desta forma, as principais vantagens da ABS para a modelação de sistemas de evacuação são:

- **Representação da Heterogeneidade:** A ABS permite que os agentes sejam fundamentalmente diferentes entre si (heterogéneos), o que se revela como uma capacidade crucial para modelar sistemas complexos, nos quais as diferenças individuais são essenciais para a dinâmica do sistema (An et al., 2021);
- **Modelação de Comportamento Adaptativo:** Os agentes podem ser dotados de regras de decisão, capacidade de aprendizagem e adaptação. Podem reagir a ambientes heterogéneos e dinâmicos, alterando o seu comportamento em busca de objetivos (An et al., 2021). Esta capacidade é fundamental, visto que permite modelar a complexidade da tomada de decisão humana;
- **Análise de Interações Descentralizadas:** A ABS é ideal para simular interações que ocorrem entre os agentes a nível individual. Desta forma, padrões de comportamento

coletivo e a própria difusão de informação podem ser analisados como consequências diretas dos contactos estabelecidos entre os agentes (An et al., 2021);

- Flexibilidade e Integração: A metodologia, uma vez que é flexível, permite a integração de dados e modelos de múltiplas disciplinas e escalas que permitem a realização de testes de hipóteses e a execução de diferentes cenários com o intuito de perceber qual o melhor para o estudo (An et al., 2021).

No entanto, apesar de todas as vantagens, a ABS apresenta algumas limitações e desafios, nomeadamente:

- A Modelação do Comportamento Humano: Apesar de ser a maior vantagem da ABS, representar o comportamento humano com rigor é profundamente complicado, uma vez que a tomada de decisão de uma pessoa é complexa e assenta em diversos fatores, como as interações sociais, memórias, aprendizagem e emoções, que um modelo de simulação, como o ABS, tem dificuldade em garantir com a mesma profundidade.
- Verificação e Validação: O processo de validação de modelos ABS representa, igualmente, uma dificuldade, visto que se pretende uma representação correta da realidade, o que se torna extremamente difícil de prever e coloca dúvidas sobre a utilidade deste modelo (Bemthuis & Lazarova-Molnar, 2025);
- Generalização e Eficiência: Um desafio significativo, diz respeito à dificuldade em generalizar resultados de um contexto específico para outras circunstâncias, da mesma forma que é difícil adaptar modelos existentes para modelos com o mesmo contexto, mas com um maior número de agentes (An et al., 2021).

2.3.3. Comparação da ABS com Outros Paradigmas de Simulação

A seleção da ABS para este estudo justifica-se pelas suas vantagens comparativamente a outros paradigmas de simulação, nomeadamente à Dinâmica de Sistemas (SD) e à Simulação de Eventos Discretos (DES) (Korder et al., 2024; Siebers et al., 2010; Swinerd & McNaught, 2012).

A Dinâmica de Sistemas, é uma abordagem *top-down* que analisa o sistema a um nível agregado, ao contrário da ABS, que se foca nas decisões individuais que causam hesitações e congestionamentos. Deste modo, como possui uma visão macroscópica do comportamento do sistema, é bastante útil para análises estratégicas, uma vez que se foca principalmente nos *stocks*, nos fluxos que os interligam e nos ciclos de *feedback* que regulam o comportamento do sistema ao longo do tempo (Swinerd & McNaught, 2012; Winkler et al., 2022).

A Simulação de Eventos Discretos, por sua vez, embora utilize entidades individuais, é uma metodologia orientada a processos e ideal para analisar filas de espera, alocação de recursos e estrangulamentos a um nível operacional (Siebers et al., 2010). Para além disso, as entidades na DES são passivas, ao contrário do que acontece na ABS, que os agentes são ativos, isto é, possuem inteligência própria e decisões autónomas e proativas (Siebers et al., 2010). Desta forma, esta distinção é crucial para processos de evacuação, pois permite aos agentes avaliarem o risco e optarem por diferentes rotas, algo que não é possível fazer com tamanha facilidade

no DES. Adicionalmente, a ABS é também superior à Microsimulação, visto que, nesta última, as entidades, embora individuais, são passivas e não interagem entre si (Winkler et al., 2022).

De forma a sistematizar estas distinções metodológicas, a Tabela 2 apresenta uma síntese comparativa das principais características destas abordagens.

Tabela 2- Comparação entre abordagens de simulação (An et al., 2021; Bemthuis & Lazarova-Molnar, 2025)

Característica	Dinâmica de Sistemas (SD)	Simulação de Eventos Discretos (DES)	Modelação Baseada em Agentes (ABS)
Abordagem	<i>Top-down</i> (dedutiva)	<i>Top-down</i> , orientada a processos	<i>Bottom-up</i> (indutiva)
Perspetiva de Análise	Agregado (Macroscópico)	Nível de processo (Operacional)	Individual (Microscópico)
Foco Principal	Stocks, fluxos e <i>feedback</i>	Processos, filas e recursos	Agentes, regras e interações
Entidades	Passivas (representadas em <i>stocks</i>)	Passivas (processadas pelo sistema)	Ativas (autónomas, proativas)
Inteligência	No <i>feedback</i> e estrutura do sistema	No sistema/processo	No agente individual
Comportamento	Modelado a nível macroscópico	Modelado no fluxo do processo	Emerge das interações microscópico
Domínio Típico	Estratégico, longo prazo	Operacional, tático	Comportamento social/individual, sistemas complexos

2.3.4. Plataformas e Software de Modelação ABS

O crescente desenvolvimento de modelos de Simulação Baseada em Agentes impulsionou o surgimento de diversas plataformas de *software* (CENANI, 2021; Silva & Braga, 2020). Deste modo, esta diversidade de ferramentas, embora ofereça alguma flexibilidade, apresenta desafios de transparência e reutilização de código, o que proporcionou o desenvolvimento de padrões de documentação, como é o caso de protocolo *ODD* (An et al., 2021).

Não obstante, uma análise do estado da arte destaca um conjunto principal de plataformas, como se pode observar na Tabela 3 (CENANI, 2021; Silva & Braga, 2020).

Tabela 3- Principais plataformas de simulação (J. Wang et al., 2025).

Plataforma	Desenvolvedor	Licença	Linguagem	Integração GIS
Netlogo	Northwestern University	Gratuita, Código Aberto	NetLogo	Sim
AnyLogic	The AnyLogic Company	Proprietária (com versão PLE)	Java	Sim

Tabela 3- Principais plataformas de simulação (J. Wang et al., 2025) (cont.)

Plataforma	Desenvolvedor	Licença	Linguagem	Integração GIS
Repast	University of Chicago	Gratuita, Código Aberto	Java	Sim
MATSim	ETH Zurich	Gratuita, Código Aberto	Java	Sim

Adicionalmente, para além destas plataformas de modelação, no domínio específico de processos de evacuação de edifícios e análise de multidões, existem outras plataformas de *software* comercial especializadas, como o *Pathfinder*, que será a ferramenta usada nesta dissertação. O *Pathfinder*, uma vez que já tem incorporado algoritmos de movimento e a capacidade de importar diretamente modelos BIM/CAD, torna-se uma excelente escolha para a análise de cenários de evacuação, conforme será detalhado no Capítulo 3. Para além disso, a sua validade no contexto científico é demonstrada por estudos recentes que recorreram a esta ferramenta para avaliar a eficácia de estratégias de evacuação em edifícios complexos (J. Wang et al., 2025).

2.4. O Domínio do Problema: Evacuação, Comportamento e Regulação

A análise e melhoria de processos de evacuação em infraestruturas complexas, como a abordada nesta dissertação, exige uma compreensão do domínio do problema, que não se limita somente à geometria do edifício, uma vez que também engloba a dinâmica dos agentes com o ambiente em redor (Aldahlawi et al., 2024). Deste modo, a eficácia dos processos de evacuação resulta de diversos fatores, nomeadamente, da conjugação de medidas para mitigar possíveis riscos, fatores críticos que afetem o desempenho físico dos ocupantes, da dimensão cognitiva e emocional dos indivíduos, bem como das suas interações em multidões e do enquadramento normativo estabelecido. Neste sentido, este subcapítulo aborda a análise destes componentes, fundamentando, desta forma, a pertinência e importância da Simulação Baseada em Agentes, para processos de evacuação.

2.4.1. Gestão de Segurança e Risco em Edifícios de Elevada Ocupação

Na sociedade contemporânea, é possível observar uma crescente proliferação de edifícios de elevada altura e densidade. No entanto, apesar destas infraestruturas serem eficientes do ponto de vista de ocupação do solo, têm inerentes diversos desafios no domínio da gestão da segurança e dos riscos associados. Desta forma, a elevada concentração de ocupantes num espaço vertical confinado, constitui um problema complexo na sua evacuação. Adicionalmente, o principal risco nestes cenários de emergência é o congestionamento das vias de evacuação, exacerbado pela heterogeneidade dos ocupantes, uma vez que, há a possibilidade de haver

idosos e pessoas com mobilidade reduzida que atrasem o processo de evacuação (N. Ding et al., 2021).

Deste modo, a gestão de riscos nestes edifícios exige a implementação de uma abordagem baseada no desempenho (*performance-based design*), que permite quantificar o risco através da comparação fundamental entre o tempo disponível para uma evacuação segura (*ASET – Available Safe Egress Time*) e o tempo necessário para uma evacuação segura (*RSET – Required Safe Egress Time*) (R. Zhu et al., 2023). Por conseguinte, uma vez que o *RSET* é uma variável complexa e dependente do desempenho da evacuação do edifício por parte dos ocupantes, a simulação computacional revela-se uma ferramenta indispensável de gestão, permitindo avaliar quantitativamente o impacto de diferentes cenários de layouts no processo de evacuação (R. Zhu et al., 2023).

Para além disso, a gestão de segurança constitui um componente fundamental da gestão de desastres (*disaster management*), visto que engloba o processo de identificação e avaliação de riscos, bem como a implementação de medidas preventivas e planos de emergência nas fases de mitigação, preparação e resposta (Aldahlawi et al., 2024). Neste âmbito, e atendendo à especificidade dos edifícios de elevada densidade, os planos de evacuação assumem um papel central na mitigação de riscos que se dividem em duas principais tipologias, nomeadamente a evacuação espontânea (*spontaneous evacuation*), na qual a orientação dos ocupantes depende essencialmente da sinalética, e a evacuação organizada (*organized evacuation*), que envolve um controlo ativo sobre os tempos de partida e as rotas a seguir, bem como a possibilidade de implementação de estratégias de evacuação por fases (*staged evacuation*) e a inclusão de pisos de refúgio (*refuge floors*), essenciais para evitar a saturação das vias de evacuação (N. Ding et al., 2021; L. Han et al., 2020).

2.4.2. Condicionantes Temporais e Ambientais da Evacuação

O desempenho global de um processo de evacuação, quantificado pelo *RSET*, é determinado e condicionado por restrições impostas pelo próprio cenário de emergência. Deste modo, a vertente temporal, bem como a ambiental, revelam-se determinantes para o sucesso da evacuação, dado que definem os parâmetros iniciais de todo o sistema.

No que diz respeito à dimensão temporal, o tempo antes do movimento (*pre-movement time*) assume um papel fundamental, uma vez que, como corresponde ao intervalo de tempo entre a receção do primeiro alerta e o início do movimento intencional em direção a uma saída, é uma fase crítica de reconhecimento e decisão, na qual a sua extensão excessiva pode provocar graves dificuldades ao processo de evacuação e aumentar a exposição dos ocupantes a condições adversas (Cao et al., 2018).

Por sua vez, os fatores ambientais, particularmente em incêndios, comprometem rapidamente a eficiência da evacuação, visto que afetam diretamente a mobilidade através da propagação de produtos de combustão. Neste sentido, materiais menos inflamáveis resultam numa menor libertação de fumo e gases tóxicos, que permitem manter a visibilidade e a velocidade de deslocação dos ocupantes, ao contrário dos materiais mais inflamáveis. Para além disso, a Taxa de Libertação de Calor (*HRR*), também evidencia um impacto no processo de evacuação, uma

vez que, numa situação de incêndio, se a temperatura for moderada, isto é, 30°C a 60°C, pode atuar como incentivo e apressar os ocupantes a saírem do edifício, no entanto, se as temperaturas forem superiores a 60°C, estas tornam-se fisicamente nocivas, o que resulta numa redução drástica na velocidade de movimento (Cao et al., 2018).

2.4.3. Modelação do Comportamento Humano em Emergência: Fatores Psicológicos e Cognitivos

Para além das condicionantes ambientais e temporais impostas pelo cenário, a análise de processos de evacuação exige uma compreensão profunda da complexidade do comportamento humano em situações de *stress*. Neste domínio, o Nível de Urgência Percebida (*Perceived Urgency Level*) (*PUL*) assume-se como uma variável fundamental, visto que permite determinar a tipologia de resposta comportamental dos ocupantes (Xie et al., 2025). Desta forma, em cenários de elevada urgência, os indivíduos tendem a abandonar padrões de movimento lineares, recorrendo à transposição de obstáculos, cuja eficácia motora advém de fatores intrínsecos, nomeadamente da idade e do género. Esta mudança do comportamento, por vezes irracional, permite evidenciar a necessidade de representar estas dinâmicas, justificando a adoção da Simulação Baseada em Agentes, em detrimento dos modelos mais tradicionais.

Adicionalmente, no domínio do processamento de informação, destaca-se a cognição espacial (*spatial cognition*), como pilar fundamental, visto que corresponde ao processo mental de aquisição e interpretação de dados sobre o ambiente físico (J. Zhu et al., 2024). Neste contexto, o processo de evacuação configura-se como um exercício de orientação (*wayfinding*), no qual o seu desempenho depende intrinsecamente da precisão do mapa cognitivo (*cognitive mapping*) do indivíduo. Deste modo, esta representação mental pode ser dividida em três etapas, nomeadamente o conhecimento de marcos (*landmark knowledge*), referente à identificação de objetos salientes, o conhecimento de rota (*route knowledge*), que confere a capacidade de ligar marcos em sequências, e, num nível superior, o conhecimento de levantamento (*survey knowledge*), no qual é idealizado um mapa mental flexível que permite aferir novas rotas e atalhos. Por conseguinte, a familiaridade com o ambiente em causa, assume-se como um fator determinante para a eficiência da evacuação (J. Zhu et al., 2024).

Neste âmbito, a estrutura cognitiva fundamenta o processo de tomada de decisão, estruturado em três níveis hierárquicos, nomeadamente o nível estratégico, referente à decisão de iniciar a evacuação, o nível tático, relativo à seleção de rotas, e o nível operacional, associado aos movimentos locais (R. Zhu et al., 2023). A decisão tática assume uma complexidade acrescida, visto que é condicionada por múltiplas variáveis, tais como a distância percebida, a visibilidade e a influência social. Deste modo, a modelação deste processo de escolha torna-se fundamental, o que justifica o recurso a modelos de escolha discreta (*discrete choice models*), fundamentados na teoria da utilidade aleatória (*random utility*), na qual os agentes procuram selecionar a opção que percebem como mais vantajosa em cada instante (Asano et al., 2010; R. Zhu et al., 2023).

Não obstante, a racionalidade deste processo é frequentemente comprometida por fatores psicológicos, nos quais a emoção tem o papel primordial, visto que a percepção iminente do perigo desencadeia estados de ansiedade que podem evoluir rapidamente para pânico e comportamentos irracionais, culminando, desta forma, numa desordem organizacional. Neste contexto, o contágio emocional (*emotion contagion*), configura-se como um fator de amplificação da instabilidade, através do qual emoções negativas se propagam ativamente pela multidão mediante a observação de outros agentes, o que resulta na exacerbação de comportamentos de rebanho (*herd behaviors*) e na degradação da capacidade de julgamento individual (Liu et al., 2018; Mao et al., 2020).

No entanto, a propensão individual para este contágio não é homogênea, uma vez que é dependente dos traços de personalidade intrínsecos a cada agente, habitualmente modelados através do sistema *OCEAN (Big Five)*. Neste modelo, o neuroticismo assume um papel preponderante, visto que influencia diretamente a sensibilidade emocional (*emotion sensitivity*) do agente, isto é, a sua suscetibilidade ao pânico envolvente, bem como a sua capacidade de contágio emocional (*emotion infectivity*), referente à influência negativa exercida sobre o estado emocional dos restantes ocupantes. Por fim, estas dinâmicas podem ser fortemente condicionadas pela estrutura social, na qual a presença de figuras de autoridade revela-se determinante na mitigação dos riscos, visto que exercem um efeito tranquilizador (*calm effect*) capaz de reduzir a propagação das emoções negativas e potenciar a eficiência e a organização da evacuação (Mao et al., 2020).

2.4.4. Dinâmicas de Multidão e Restrições Físicas do Espaço

A concretização das decisões individuais de evacuação encontra-se, naturalmente, sujeita às leis físicas da dinâmica de multidões (*crowd dynamics*). Deste modo, quando o número de ocupantes excede a capacidade de escoamento das vias de evacuação, verifica-se a formação de congestionamentos em gargalos (*bottlenecks*), como em portas ou escadas devido a um estado de sobrelotação (*overcrowding*), o que representa um risco elevado para a segurança física dos agentes (Abdelghany et al., 2016; Chiu et al., 2018). Adicionalmente, este fenómeno não é unicamente causado pela alta densidade populacional, uma vez que, frequentemente, há conflitos direcionais, nos quais indivíduos provenientes de diferentes corredores secundários emergem num único corredor principal, o que pode causar bloqueios e tempo de espera inoportunos (Chiu et al., 2018).

A nível macroscópico, a dinâmica fundamental do sistema é determinada pela relação entre o fluxo e a densidade, segundo a qual o aumento da concentração de agentes gera um incremento do fluxo até se atingir um ponto de capacidade máxima. No entanto, uma vez ultrapassado esse limite, a densidade excessiva compromete a mobilidade e provoca a redução drástica da taxa de fluxo (*flow rate*) (Abdelghany et al., 2016). Para além disso, em zonas de estreitamento, muitas vezes verifica-se o fenómeno mais rápido é mais lento (*faster is slower*), caracterizado pela formação de bloqueios e congestionamentos quando os agentes tentam acelerar simultaneamente, o que resulta na diminuição da taxa de saída e no aumento dos níveis de pressão (*crowd pressure*) (Lopez-Carmona, 2022).

Em infraestruturas complexas, como a analisada nesta dissertação, o congestionamento é agravado por dinâmicas de fluxo específicas (Heliövaara et al., 2012), nomeadamente:

- **Contrafluxo:** Caracteriza-se pela coexistência de fluxos de peões que se movem em direções opostas no mesmo espaço. Em evacuações, esta dinâmica ocorre predominantemente no cruzamento entre ocupantes que tentam sair do edifício e equipas de emergência que tentam entrar, ou quando indivíduos regressam contra o fluxo (Heliövaara et al., 2012);
- **Fluxos de Fusão:** Este fenómeno, crítico em edifícios de múltiplos pisos, ocorre, principalmente, quando os ocupantes de um andar tentam aceder a uma escadaria, na qual outros indivíduos de pisos superiores já se encontram a descer, o que força, desta forma, a convergência de dois fluxos num só (Heliövaara et al., 2012);
- **Formação de Faixas:** Representa um comportamento espontâneo para gerir o contraluxo, no qual os peões que se deslocam na mesma direção tendem a agrupar-se em filas paralelas de forma a facilitar a passagem (Heliövaara et al., 2012).

Com o intuito de fazer face a estas restrições físicas, os agentes adotam comportamentos adaptativos, destacando-se, em cenários de elevada densidade, a rotação lateral do tronco (*move shoulder first*) com o objetivo de reduzir a área de secção transversal e facilitar a sua passagem (Heliövaara et al., 2012). Adicionalmente, alguns agentes podem optar por diferentes rotas de evacuação, de modo a evitar congestionamentos (*congestion aversion*) e zonas saturadas (Abdelghany et al., 2016).

Por último, a gestão destes fenómenos depende intrinsecamente das restrições da infraestrutura, uma vez que, embora a largura da saída (*exit size*) permaneça como um fator físico preponderante para determinar o limite máximo de fluxo, o design pode ser adaptado de modo a integrar soluções passivas e estratégias que permitem aos agentes mitigar conflitos e reduzir o tempo total de evacuação (Chiu et al., 2018).

2.4.5. Enquadramento Normativo (SCIE) como Definição de Requisitos do Modelo

A análise de processos de evacuação em edifícios, particularmente em infraestruturas críticas ou de elevada densidade populacional, como a abordada nesta dissertação, necessita de estar devidamente fundamentada no enquadramento normativo vigente. Neste âmbito, o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 220/2008 e regulamentado pela Portaria n.º 1532/2008, assume-se como o pilar fundamental para o dimensionamento e verificação das condições de evacuação.

Para além da sua vertente normativa, este enquadramento estabelece as especificações técnicas que definem os parâmetros de desempenho e os critérios de validação para a análise. Deste modo, para a Simulação Baseada em Agentes, o SCIE constitui a base fundamental para a definição dos atributos do modelo, bem como a configuração dos cenários e a determinação dos critérios de sucesso.

Neste sentido, o Regulamento Técnico de SCIE (RT-SCIE), anexo à Portaria n.º 1532/2008, assume particular relevância, visto que permite estabelecer um conjunto de condições técnicas que podem ser sistematizadas em quatro dimensões operacionais, nomeadamente, Requisitos de *Input*, Requisitos de Geometria, Requisitos de Validação e Requisitos de Cenário.

No que diz respeito aos Requisitos de *Input*, o regulamento define os parâmetros essenciais para a caracterização dos agentes. Deste modo, neste domínio, o cálculo do efetivo deixa de ser arbitrário e é fundamentado pelos índices de ocupação teóricos previstos no Artigo 51.º, o que permite fornecer a base legal aplicável à quantificação dos ocupantes. Adicionalmente, o regulamento aborda a heterogeneidade da população, na medida em que o n.º 5 do mesmo artigo estipula fatores de correção para o dimensionamento de vias afetas a pessoas com mobilidade reduzida, o que justifica a atribuição de diferentes perfis aos agentes no modelo de simulação.

Por sua vez, relativamente aos Requisitos de Geometria, a modelação deve incorporar as condicionantes geométricas estipuladas no regulamento. Desta forma, o Artigo 56.º define o conceito de Unidade de Passagem (UP), na qual 1 UP equivale a 0,9 metros, constituindo um requisito geométrico direto que determina a capacidade de fluxo dos corredores e portas no modelo. Para além disso, o design do cenário de simulação deve respeitar os critérios de distribuição das saídas previstos nos Artigos 54.º e 55.º, de forma a assegurar que estas sejam distintas e evitem o bloqueio simultâneo de rotas de fuga.

Adicionalmente, no âmbito dos Requisitos de Validação, o SCIE estabelece os indicadores de desempenho (*KPIs*) fundamentais para aferir a eficácia da evacuação. Deste modo, as restrições impostas pelos Artigos 57.º e 61.º às distâncias máximas a percorrer, limitam a extensão dos trajetos de saída única e de vias com saídas distintas, ambos os casos validados com base no modelo de simulação. Para além disso, a existência de simulacros prevista no Artigo 207.º permite validar o Tempo Total de Evacuação como métrica central para a otimização dos planos de emergência.

Por último, relativamente aos Requisitos de Cenário, a caracterização de um cenário de emergência encontra-se condicionada pela atuação dos sistemas de segurança. Neste contexto, o Artigo 118.º estabelece as temporizações dos sistemas de alarme, nomeadamente entre o sinal restrito e o geral, constituindo um parâmetro determinante para definir o tempo antes do movimento (*pre-movement time*) dos agentes. Do mesmo modo, os requisitos de controlo de fumo previstos no Artigo 133.º permitem determinar a viabilidade das rotas ao longo do tempo, o que condiciona a sua utilização em cenários de emergência.

Em suma, o Regime Jurídico de SCIE e o respetivo Regulamento Técnico estabelecem a base de especificações para a modelação da evacuação. Desta forma, ao definirem as exigências de *input*, de geometria, de validação e de cenário, estes documentos fornecem a estrutura necessária para calibrar o modelo ABS, o que permite avaliar a segurança da evacuação e propor medidas corretivas devidamente sustentadas.

2.5. Evacuação de Edifícios – Casos de Estudo

Na Tabela 4 são apresentados 20 casos de estudo realizados na área de simulação de evacuação de edifícios, nos quais se utiliza a simulação computacional como ferramenta de análise e apoio à decisão. Deste modo, pretende-se demonstrar a eficácia destas metodologias na avaliação do desempenho de diferentes infraestruturas e na validação de estratégias de segurança perante diversos cenários de emergência.

Tabela 4- Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação

Referências	Descrição da Simulação
(Ivanov & Chow, 2023)	Este estudo tem como principal objetivo a validação do <i>software Pathfinder</i> num edifício corporativo de elevada verticalidade (107 metros), no qual é feita uma comparação entre os resultados da simulação e os dados empíricos recolhidos num simulacro com 177 ocupantes. Deste modo, através desta análise comparativa, demonstra-se uma forte correlação entre os tempos reais e os simulados, o que permitiu validar a utilização do <i>Pathfinder</i> neste género de infraestruturas. Adicionalmente, foi simulado um cenário com a capacidade máxima, 2195 ocupantes, no qual se concluiu que a familiaridade dos ocupantes com o edifício e a geometria das escadas são determinantes para a eficácia do processo de evacuação.
(A & R, 2024)	Neste estudo, foi proposto um modelo baseado em cadeias de Markov de tempo discreto (<i>DTMC</i>) de modo a estimar o tempo de evacuação necessário em edifícios altos, tendo em consideração a probabilidade de congestionamento nas escadas, bem como a fusão de fluxos provenientes de diferentes pisos. Os resultados obtidos indicam que uma largura efetiva das escadas entre 1,6 m e 2,4 m é o ideal para minimizar o congestionamento vertical, enquanto sugerem que a velocidade de deslocação ideal para evitar o efeito mais rápido é mais lento (<i>faster-is-slower</i>) é entre 0,7 e 1,4 m/s.
(Topraklı & Satir, 2025)	O presente estudo avaliou o desempenho e a viabilidade da utilização de elevadores no processo de evacuação de edifícios de elevada altura, recorrendo a uma abordagem de modelação baseada em agentes. Os resultados quantitativos indicaram que uma abordagem híbrida, na qual 50% dos ocupantes utilizem elevadores e 50% as escadas, resulta numa redução de cerca de 40% no tempo total de evacuação, neste caso de 49 para 29 minutos, comparativamente ao uso exclusivo de escadas, o que permite validar, desta forma, a integração de elevadores como estratégia em edifícios de elevada dimensão.
(Shen et al., 2024)	Este estudo propôs um método de otimização espacial utilizando a combinação dos <i>softwares PyroSim</i> e <i>Pathfinder</i> para modelar, respetivamente, a dinâmica do fogo e o processo de evacuação. Neste âmbito, realizou-se uma análise comparativa entre o Tempo Disponível para Evacuação Segura (ASET) e o Tempo Necessário (RSET) num edifício de grande escala, na qual se comprovou que a otimização do layout físico e dos sistemas de exaustão de fumo permitiu aumentar o tempo disponível de 145 para 205 segundos reduzindo, desta forma, o risco significativo de vítimas em cenários de emergências.

Tabela 4- Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação (cont.)

Referências	Descrição da Simulação
(Zhang & Long, 2021)	Este estudo integrou a tecnologia <i>BIM</i> com o <i>software Pathfinder</i> de modo a analisar o processo de evacuação em edifícios complexos de elevada densidade. Os resultados demonstraram que o aumento da largura das portas de acesso às escadas e elevadores, bem como a definição clara das responsabilidades das equipas de apoio (<i>staff</i>), melhoram significativamente a eficiência do processo. Para além disso, neste estudo, valida-se a largura da porta como o principal constrangimento físico ao fluxo, confirmando-se que a geometria das saídas é um fator determinante em cenários de emergência.
(J. Chen et al., 2017)	Este estudo teve como objetivo analisar o processo de evacuação com recurso a elevadores em edifícios de elevada altura, assente numa abordagem de modelação baseada em agentes. Deste modo, a análise revelou que, embora o uso de elevadores melhore a eficiência global do processo, não é possível usar unicamente este meio para evacuar o edifício, uma vez que há um aumento significativo dos tempos de espera e do congestionamento nos átrios dos elevadores (<i>halls</i>).
(P. Chen et al., 2024)	Neste estudo, foi proposto um método de otimização de rotas em espaços amplos e abrangentes, com recurso ao <i>software Pathfinder</i> . Neste sentido, através da comparação entre cenários de evacuação desorganizada e organizada, verificou-se uma redução do fluxo nas saídas críticas de 2,01 para 1,39 pessoas/s, bem como uma diminuição do tempo total de evacuação de 240,32 para 209,32 segundos, o que permite validar a importância que a otimização de rotas possui na eficácia dos processos de evacuação.
(F. Han et al., 2021)	O presente estudo recorreu à Simulação Baseada em Agentes e a modelos de filas de espera para analisar a dinâmica de saída num edifício comercial de múltiplos andares. Deste modo, através da identificação de gargalos e da redistribuição do fluxo entre escadas e corredores, o estudo propôs um novo plano de evacuação que reduziu significativamente o tempo de evacuação, o que permitiu validar a utilidade do software para a gestão de grandes superfícies comerciais.
(Y. Chen et al., 2020)	Neste estudo, analisou-se a eficácia de estratégias de evacuação em edifícios de elevada altura, no qual se utilizam as escadas e os elevadores como meios de evacuação. Os resultados demonstraram que a estratégia híbrida é mais eficaz do que o uso exclusivo de qualquer um dos meios. Adicionalmente, concluiu-se que a alocação estratégica dos indivíduos com mobilidade reduzida nas zonas adjacentes aos elevadores resulta numa redução significativa do tempo total de evacuação, o que permite realçar a importância do layout e da distribuição espacial dos ocupantes na eficácia do processo de evacuação.
(Zang et al., 2021)	Este estudo teve como principal objetivo analisar o impacto da presença de obstáculos, como é o caso de mobiliário, durante a evacuação de um edifício de elevada estatura, recorrendo ao <i>software Pathfinder</i> . Os resultados, ao contrário do que se esperava, revelaram que uma disposição densa e regular das mesas pode ter um impacto positivo, uma vez que, permite ordenar a circulação e restringir trajetórias erráticas, o que resulta num tempo de evacuação inferior ao modelo sem obstáculos. Deste modo, o estudo sugere que um arranjo racional do mobiliário é conducente com uma gestão de evacuação mais eficiente.

Tabela 4- Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação (cont.)

Referências	Descrição da Simulação
(Y.-H. Hu et al., 2023)	Neste estudo, avaliou-se o impacto de peões estáticos, como por exemplo indivíduos feridos junto às saídas de emergência, através de ensaios experimentais e simulações no <i>Pathfinder</i> . Deste modo, os resultados evidenciam que estes obstáculos perturbam o fluxo de forma mais acentuada do que barreiras físicas, devido à imprevisibilidade do seu comportamento. Não obstante, o estudo concluiu que o impacto negativo desse obstáculo pode ser minimizado se a sua distância à porta corresponder a 0,75 vezes da largura da porta de saída, o que constitui um parâmetro de referência para otimizar o fluxo em pontos de estrangulamento.
(Lian et al., 2023)	O presente estudo avaliou o desempenho da evacuação em infraestruturas escolares, no qual utilizou a simulação para analisar o impacto dos parâmetros geométricos. Os resultados demonstraram que a largura do corredor é a variável mais crítica, uma vez que apresenta uma influência no tempo de evacuação de 49,06 vezes superior à largura das escadas. Para além disso, o estudo concluiu que <i>layouts</i> de corredores que evitem estrangulamentos têm uma enorme eficácia no bom funcionamento do processo de evacuação.
(Gaddam et al., 2022)	Este estudo teve como objetivo realizar a calibração e a otimização de parâmetros num <i>software</i> de simulação, de modo a conseguir replicar com precisão as condições de evacuação num cenário de emergência real. Neste sentido, a análise do estudo indicou que os parâmetros comportamentais, nomeadamente o tempo de relaxamento e a distância interpessoal, exercem uma influência significativa nos resultados, da mesma forma que se concluiu que a relação entre a largura da porta e o tempo de evacuação não é linear.
(Deng et al., 2022)	Neste estudo, desenvolveu-se um modelo de previsão de tempo de evacuação para edifícios de grande dimensão e geometria complexa, no qual foi utilizada uma base de dados gerada através de simulações no <i>software Pathfinder</i> . Os resultados obtidos permitiram validar uma correlação positiva entre a densidade de ocupantes e o tempo total de evacuação, do mesmo modo que se demonstrou que a previsão rigorosa dos tempos de movimento, uma vez que apresenta um erro médio de apenas 3,63 segundos, constitui uma ferramenta eficaz de apoio à decisão.
(Liu et al., 2016)	O presente estudo desenvolveu um modelo de simulação para a evacuação de um edifício corporativo na sequência de um sismo, no qual integra a análise do desempenho sísmico da estrutura com a dinâmica de movimento dos ocupantes. Desta forma, os resultados obtidos demonstram que comportamentos sociais, nomeadamente, o auxílio a possíveis vítimas, bem como a coesão entre os ocupantes, resultam num aumento do tempo total de evacuação. Adicionalmente, o estudo permitiu validar que a obstrução causada por danos não estruturais, como a queda de tetos falsos, obriga a uma redefinição das rotas de evacuação, o que limita a circulação e a velocidade de deslocação dos ocupantes.

Tabela 4- Exemplos de casos de estudo de evacuação de edifícios com recurso a simulação (cont.)

Referências	Descrição da Simulação
(Kasereka, Kalondji, et al., 2025)	Este estudo permitiu desenvolver um modelo baseado em agentes, com o intuito de simular o processo de evacuação de um edifício complexo, tendo em consideração a categorização dos ocupantes com base no seu estado de saúde e no seu conhecimento prévio do edifício. Os resultados comprovaram que o desconhecimento da configuração espacial do edifício constitui um fator de risco acrescentado, mas que pode ser mitigado com a implementação de sinaléticas adicionais e a criação de novas rotas de emergência com o objetivo de reduzir o tempo total de evacuação.
(Gao et al., 2020)	Neste estudo, analisou-se o comportamento dos ocupantes em edifícios de escritório em cenários de emergências. Deste modo, através do registo em vídeo de padrões comportamentais, como o tempo de hesitação inicial e a recolha dos bens antes de iniciar a rota de evacuação (<i>backtracking</i>), foi possível concluir que o tempo antes do movimento (<i>pre-movement time</i>) é um fator determinante no tempo total de evacuação, uma vez que, na maioria das simulações, é superior à duração da própria deslocação na rota de evacuação.
(Tan et al., 2015)	O estudo em questão utilizou a ferramenta <i>Agent Analyst</i> de modo a simular a evacuação num edifício, com o intuito de analisar a influência que o conhecimento espacial dos ocupantes, bem como a sua consciência sobre as alterações dinâmicas do ambiente, como por exemplo o fecho de portas corta-fogo, possuem na eficácia do processo de evacuação. Deste modo, os resultados determinam que a perceção da dinâmica do cenário de emergência é determinante, visto que os agentes que a desconheçam têm tendência a percorrer distâncias maiores e a realizar movimentos de retorno (<i>backtracking</i>), o que pode comprometer o bom funcionamento do processo de evacuação.
(Islas-Toski et al., 2024)	Este estudo teve como principal objetivo a modelação de um sistema baseado em agentes capaz de simular reações humanas em cenários de emergência, com especial destaque para comportamentos de <i>stress</i> como a histeria e a desorientação. Deste modo, os resultados obtidos revelaram que, embora a histeria possa causar bloqueios temporários, a desorientação, por sua vez, pode resultar na descoberta inadvertida de rotas de evacuação menos congestionadas. Adicionalmente, o estudo concluiu que a repetição de simulações permite aos agentes aprender e identificar rotas mais eficientes, o que, posteriormente, resulta numa redução significativa do tempo total de evacuação.
(X. Zhang et al., 2025)	O presente estudo desenvolveu um modelo ABS para edifícios de múltiplos pisos, no qual teve como principal intuito integrar a tomada de decisão individual com comportamentos sociais complexos, tais como a interação com agentes de autoridade e bombeiros. Os resultados obtidos demonstram que a atuação destas figuras da autoridade reduz o tempo total de evacuação, uma vez que incentivam o movimento, enquanto a presença de grupos com elevada proximidade aumenta o tempo de espera antes de iniciar o movimento de evacuação.

A análise dos casos de estudo presentes na Tabela 4, permite validar a importância e os benefícios da utilização de *softwares* de simulação, como o *Pathfinder*, na melhoria dos processos de segurança em infraestruturas complexas. Desta forma, através dos resultados obtidos, é possível constatar que a simulação é essencial para identificar pontos críticos de

estrangulamento (*bottlenecks*) causados pela geometria das saídas, bem como para avaliar a eficácia de estratégias de evacuação e o impacto de variáveis comportamentais, como o tempo de reação e a coesão do grupo. Estas evidências reforçam a pertinência da aplicação desta metodologia ao caso de estudo da presente dissertação, de modo a garantir a segurança de todos os envolvidos no processo de evacuação do edifício da empresa de telecomunicações em análise.

3. Estratégias de evacuação de uma empresa do setor das telecomunicações

No presente capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para a análise e melhoria das estratégias de evacuação de um edifício administrativo do setor das telecomunicações, nomeadamente o Edifício NOS, localizado no NorteShopping, em Matosinhos. O objetivo deste trabalho, como referido anteriormente, reside na avaliação da dinâmica de fluxos por parte dos agentes e na validação de soluções de otimização estrutural, recorrendo à simulação computacional através do *software Pathfinder*.

Deste modo, numa primeira fase, procede-se à caracterização física do edifício, através da qual é abordada a configuração dos diferentes pisos e a respetiva parametrização do modelo. Posteriormente, definem-se os cenários de simulação, com o intuito de avaliar a influência de diferentes parâmetros e variáveis estruturais na eficiência da evacuação, tendo em consideração a otimização dos fluxos dos ocupantes, e consequente mitigação do tempo total de evacuação.

3.1. Configuração Edifício NOS NorteShopping

O edifício em estudo possui nove pisos, distribuídos verticalmente desde o Piso -1 até ao Piso 8, sendo, por isso, uma infraestrutura de interesse dada a sua elevada densidade ocupacional e complexidade estrutural. Na Figura 6, podemos ver a sua fachada e a respetiva localização.

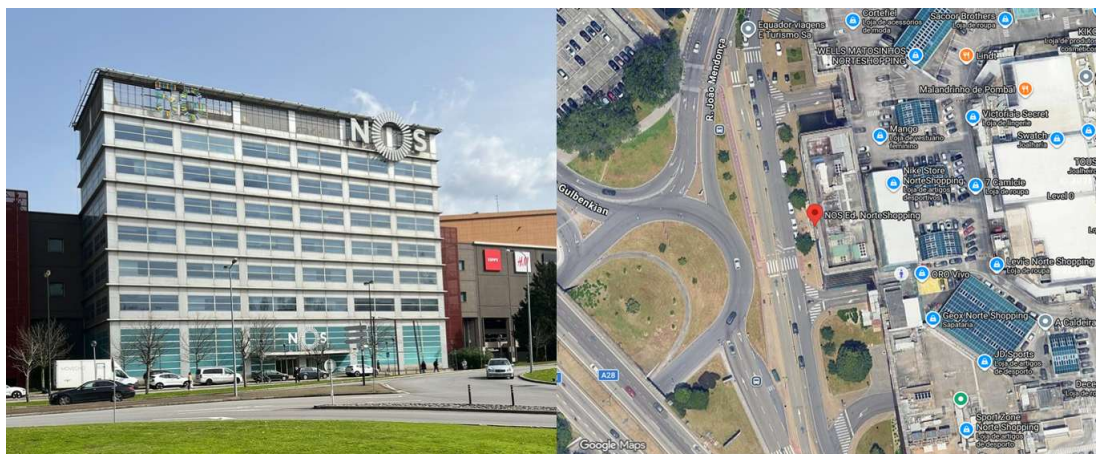


Figura 6 – Ed. NOS Comunicações, S.A., NorteShopping e Localização (Google Maps, 2026)

No interior do edifício, a distribuição espacial organiza-se, essencialmente, entre áreas técnicas, áreas administrativas e áreas de lazer, cujas especificações serão abordadas ao longo do subcapítulo. Adicionalmente, o acesso aos diferentes pisos é assegurado pela escada corporativa, Figura 7, que estabelece ligação entre todos os pisos do edifício, e por dois elevadores, Figura 8, cada um com capacidade para 19 pessoas que se deslocam exclusivamente do Piso 0 até ao Piso 7.

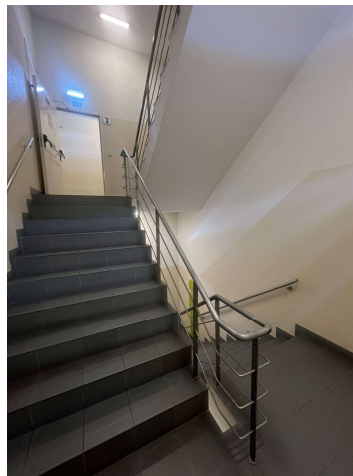


Figura 7 - Escada Corporativa do Edifício

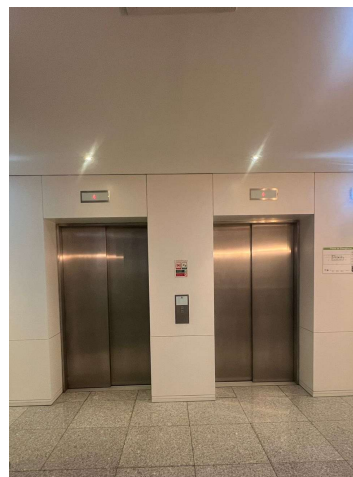


Figura 8 - Elevadores

3.1.1. Piso -1

O Piso -1, ilustrado na Figura 9, destina-se aos vestuários da equipa de segurança e à central de bombagem, Figura 10, sendo uma zona de acesso restrito e sem postos de trabalho permanentes. Deste modo, dada a sua especificação técnica, a sua ocupação é muito reduzida, ocorrendo apenas de uma forma pontual para manutenção ou utilização dos vestuários.

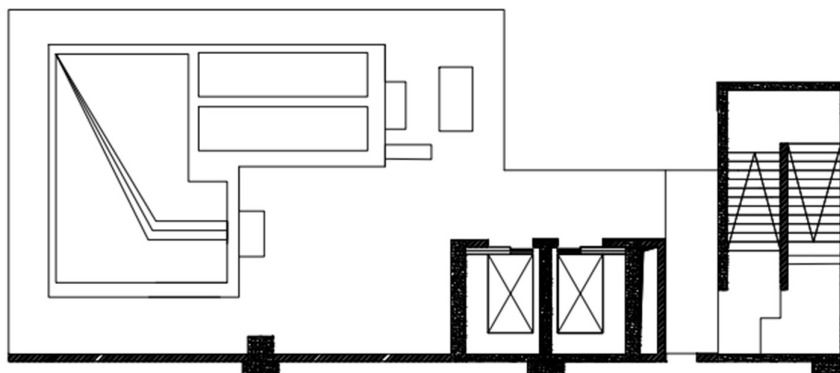


Figura 9 - Planta Piso -1



Figura 10 - Central de bombagem instalada no Piso -1

3.1.2. Piso 0

O Piso 0, representado na Figura 11, é o piso de ligação entre o edifício e o exterior, no qual se localiza a receção do edifício, visível na Figura 12, bem como a cantina e um espaço de reuniões destinado às *Hub communities*, ilustrados nas Figuras 13 e 14, respetivamente.

Adicionalmente, este piso incorpora a sala de segurança interna e uma porção do *Data Center*, ambas as áreas com acesso restrito, nas quais apenas os Seguranças e os Colaboradores de *IT* estão autorizados a aceder. Para além disso, a vigilância deste piso é garantida de forma permanente pelo segurança fixo na zona da receção e por outro elemento na sala de segurança.

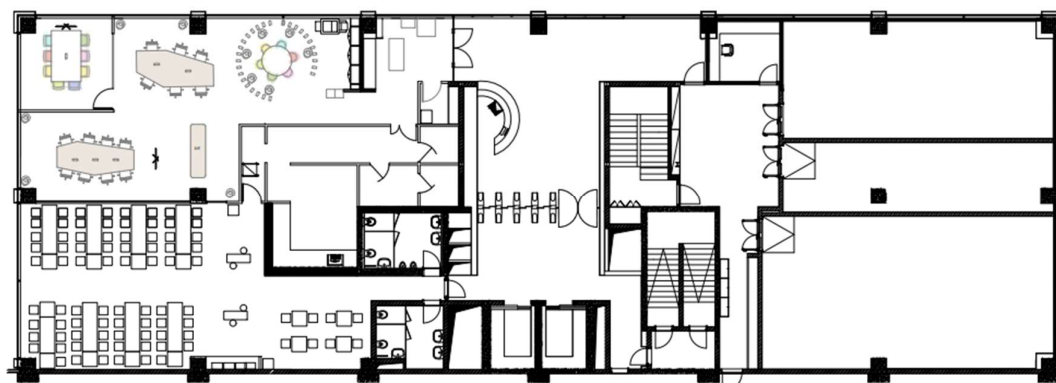


Figura 11 - Planta Piso 0



Figura 12 - Recepção Edifício NOS



Figura 13- Cantina

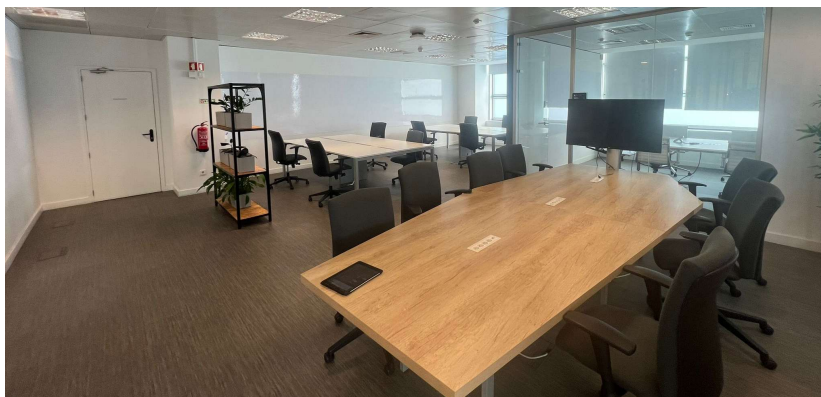


Figura 14 - Espaço *Hub Communities*

O acesso aos diferentes pisos e à cantina é feito através de um sistema de torniquetes, Figura 15, que permite controlar o fluxo de entradas e saídas do edifício, assegurando a proteção das áreas reservadas a colaboradores.

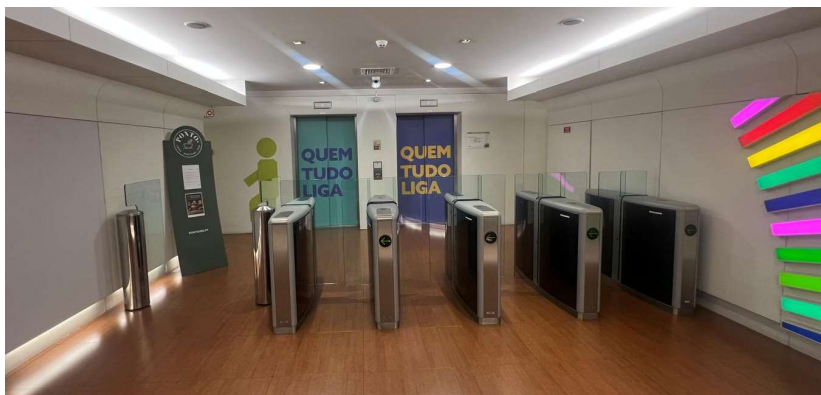


Figura 15 - Torniquetes Piso 0

No que diz respeito às saídas, o Piso 0 possui duas saídas principais que dão diretamente ao exterior do edifício, Figura 16, bem como duas saídas que dão acesso à garagem, Figura 17 sendo que uma delas é somente acessível a partir do *Data Center*, e, por isso, de acesso restrito.

Por razões de segurança, não foi possível captar fotograficamente as zonas de acesso restrito deste piso, pelo que, essas zonas, são apenas consideradas para efeitos de delimitação geométrica no modelo de simulação.



Figura 16 - Saídas Principais do Edifício

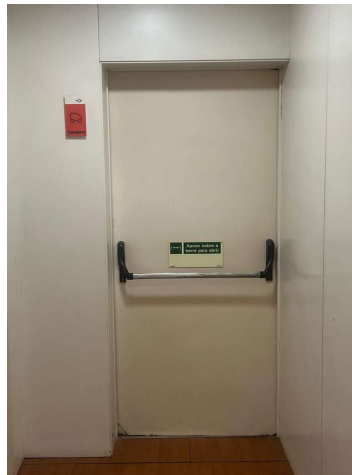


Figura 17 - Saída Garagem

3.1.3. Piso 1

O Piso 1, ilustrado na Figura 18, é integralmente ocupado pelo Data Center e, conforme se sucede na respetiva zona do Piso 0, o seu acesso é restrito a Colaboradores IT e aos Seguranças.

Deste modo, o Piso 1 pode ser acedido através dos elevadores e da escada corporativa, cujo acionamento é feito unicamente com uma chave, ou através das escadas internas do Data Center que ligam o Piso 0 ao Piso 1.

Adicionalmente, este piso, devido à sua especificação técnica, possui duas saídas de emergência para o centro comercial NorteShopping e, à semelhança do sucedido no Data Center do Piso 0, por razões de segurança, não foi possível recolher registos fotográficos deste piso.

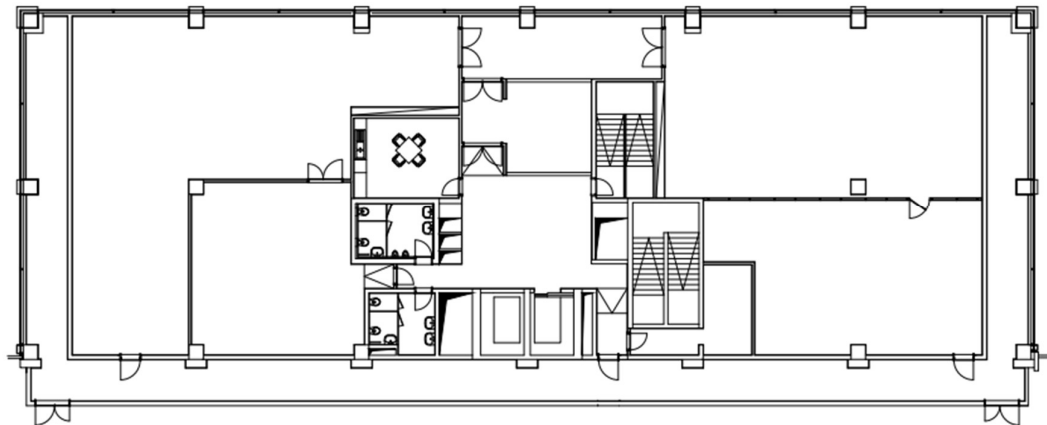


Figura 18 - Planta Piso 1

3.1.4. Piso 2

O Piso 2, representado na Figura 19, estabelece o início dos pisos predominantemente corporativos do edifício, uma função que se mantém até ao Piso 7. Neste piso, encontram-se alocados os colaboradores das áreas de Audiovisual, Cinema e Conteúdo, bem como as equipas de Transformação Digital, Sistemas de Informação e Serviço de Apoio ao Cliente.



Figura 19 - Planta Piso 2

Não obstante às ligeiras variações de disposição das mesas e gabinetes em cada piso corporativo, a lógica organizacional e a tipologia de equipamentos mantêm-se transversal a todos os 5 pisos corporativos. Desta forma, estes pisos apresentam características comuns, nomeadamente:

- Zonas de Trabalho: Compostas por mesas de trabalho de grupo e por mesas individuais com computadores, como é possível observar através das Figuras 20 e 21, respetivamente;

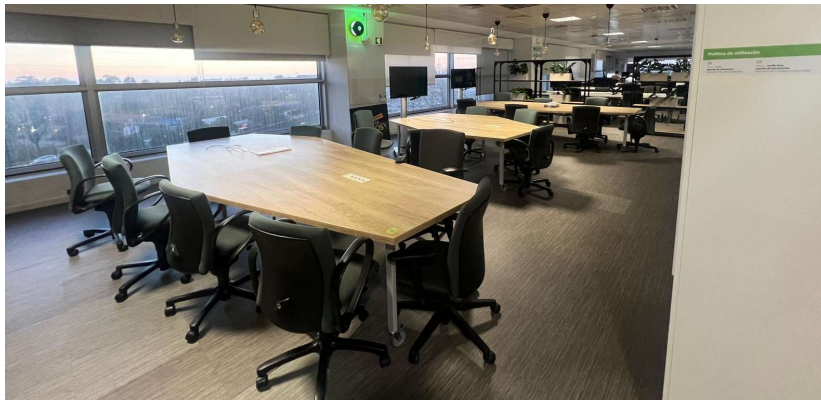


Figura 20 - Zona de trabalho em grupo



Figura 21 - Zona de trabalho individual

- Salas de Reunião: Espaços fechados destinados a reuniões de equipa ou apresentações, equipados com suporte audiovisual, como ilustrado na Figura 22;

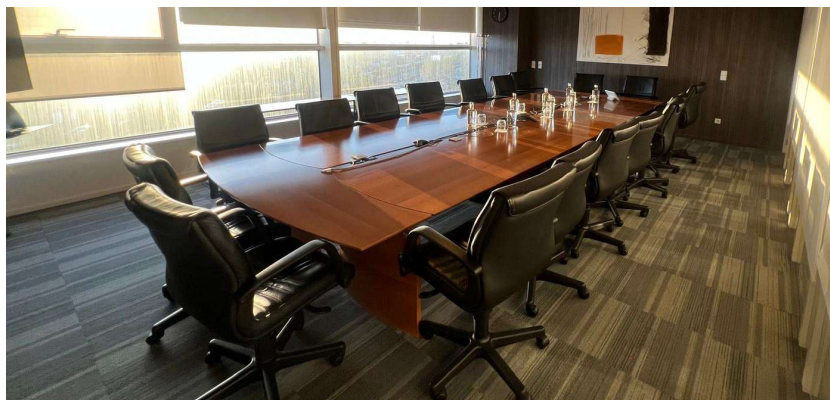


Figura 22 - Salas de Reunião

- Gabinetes: Áreas delimitadas para trabalho individual de coordenação ou tarefas que exijam maior concentração e privacidade, tal como se pode verificar na Figura 23;

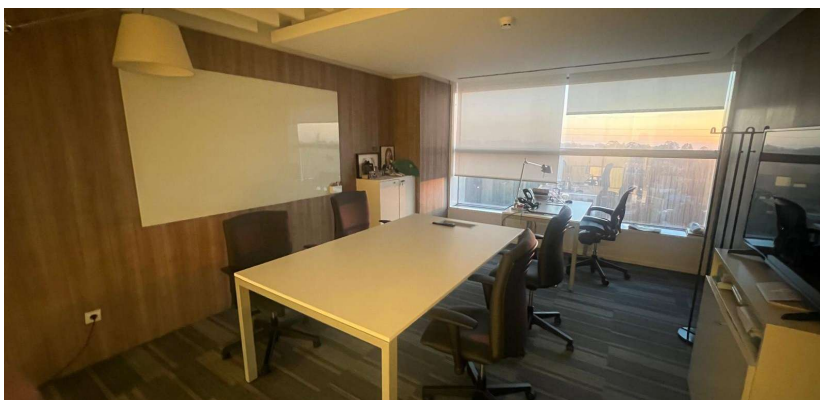


Figura 23 - Gabinete

- Cabines Acústicas: Para além das salas de reunião convencionais, os pisos dispõem de cabines acústicas individuais, visíveis na Figura 24, que permitem realizar chamadas ou reuniões através do computador, sem que seja necessário perturbar os restantes colegas de trabalho;



Figura 24 - Cabines Acústicas

- Zonas de Apoio: Todos os pisos dispõem de uma zona de copa para os colaboradores, representada na Figura 25, e instalações sanitárias;



Figura 25 - Zona de Copa

- Hall de Acesso: A Figura 26, ilustra a zona de articulação entre os elevadores e as escadas do edifício do restante piso;

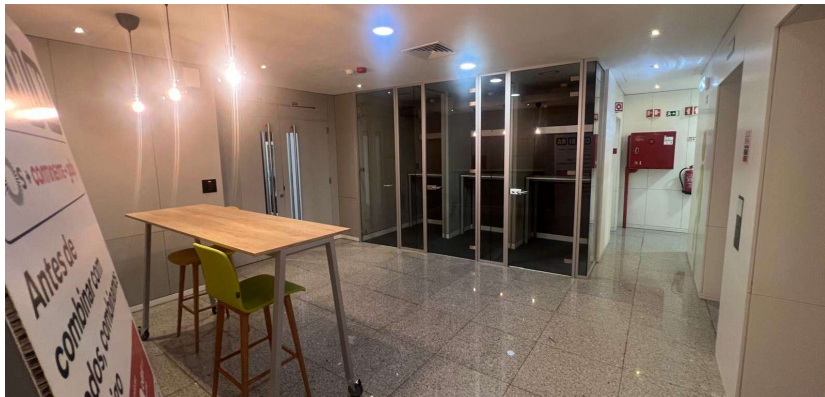


Figura 26 - Hall de Acesso

3.1.5. Piso 3

O Piso 3, aloca as equipas de Redes, Planeamento e Performance, Centro para a Transformação de Empresas, *Wholesale*, Comercial B2B e Controlo e Desenvolvimento de negócio B2B.

O *layout* do Piso 3, conforme ilustra a sua planta, visível na Figura 27, dispõe dos mesmos equipamentos e zonas de apoio detalhados no Piso 2, no entanto, apresenta algumas variações pontuais na disposição das mesas e dos gabinetes, de modo a adaptar o piso às necessidades das equipas que o ocupam.

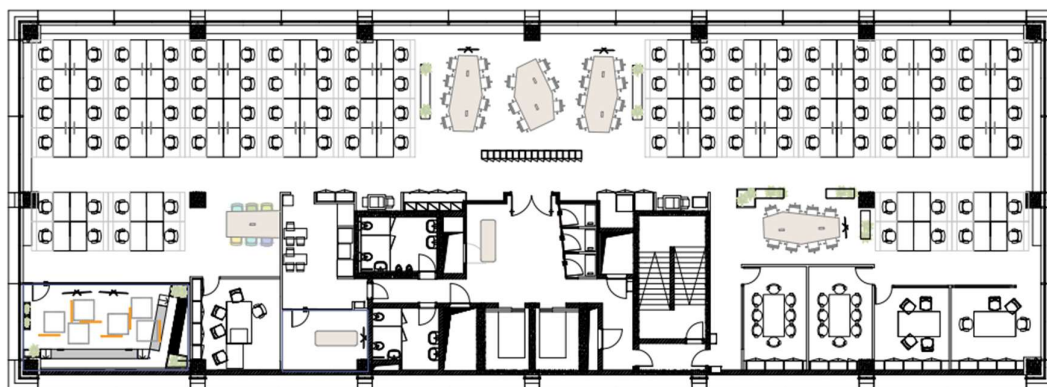


Figura 27 - Planta Piso 3

3.1.6. Piso 4

O Piso 4, representado na Figura 28, segue um modelo semelhante aos pisos corporativos descritos anteriormente. Deste modo, o piso engloba as equipas de Operações, *Innovation Services*, *Cyber Inspect*, Cibersegurança e Soluções Empresariais, com um *layout* de mesas, salas e gabinetes ajustado a estas funções, como é apanágio dos pisos predominantemente corporativos.

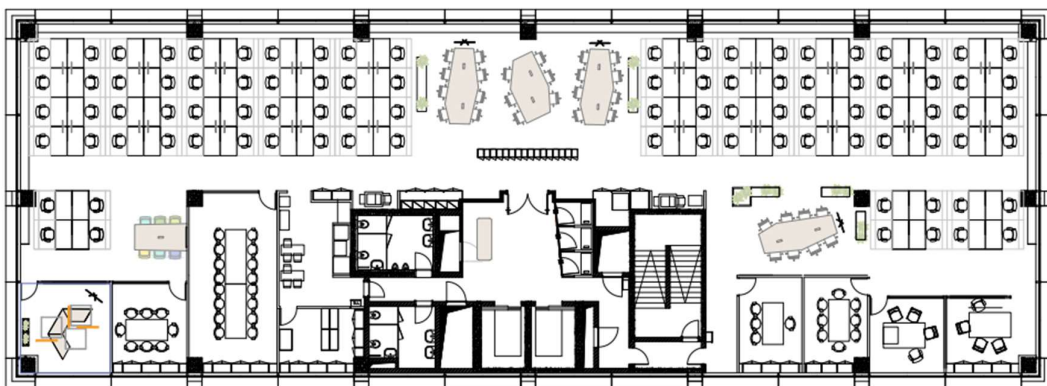


Figura 28 - Planta Piso 4

3.1.7. Piso 5

Por sua vez, as áreas de Serviços Financeiros, PCG, Compras & Logística e Sustentabilidade situam-se no Piso 5. A configuração física do espaço é semelhante aos pisos descritos anteriormente, como é possível observar através da sua planta, Figura 29.

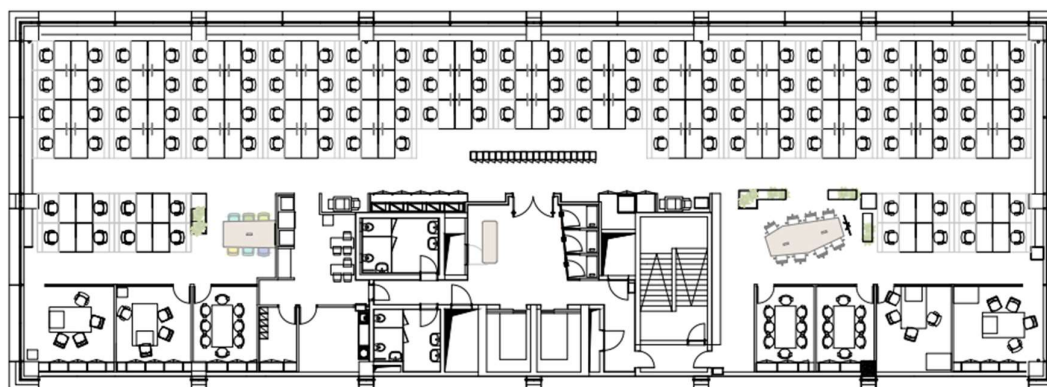


Figura 29 - Planta Piso 5

3.1.8. Piso 6

No Piso 6, concentram-se equipas de várias áreas, nomeadamente as equipas de *Comercial B2C*, *PMEs*, *Alarmes & Smart Home*, *WOO*, *WTF & Get*, *Marketing B2C*, *CRM*, *Marca* e *Comunicação* e *NOS Publicidade*.

Apesar do elevado número de áreas sediadas neste piso, a sua configuração, como ilustra a figura 30, é semelhante aos restantes pisos corporativos do edifício.

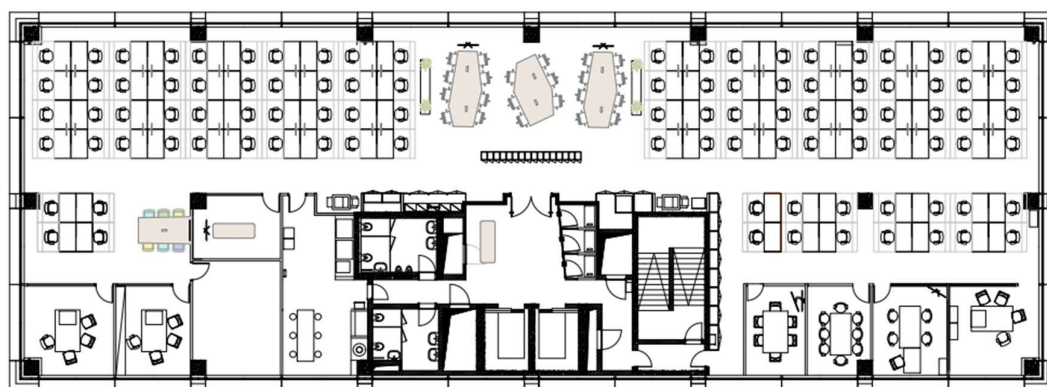


Figura 30 - Planta Piso 6

3.1.9. Piso 7

O Piso 7, é o último piso predominantemente corporativo do edifício e reúne a comissão executiva da NOS, bem como o departamento Jurídico, as direções de Pessoas e Organização, *AI & Insight* mercado, Comunicação corporativa e Auditoria, Risco e *Compliance*.

A planta do Piso 7, ilustrada na Figura 31, assemelha-se aos restantes pisos corporativos, no entanto apresenta algumas variações pontuais, uma vez que, como se destina a cargos de maior valor dentro da empresa, nomeadamente diretores, o espaço privilegia um número superior de gabinetes e salas de reunião, comparativamente aos pisos inferiores.

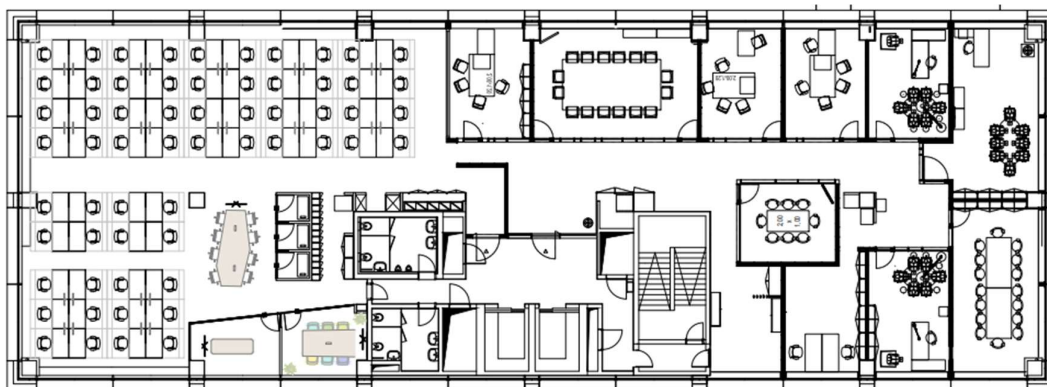


Figura 31 - Planta Piso 7

3.1.10. Piso 8 Cobertura

O Piso 8, representado na Figura 32, é o último piso do edifício e corresponde à cobertura, na qual estão integradas uma área de lazer e de descanso, bem como uma zona técnica de máquinas.

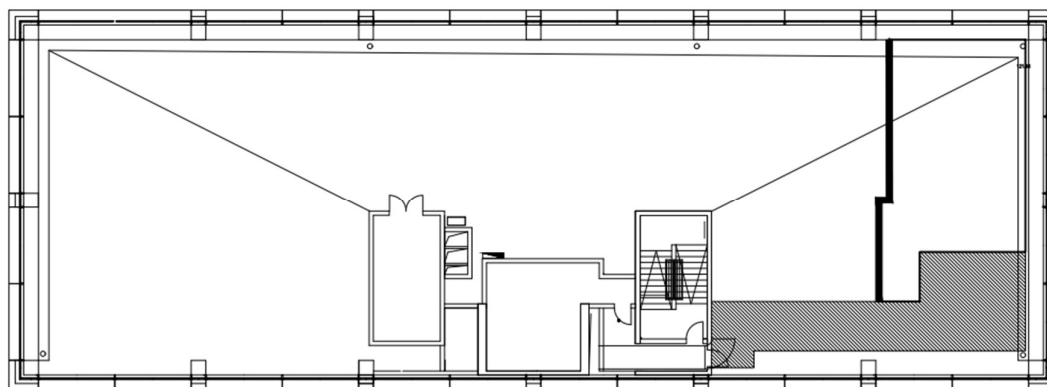


Figura 32 - Planta Piso 8 Cobertura

Neste sentido, o espaço de convívio, ilustrado nas Figuras 33 e 34, integra uma zona de *lounge* interior com acesso a uma esplanada que serve como zona de fumadores e de descanso e lazer. Por outro lado, a área restante da cobertura destina-se exclusivamente à instalação de equipamentos técnicos e sistemas de ventilação, como ilustra a Figura 35, sendo uma área restrita para a maioria dos colaboradores da NOS.

Deste modo, dadas as suas funções, a cobertura possui uma densidade ocupacional reduzida, uma vez que é usada esporadicamente.



Figura 33 - Lounge Indoor Piso 8



Figura 34 - Esplanada Piso 8



Figura 35 - Zona das Máquinas Piso 8

3.2. Estudo de Simulação

O presente subcapítulo descreve o modelo computacional desenvolvido no *software Pathfinder* com o intuito de simular a evacuação do edifício da NOS, como referido anteriormente. Deste

modo, são detalhadas as diversas fases de conceção da infraestrutura, bem como a adição de perfis e *behaviors* necessários, de forma a garantir a fidelidade e o rigor dos resultados obtidos.

Adicionalmente, é realizada a validação do modelo, no qual é efetuada uma comparação direta entre os tempos de evacuação medidos em situação real, e os tempos obtidos através da simulação computacional, tendo por base vários pontos estratégicos do edifício. Neste sentido, esta análise comparativa permite, através do erro percentual, assegurar a fiabilidade dos resultados obtidos no *software*. Por último, são apresentados os cenários simulados no modelo computacional e respetivos resultados.

3.2.1. Modelação (Interface Visual e Animação)

Numa primeira fase, o desenvolvimento do modelo computacional consistiu na preparação técnica das plantas dos nove pisos do edifício da NOS, em *AutoCAD*, de forma a eliminar todas as informações dispensáveis ao bom funcionamento do *Pathfinder*, nomeadamente, linhas de cotas, legendas, simbologias e portas, visto que o próprio *software* possui uma funcionalidade de as inserir, como será demonstrado posteriormente.

Na Figura 36, é apresentada a comparação entre a planta original e a versão otimizada para a simulação do Piso 3, por exemplo, na qual é visível a remoção dos elementos referidos anteriormente. Desta forma, esta simplificação é fundamental para que não haja interrupções ou obstáculos inexistentes na malha de navegação do modelo.



Figura 36 - Comparação entre a planta original e planta otimizada do Piso 3 em *AutoCAD*

De seguida, procedeu-se à integração das plantas no *Pathfinder*, cuja interface de trabalho está representada na Figura 37, através da funcionalidade “File” > “Import...”, visível na Figura 38.

Estratégias de evacuação de uma empresa do setor das telecomunicações

Deste modo, a importação foi realizada individualmente para os nove pisos do edifício, tendo como base uma diferença de 3.5 metros entre cada piso, de forma a garantir as dimensões reais da infraestrutura.

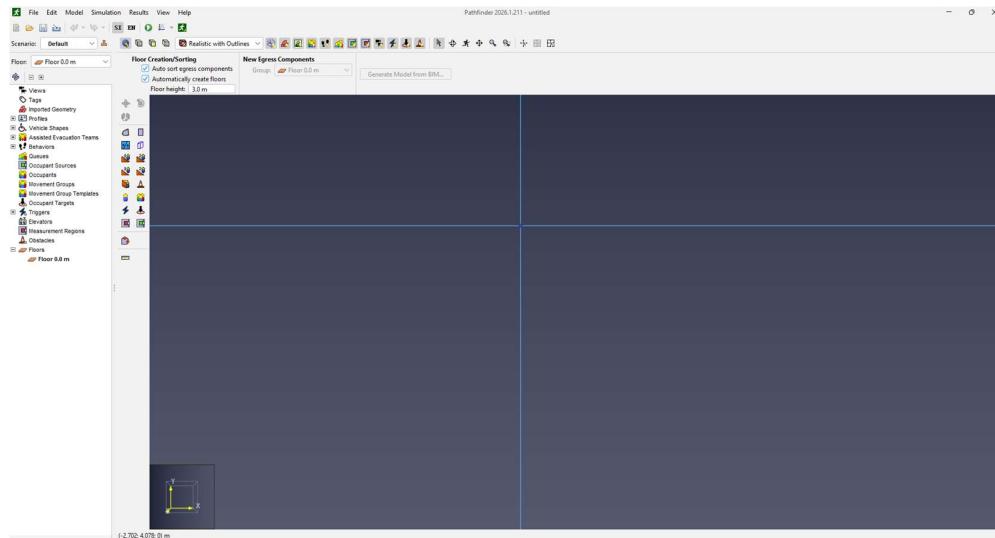


Figura 37 - Interface Pathfinder

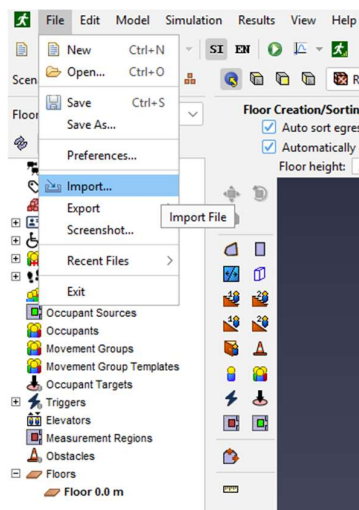


Figura 38 - Funcionalidade “Import File”

Posteriormente, procedeu-se à identificação dos objetos de cada piso de forma que sejam reconhecidos pelo software como obstáculos físicos à passagem dos ocupantes. Neste sentido, utilizou-se a funcionalidade “Convert to Transient Obstacle...” após a seleção dos objetos identificados nas plantas, conforme se observa na Figura 39.

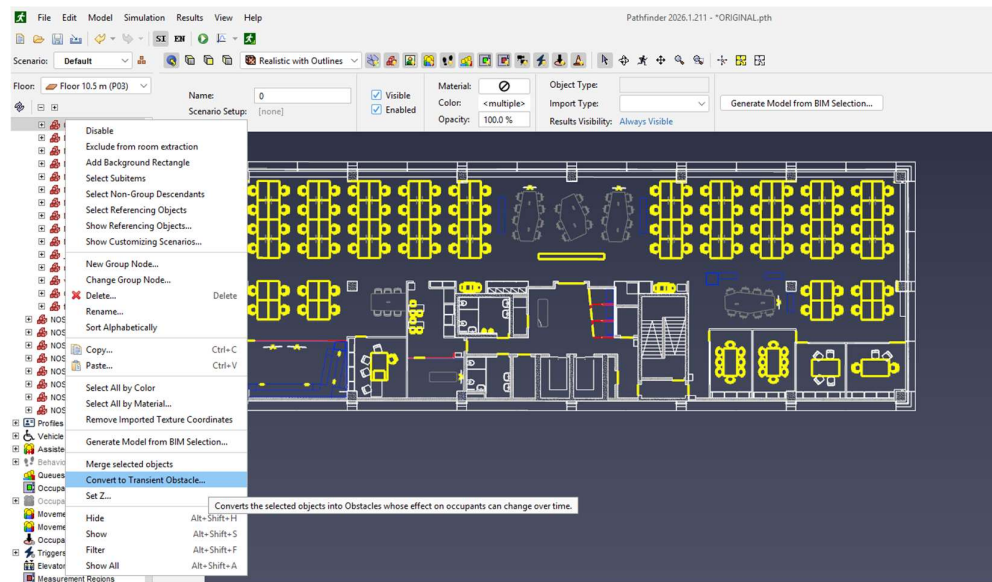


Figura 39 - Funcionalidade “Convert to Transient Obstacle”

Desta forma, como demonstrado na Figura 40, estes elementos surgem classificados como objetos físicos, o que permite assegurar o realismo das restrições à circulação existentes no edifício.

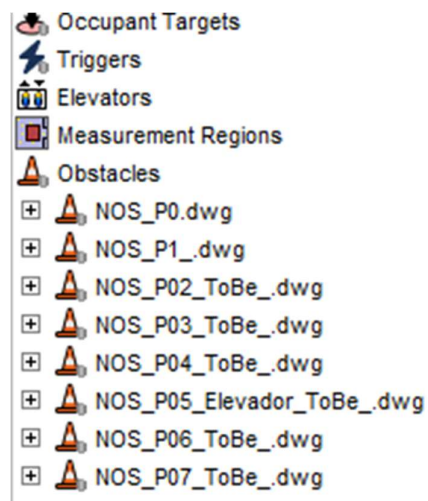


Figura 40 - Estrutura de obstáculos do modelo

A modelação das áreas de circulação, por sua vez, processou-se através da funcionalidade “Extract Room from Imported Geometry”, visível na Figura 41, na qual a criação do espaço disponível para a circulação dos agentes, ocorre de forma automática tendo em consideração as delimitações da planta e os seus objetos. Desta forma, esta funcionalidade garante a

mitigação de erros e assegura a estrutura do modelo. Na Figuras 42, apresentam-se os resultados desta funcionalidade para um piso exemplificativo, nomeadamente o Piso 0.

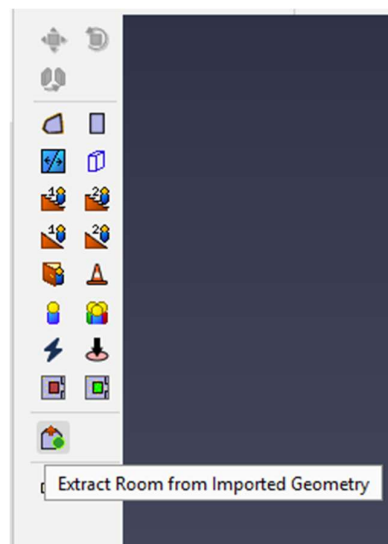


Figura 41 - Funcionalidade “Extract Room from Imported Geometry”

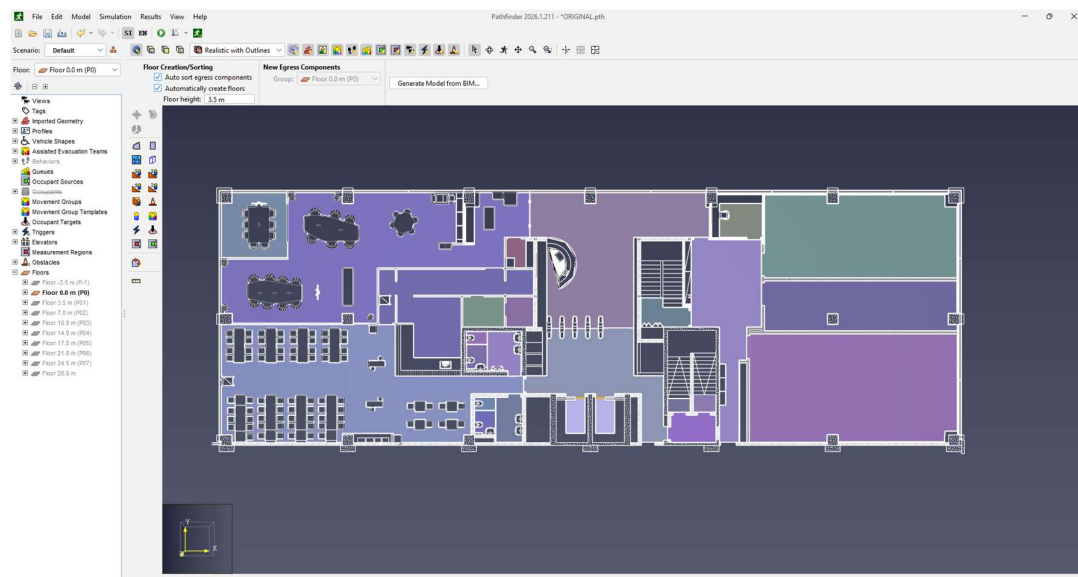


Figura 42 - Resultado extração do Piso 0

De seguida, de forma a interligar as diversas divisões e corredores de circulação, procedeu-se à inserção das portas em todos os pisos do edifício, através da funcionalidade “Add a New

Door”, representada na Figura 43. Neste âmbito, de modo a garantir a fiabilidade do modelo, a sua implementação seguiu as medidas indicadas nas respetivas plantas.

O software, por sua vez, distingue visualmente as portas interiores e portas que dão acesso ao exterior, sendo representadas pela cor laranja e pela cor verde, respetivamente, como é ilustrado na Figura 44.

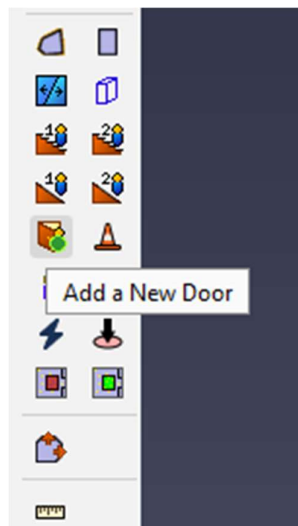


Figura 43 - Funcionalidade “Add a New Door”



Figura 44 - Distinção visual das portas: interiores (laranja) e exteriores (verde)

De seguida, após a modelação dos diferentes pisos, procedeu-se à criação da escada corporativa e da escada exclusiva do *Data Center*. Neste sentido, e em conformidade com as plantas fornecidas, concebeu-se um patamar intermédio entre cada piso através da funcionalidade “Add a Polygonal Room”, conforme se observa na Figura 45.

Estratégias de evacuação de uma empresa do setor das telecomunicações

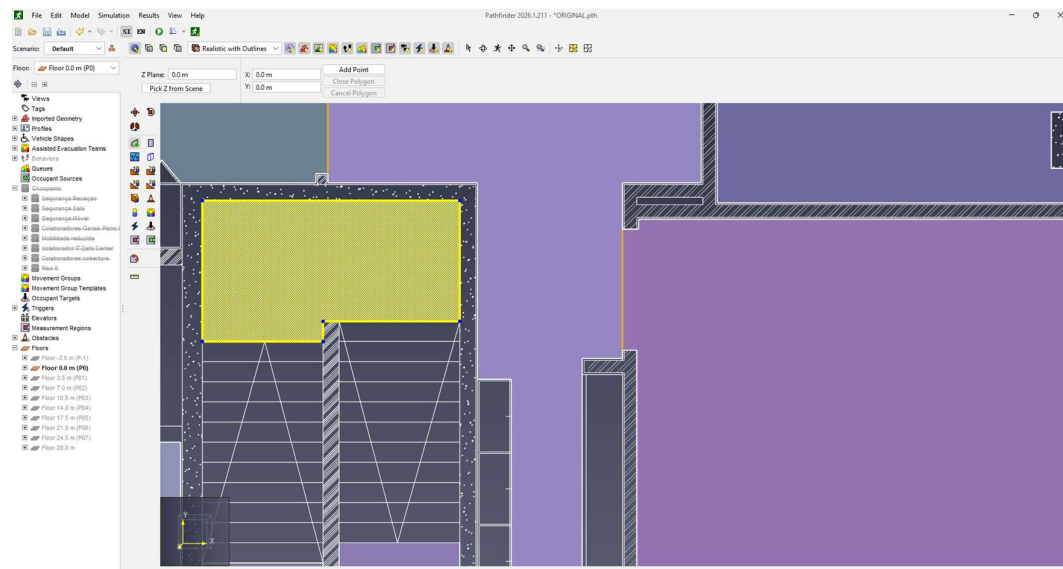


Figura 45 - Funcionalidade “Add a Polygonal Room”

Após a adição de todos os patamares ao longo dos vários pisos, recorreu-se à funcionalidade *“Create stairs between two edges by choosing a point on each”*, visível na Figura 46, de modo a estabelecer a ligação física entre os pisos e os patamares intermédios, como é representado na Figura 47.

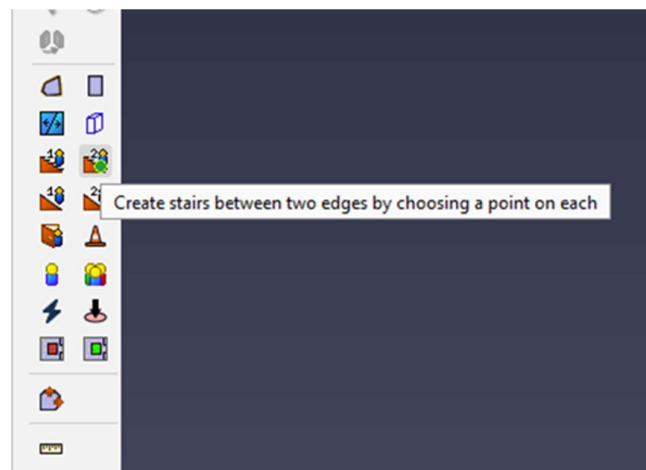


Figura 46- Funcionalidade “Create stairs between two edges by choosing a point on each”

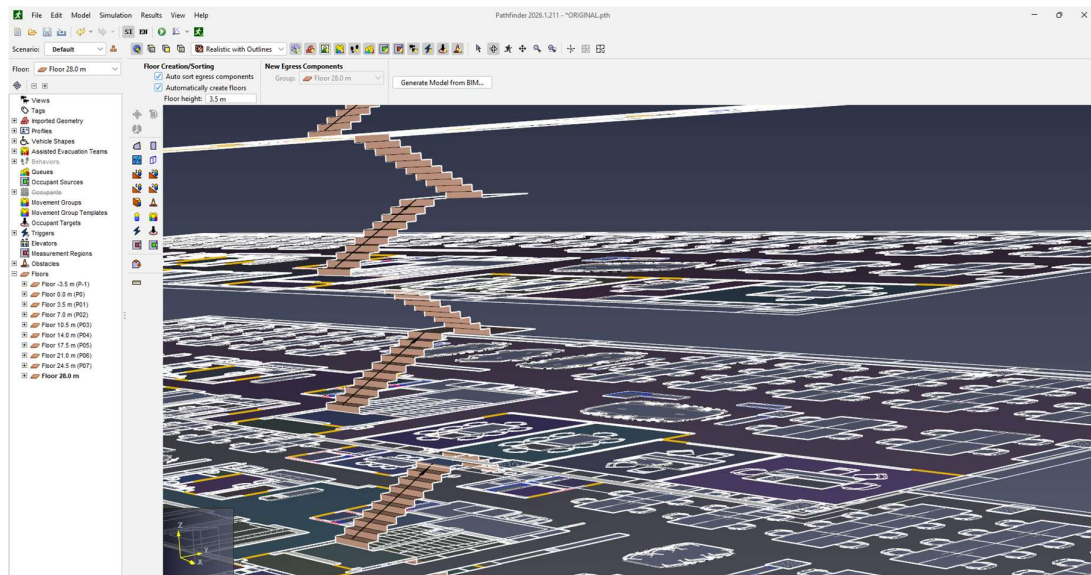


Figura 47 - Escada Corporativa

Posteriormente, a modelação física do edifício culminou com a inclusão dos dois elevadores através da funcionalidade “*Create Elevator*”, conforme ilustra a Figura 48. Os elevadores, conforme referido anteriormente, asseguram a ligação entre o Piso 0 e o Piso 7, no qual cada um possui uma capacidade máxima de 19 pessoas. Adicionalmente, o processo de configuração permite definir a velocidade máxima e aceleração do elevador, como é possível observar na Figura 49, o que confere um maior realismo ao modelo.

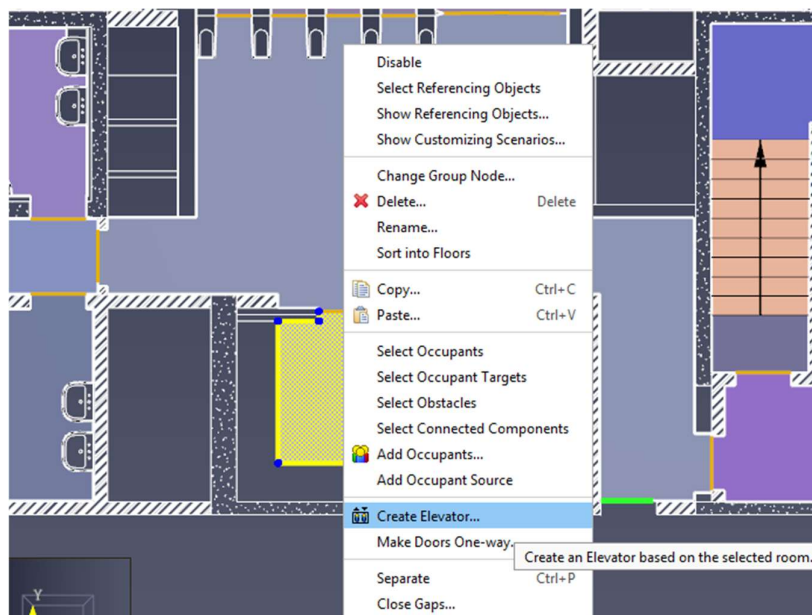
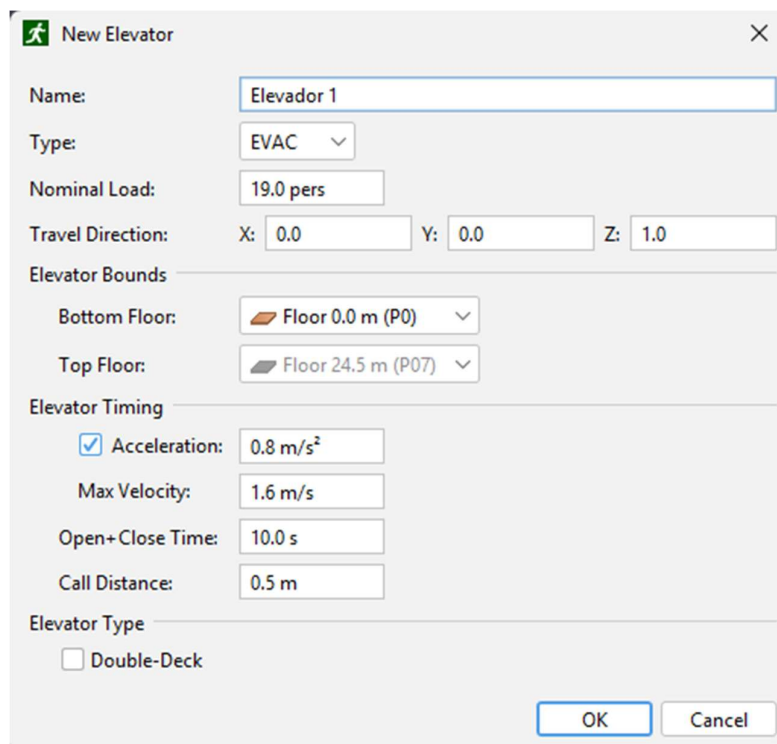


Figura 48 - Funcionalidade “*Create Elevator*”



New Elevator

Name: Elevador 1

Type: EVAC

Nominal Load: 19.0 pers

Travel Direction: X: 0.0 Y: 0.0 Z: 1.0

Elevator Bounds

Bottom Floor: Floor 0.0 m (P0)

Top Floor: Floor 24.5 m (P07)

Elevator Timing

☒ Acceleration: 0.8 m/s²

Max Velocity: 1.6 m/s

Open+Close Time: 10.0 s

Call Distance: 0.5 m

Elevator Type

☐ Double-Deck

OK Cancel

Figura 49 - Configurações Elevador

Por conseguinte, a modelação física do edifício da NOS apresenta-se concluída, sendo possível observar o resultado através da Figura 50.

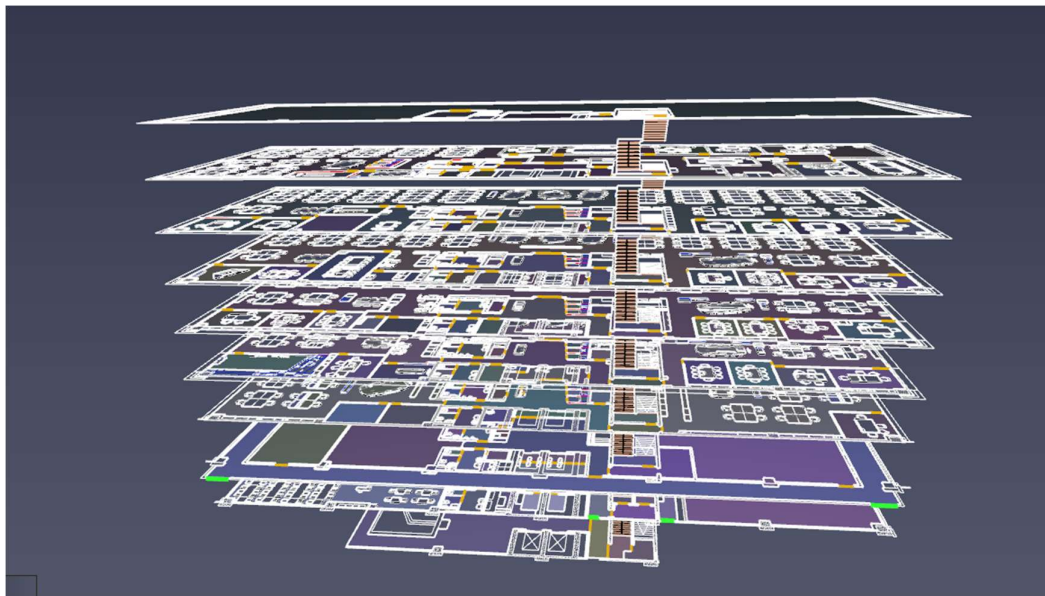


Figura 50 - Modelo Computacional Ed. NOS

De seguida, no que diz respeito à componente humana do modelo, a caracterização dos perfis dos ocupantes torna-se essencial, visto que permite refletir de forma precisa a diversidade da população do edifício. Deste modo, através do *software Pathfinder*, procedeu-se à criação de

diversos perfis, nomeadamente, Colaborador/a, Colaborador/a IT, Segurança, Mobilidade Reduzida, Visitante e Funcionário Cantina, conforme ilustra a Figura 51.

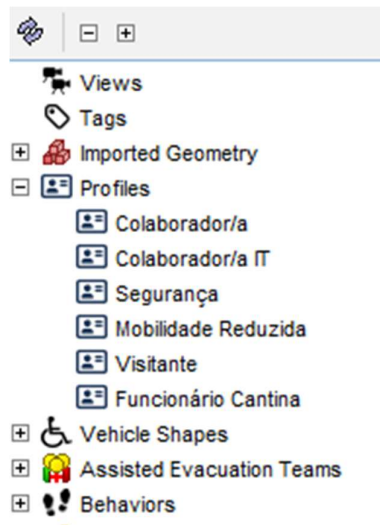


Figura 51 - Perfis criados

Um dos principais atributos diferenciadores nos tempos de evacuação é a velocidade de deslocação de cada perfil, uma vez que tem impacto direto na celeridade da saída do edifício. Desta forma, a generalidade dos perfis apresenta uma velocidade média de 1.4 m/s, conforme ilustra a Figura 52, uma vez que representa um valor adequado em situações de evacuação (A & R, 2024). Adicionalmente, o Perfil de Mobilidade Reduzida, apresenta uma velocidade média de 0.8 m/s, devido à sua dificuldade de locomoção, como se verifica na Figura 53 (A & R, 2024).

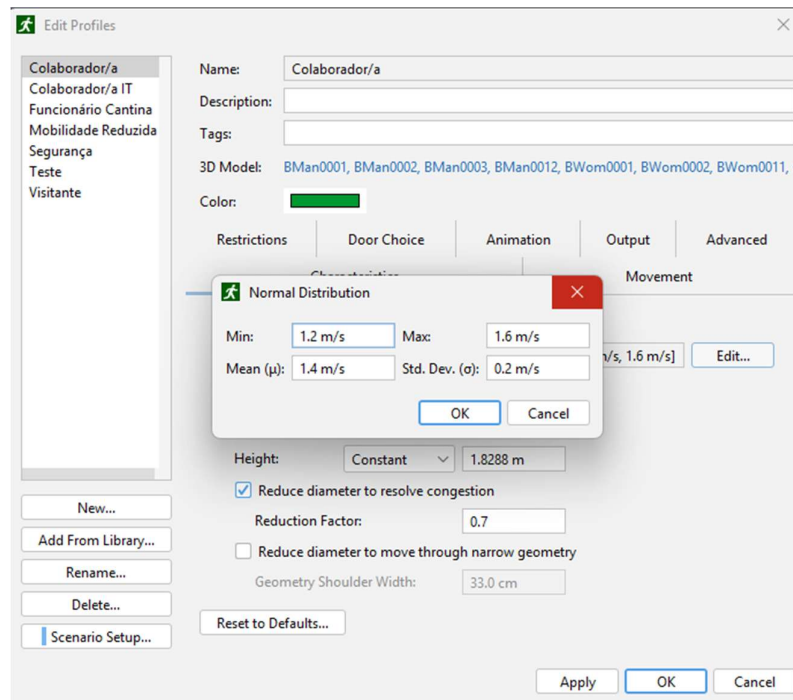


Figura 52 - Velocidade Perfis Gerais

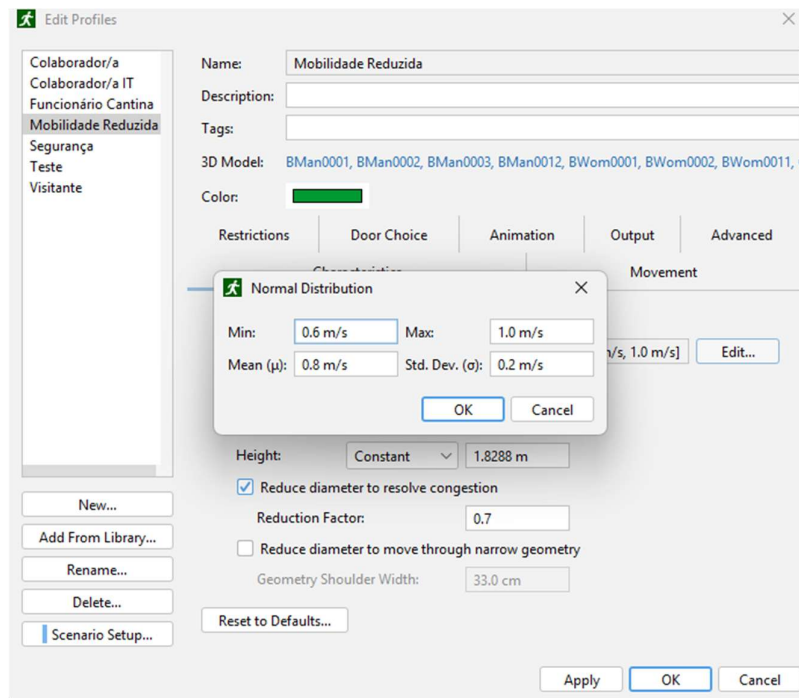


Figura 53 - Velocidade Perfil Mobilidade Reduzida

Para além da atribuição das velocidades, procedeu-se à restrição de diversos perfis às áreas restritas do edifício. Desta forma, como referido anteriormente, o acesso ao *Data Center*, localizado numa secção do Piso 0 e no Piso 1, apresenta-se acessível somente aos perfis de Segurança e Colaborador/a IT, pelo que se tornou necessário restringir essa área aos restantes perfis, conforme ilustra a Figura 54.

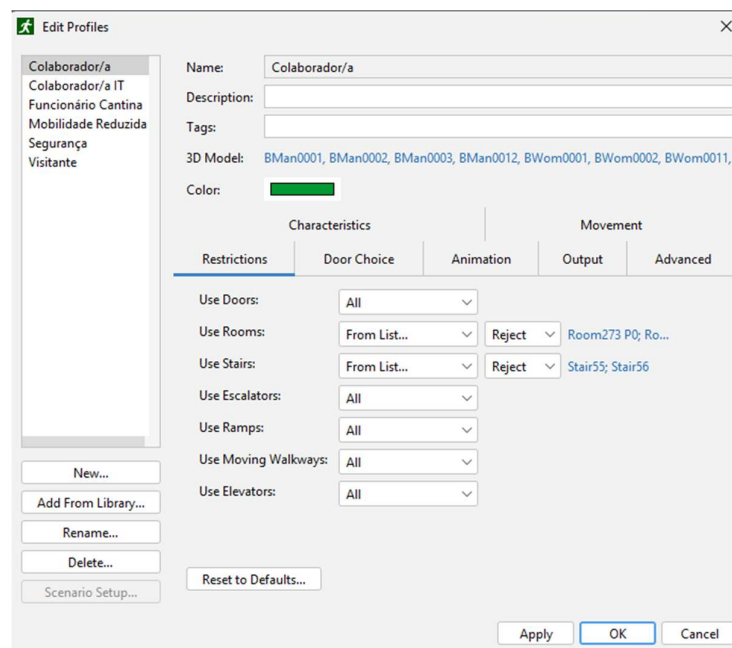


Figura 54 - Restrição dos Perfis às áreas restritas

Posteriormente, procedeu-se à criação dos comportamentos dos seguranças do modelo, através da funcionalidade “Behaviors”, na qual foi possível introduzir um tempo de espera de 110 a 200 segundos, visível na Figura 55, de forma a simular uma evacuação real, na qual os seguranças ajudam e prestam auxílio aos restantes ocupantes do edifício.

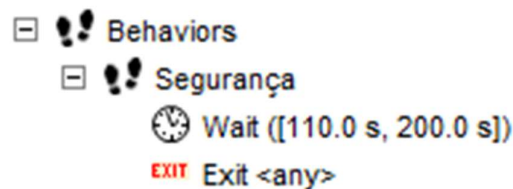


Figura 55 - Behavior Segurança

Por último, a etapa final do modelo consiste na adição dos ocupantes, de modo a simular a ocupação real do edifício da NOS. Desta forma, através da funcionalidade “Add Occupants”, Figura 56, efetuou-se a distribuição cuidada dos agentes pelas diversas áreas navegáveis do piso, em conformidade com a função de cada perfil e a densidade de ocupação prevista para cada área. Na Figura 57, observa-se a estruturação dos ocupantes, na qual cada grupo de agentes se associa ao respetivo piso e perfil.

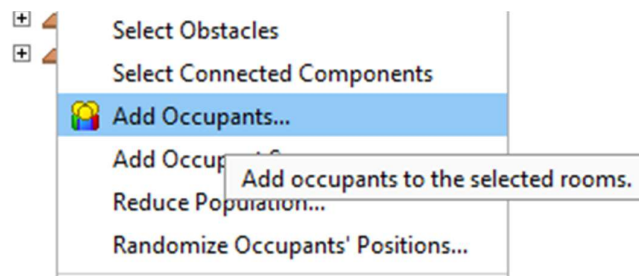


Figura 56 - Funcionalidade “Add Occupants”



Figura 57 - Ocupantes do Modelo

Por conseguinte, com a integração de todos os parâmetros anteriormente referenciados, o modelo de simulação encontra-se concluído, como pode ser observado na Figura 58.

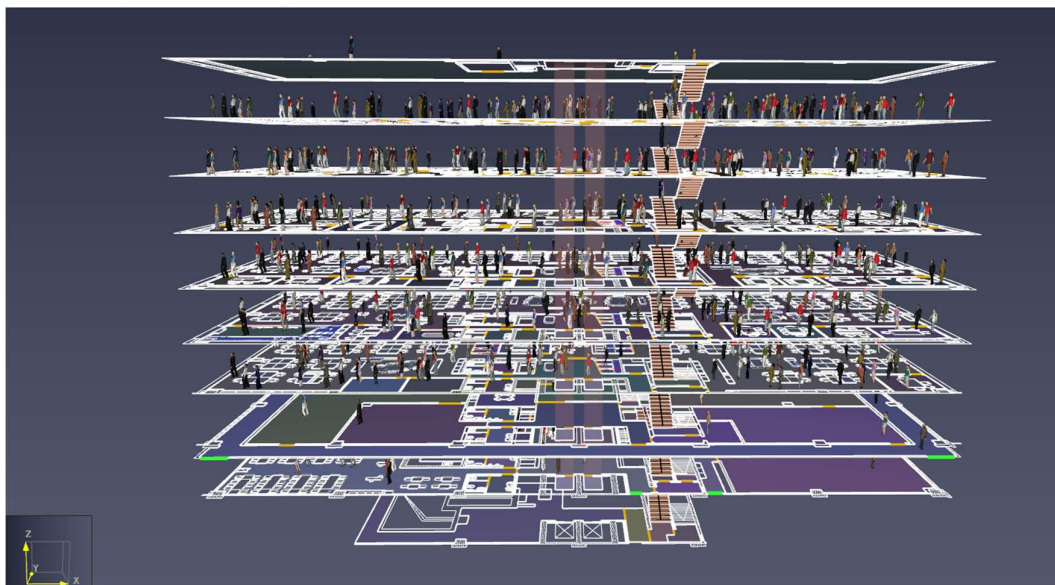


Figura 58 - Modelo Computacional Finalizado

3.2.2. Validação do Modelo de Simulação

A validação do modelo de simulação assume um papel preponderante na fiabilidade dos resultados obtidos, visto que permite assegurar que os comportamentos simulados no *software* são idênticos ao desempenho real.

Deste modo, numa primeira fase, procedeu-se à medição cronometrada do tempo necessário entre diversos pontos do edifício e a saída principal, com o intuito de reproduzir os percursos no *Pathfinder* e obter os tempos virtuais para cada trajetória. Relativamente aos percursos com elevadores, assegurou-se que ambos se encontravam no Piso 0 no instante inicial, de modo a garantir as mesmas condições do *software*. Adicionalmente, procurou-se assegurar uma velocidade constante de 1.4 m/s durante todos os percursos, de forma a mitigar variáveis extra e a replicar a velocidade padrão do *Pathfinder*.

Por conseguinte, realizou-se uma análise comparativa entre os dados recolhidos no edifício e os resultados da simulação, cujos valores e respetivo erro percentual podem ser consultados na Tabela 5, de forma a assegurar a validação do modelo.

Tabela 5 - Simulação Real vs. Simulação Computacional

Localização Inicial			Simulação Real (s)	Simulação computacional (Pathfinder) (s)	Erro Percentual (%)
Piso -1	1	Vestuário	30,4	29,0	4,61
Piso 0	2	Hub Communities	14,3	14,8	3,50
	3	Cantina	21,9	22,5	2,74
	4	Hall Escadas	14,7	14,0	4,76
Piso 1	5	Corredor de Manutenção	49,7	51,5	3,62
Piso 2	6	Gabinete 2	55,3	52,8	4,52
	7	Corredor Norte	52,4	49,5	5,53
	8	Copa	47,2	47,5	0,64
Piso 3	9	Sala Criativa	73,6	72,5	1,5
	10	Sala 328	60,1	58,8	2,16
	11	Zona de Trabalho de Grupo	62,5	59,8	4,32
	12	Hall de Acesso (com Elevador)	52,2	56,3	7,85
Piso 4	13	Sala 412	84,6	82,5	2,48
	14	Sala 426	66,5	63,3	4,81
	15	Copa	72,3	71,3	1,38
Piso 5	16	Corredor Sul	90,9	89,0	2,09
	17	Cacifos	84,3	79,3	5,93
	18	Corredor Norte	81,4	78,0	4,18
	19	Hall de Acesso (com elevador)	62,2	64,8	4,18
Piso 6	20	Zona de Trabalho de Grupo	90,0	90,3	0,33
	21	Copa	91,5	89,3	2,40
	22	Sala 628	86,2	86,0	0,23
Piso 7	23	Sala 718	97,2	98,8	1,65
	24	Sala Música	92,6	92,8	0,22
	25	Corredor Sul	110,2	108,8	1,27
	26	Hall de acesso (com elevador)	72,5	73,8	1,79
Piso 8	27	Sky Lounge	102,3	99,5	2,74

A análise dos resultados obtidos na Tabela 5, permite concluir que não existe uma grande discrepância entre os valores medidos e os resultados obtidos na simulação, visto que o modelo apresenta um erro percentual médio de 3,02%, com um erro percentual mínimo de 0,22% e um erro percentual máximo de 7,85%. Desta forma, o modelo de simulação é válido.

3.3. Análise de Estratégias de Evacuação

O presente subcapítulo tem como principal objetivo o estudo e a melhoria dos processos de evacuação do edifício, através da simulação de vários cenários. Deste modo, com o recurso ao *software Pathfinder*, ao replicar condições reais e testar hipóteses alternativas, pretende-se obter diferentes soluções que assegurem a redução dos tempos de evacuação e uma maior segurança dos intervenientes. Neste sentido, definiram-se pressupostos e parâmetros fixos, bem como variáveis no modelo, de forma a avaliar o impacto direto de cada alteração nos tempos de evacuação.

Desta forma, o modelo computacional assenta em quatro pressupostos, nomeadamente:

- **Lotação e Distribuição Geográfica dos Ocupantes** – O edifício apresenta uma taxa de ocupação real de 787 ocupantes, um valor próximo da capacidade máxima de postos de trabalho da infraestrutura. Neste sentido, 733 dos ocupantes são colaboradores gerais e encontram-se alocados aos pisos predominantemente corporativos (P2 a P7), dos quais 2 possuem mobilidade reduzida e encontram-se no Piso 2. Adicionalmente, os restantes ocupantes segmentam-se em 25 colaboradores IT nas instalações do *Data Center* (Piso 0 e Piso 1), 1 segurança no Piso 4 que se encontra em patrulha e 6 elementos na cobertura, nomeadamente 5 colaboradores gerais e 1 colaborador IT. Por último, no Piso 0, excluindo o *Data Center*, encontram-se 22 ocupantes, mais concretamente 13 Colaboradores gerais, 5 funcionários da cantina, 2 Colaboradores IT e 2 seguranças posicionados na receção e na sala de segurança.
- **Velocidade de Deslocação** – A velocidade de deslocação dos ocupantes advém do seu perfil e tem como objetivo replicar as diferenças existentes entre indivíduos. Neste âmbito, como referido anteriormente, os parâmetros de velocidade baseiam-se em valores médios, com a utilização de um desvio padrão (σ) de 0,20 m/s e limites máximos e mínimos. A generalidade dos perfis apresenta uma velocidade média (μ) de 1.4 m/s, ao invés do perfil de mobilidade reduzida que apresenta uma velocidade média de 0.8 m/s (A & R, 2024).
- **Tempos de Pré evacuação** – No modelo computacional empregou-se um tempo de resposta ao sinal sonoro de emergência, visto que os ocupantes demoram sempre algum tempo a iniciar o movimento de evacuação em direção à saída. Assim, para todos os ocupantes estabeleceu-se um tempo de pré-evacuação de 120 segundos (Forsberg et al., 2019). Adicionalmente, como mencionado anteriormente, os 3 seguranças permanecem entre 110 e 200 segundos após o tempo de pré-evacuação de reposta ao sinal sonoro, de modo a auxiliar e incentivar a mobilização dos restantes ocupantes.
- **Área de Acesso Restrito Permanente** – O *Data Center*, conforme mencionado anteriormente, é uma zona restrita somente acessível a Colaboradores IT e a Seguranças, pelo que os restantes perfis não conseguem a aceder a esta área, nem utilizá-la nas suas rotas de evacuação.

Por sua vez, as variáveis, permitem diferenciar os cenários e fundamentar, através de uma análise comparativa, os resultados. Neste sentido, esta dissertação contempla 3 variáveis fundamentais, nomeadamente:

- Saídas Disponíveis – O número e a localização das saídas disponíveis no modelo constituem uma das principais variáveis do estudo. O edifício, como mencionando anteriormente, possui 2 saídas principais e 2 saídas para a garagem no Piso 0, sendo uma delas através do *Data Center*. Adicionalmente, existem 2 saídas diretamente para o centro comercial no corredor de manutenção do Piso 1.
- Uso de Elevadores – Os elevadores possuem características definidas que permanecem inalteradas ao longo de todos os cenários, nomeadamente a aceleração ($0,8 \text{ m/s}^2$), a velocidade (1.6 m/s), o número máximo de ocupantes (19) e o tempo de operação (10 segundos). No entanto, a variável incide apenas na utilização dos 2 elevadores, de forma a aferir o seu impacto no tempo total de evacuação.
- Implementação de Melhorias Estruturais – O modelo computacional integra ainda a introdução de uma escada de emergência entre o Piso 0 e o Piso 8, como é possível observar na Figura 59. Esta introdução viabiliza uma análise comparativa entre a configuração base do edifício e a configuração otimizada, de modo a constatar a sua utilidade no modelo.

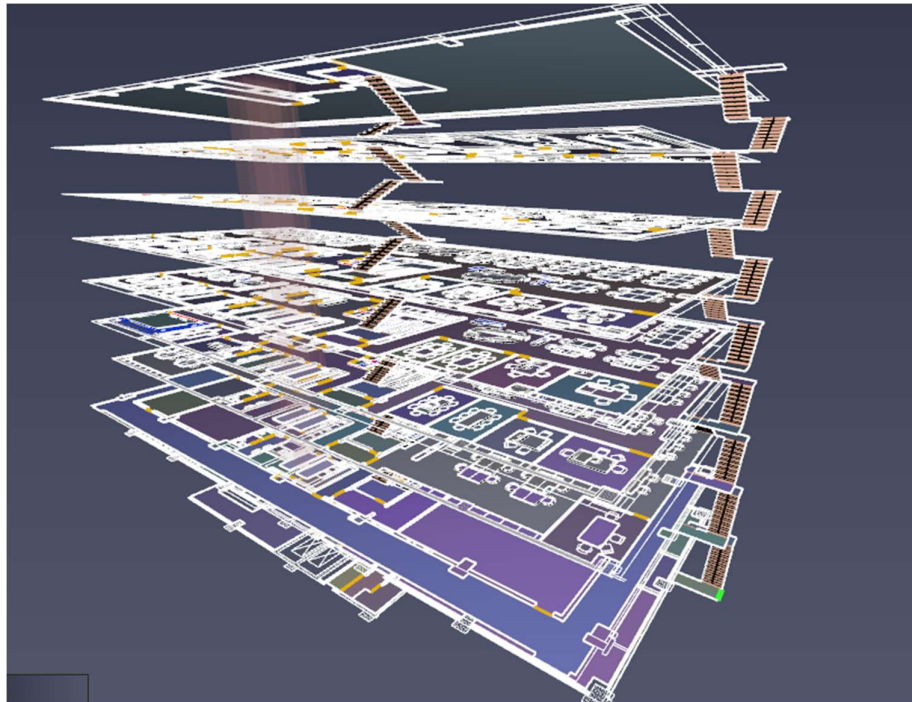


Figura 59 - Introdução Escada de Emergência

3.3.1. Cenário 1 – Edifício Original apenas com as saídas exteriores disponíveis (sem e com elevadores)

Neste cenário, replicou-se as condições de simulacro habitualmente realizados na empresa, no qual as únicas saídas disponíveis são as duas Saídas Principais, visto que são as únicas de acessos direto ao exterior. Deste modo, assumiu-se que todos os ocupantes não possuíam qualquer tipo de orientação relativamente ao seu percurso, pelo que adotaram um comportamento de evacuação espontâneo em direção à saída mais próxima.

Primeiramente, analisou-se o cenário sem a utilização dos elevadores, de forma a caracterizar o desempenho da escada corporativa na evacuação. Na Tabela 6, são apresentados os resultados.

Tabela 6 - Resultados Cenário 1 sem elevadores

$\mu=1,4$ m/s $\sigma=0,20$ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)	
$\mu=0,8$ m/s $\sigma=0,20$ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	888,1
Tempo total (s)	1008,1
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	558,8
Distância Média Percorrida (m)	110,5

Deste modo, através da análise da Tabela 6, verifica-se que são necessários 1008,1 segundos para evacuar os 787 ocupantes do edifício, neste contexto.

Adicionalmente, a análise do comportamento dos ocupantes pode ser realizada com base nos diversos gráficos e mapas de congestionamento máximo, disponibilizados pelo *software*, uma vez que permitem a identificação de gargalos e elementos de obstrução à saída e à recolha de dados fundamentais ao estudo.

O gráfico apresentado na Figura 60, ilustra, ao longo do tempo total de evacuação, o número de ocupantes que se encontram no edifício e o número de ocupantes que já o abandonaram. Assim, é possível observar que o movimento começa após os 120 segundos de tempo de pré-evacuação e que a sua saída é linear até ao final do tempo de evacuação.

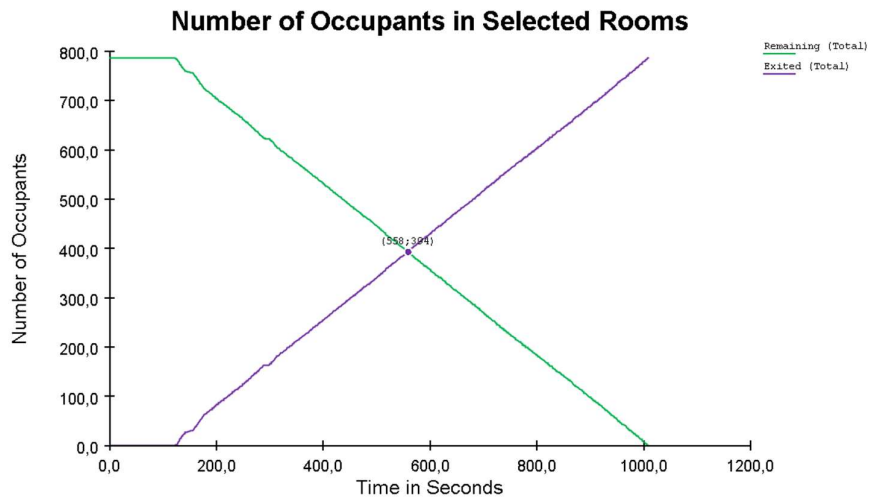


Figura 60 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 1 (sem elevadores)

Adicionalmente, a análise do fluxo de ocupantes nas portas de saída, Figura 61, revela que existe uma diferença acentuada na sua utilização, visto que a porta de Saída Principal 1 é só usada nos instantes iniciais, enquanto a Saída Principal 2 é usada durante todo o tempo de evacuação, uma vez que é a porta mais próxima da escada e, por isso, a utilizada pelos ocupantes dos pisos superiores.

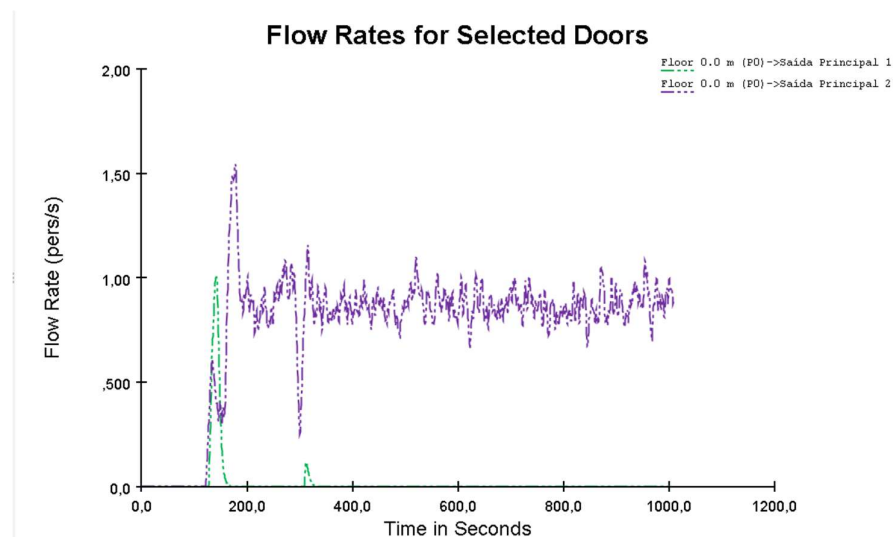


Figura 61 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 1 (sem elevadores)

De seguida, através da visualização do mapa de congestionamento máximo aos 512,0 segundos, Figura 62, é possível identificar as áreas críticas ao longo da evacuação. Neste sentido, as áreas de acesso à escada corporativa dos vários pisos e a própria escada apresentam elevados índices na zona dos 240 segundos de congestionamentos, sendo um fator determinante para o tempo total de 16:48 minutos.

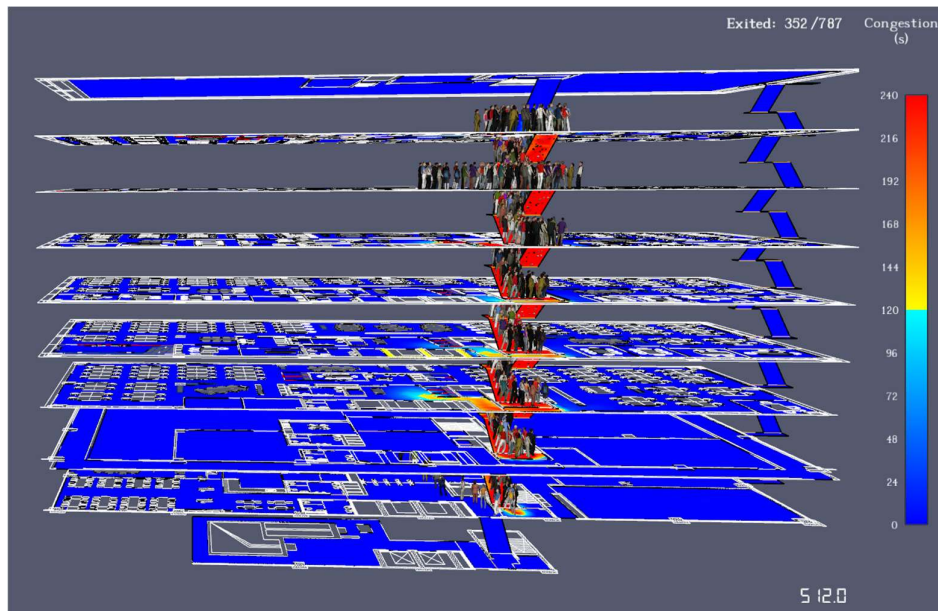


Figura 62 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 1 (sem elevadores)

Posteriormente, analisou-se o impacto da utilização dos 2 elevadores, no qual os ocupantes puderam decidir, de forma autónoma, que meio utilizar para a evacuação do edifício. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados Cenário 1 com elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	1249,1
Tempo total (s)	1369,1
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	561,7
Distância Média Percorrida (m)	64,5

Desta forma, como ilustra a Tabela 7, são necessários 1369,1 segundos para que todos os ocupantes evacuem o edifício.

Neste sentido, a saída dos ocupantes, ao contrário do que se sucedeu anteriormente, sofre uma alteração acentuada por volta dos 576 segundos, como é representado no gráfico da Figura 63, uma vez que, a partir desse instante, os ocupantes que elegeram a escada como meio de evacuação já tinham evacuado a infraestrutura. Assim, até ao final do tempo total de evacuação, a saída realizou-se de forma intermitente, visto que ambos os elevadores têm lotação para 19 pessoas, o que limita o número de ocupantes por ciclo de transporte e, consequentemente, aumenta o tempo total de evacuação.

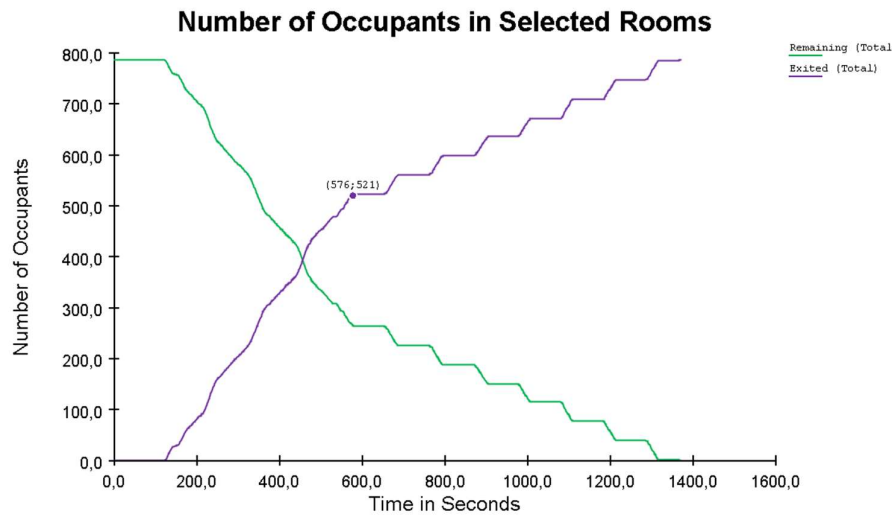


Figura 63 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 1 (com elevador)

Para além disso, este comportamento é confirmado pelo gráfico de fluxo nas portas de saída, Figura 64, visto que apresenta oscilações acentuadas que correspondem à descarga dos ocupantes, provenientes dos elevadores, no Piso 0.

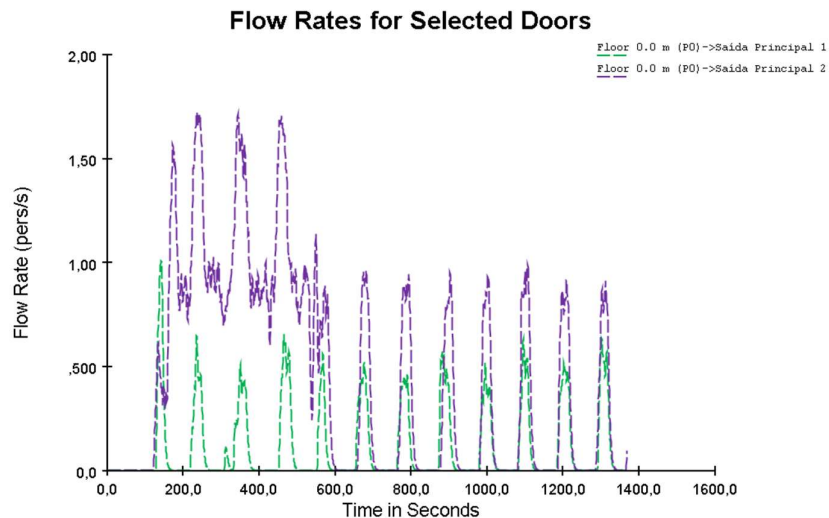


Figura 64 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 1 (com elevadores)

Por último, por intermédio do mapa de congestionamento máximo, Figura 65, é visível, aos 390,9 segundos, a acumulação de vários ocupantes no átrio dos elevadores nos pisos superiores, o que permite concluir que a decisão preferencial dos indivíduos em optarem por este meio de deslocação, ao invés de utilizarem a escada corporativa, que se encontra desimpedida, comprometeu o tempo e a eficiência da evacuação.

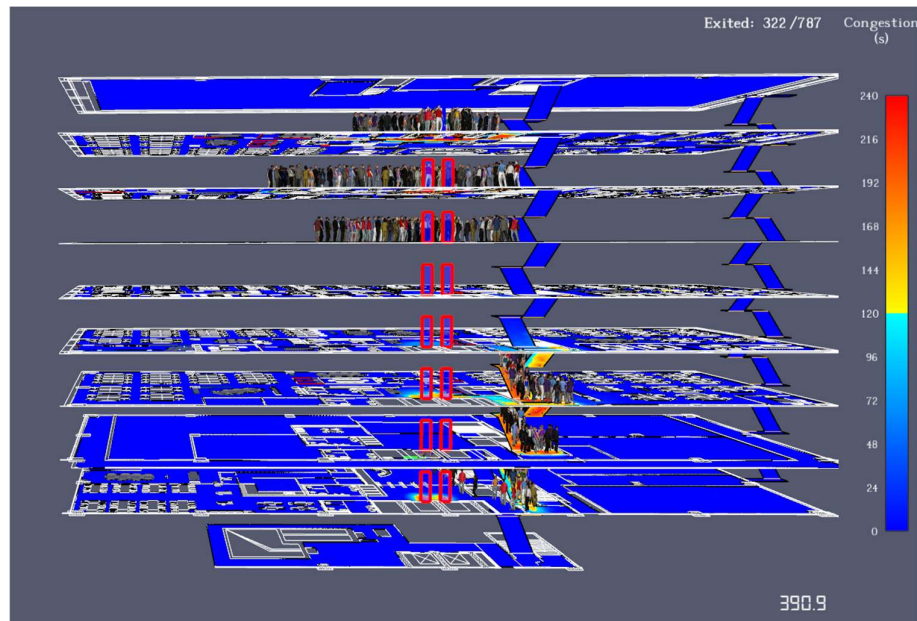


Figura 65 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 1 (com elevadores)

3.3.2. Cenário 2 - Edifício Original com as saídas principais bloqueadas (sem e com elevadores)

Neste cenário, considera-se que as duas portas de saída principais se encontram bloqueadas, pelo que os ocupantes têm acesso às duas portas da garagem no Piso 0, e às duas portas de acesso ao centro comercial no Piso 1. No entanto, uma das portas de garagem e as duas do Piso 1, são localizadas no *Data Center*, pelo que só podem ser utilizadas por Colaboradores IT ou por Seguranças.

Adicionalmente, para este cenário realizou-se um estudo sem elevadores, cujos resultados obtidos encontram-se na Tabela 8, e outro estudo com a sua utilização.

Tabela 8 - Resultados Cenário 2 sem elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	886,3
Tempo total (s)	1006,3
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	550,0
Distância Média Percorrida (m)	95,1

Conforme se pode observar na Tabela 8, são necessários 1006,3 segundos para que todos os ocupantes evacuem a infraestrutura.

Neste sentido, através do gráfico da Figura 66, é possível verificar que a evacuação dos ocupantes se processa de forma contínua e linear, o que permite aferir que, à semelhança do cenário anterior, os ocupantes abandonam o edifício de forma sequencial.

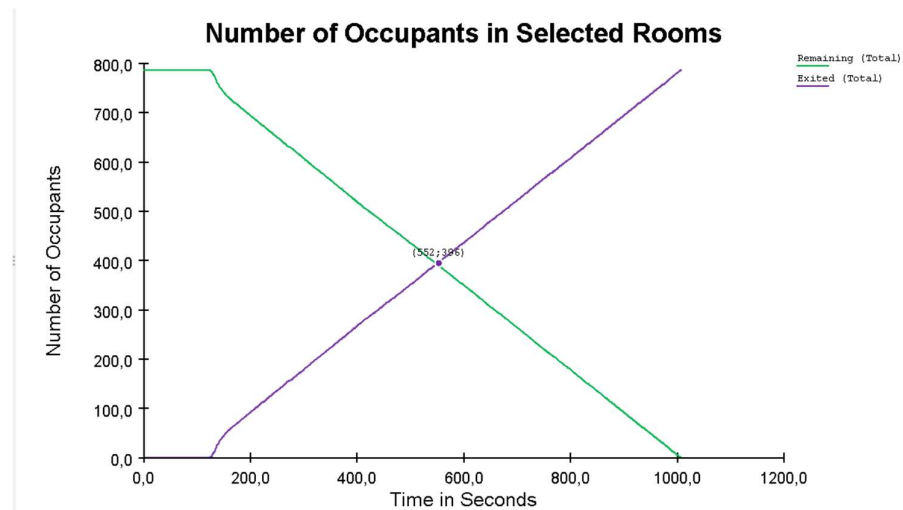


Figura 66 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 2 (sem elevadores)

Adicionalmente, a análise do gráfico do fluxo de ocupantes nas saídas, representado na Figura 67, evidencia que a evacuação se concretizou maioritariamente pela Porta da Garagem, visto ser a única saída permitida para a grande maioria dos ocupantes do edifício.

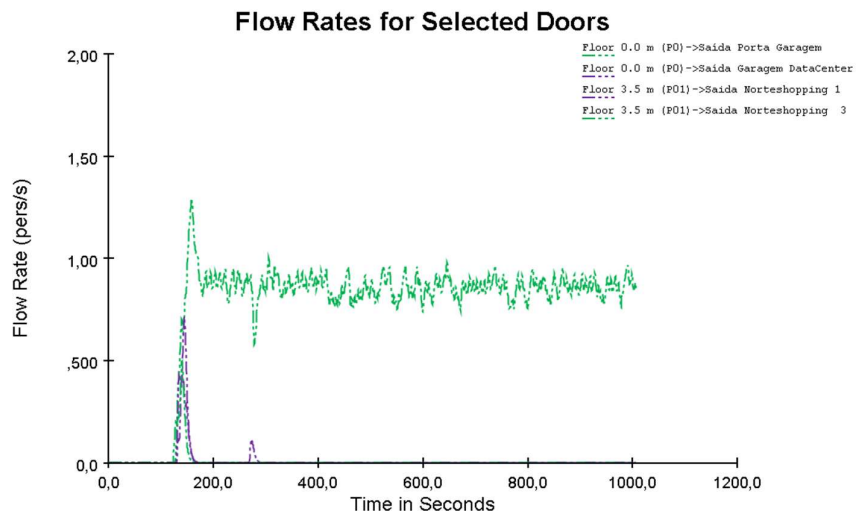


Figura 67 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 2 (sem elevadores)

Por último, no mapa de congestionamento máximo, visível na Figura 68, é perceptível que, aos 504,1 segundos, a escada é o local com maior congestionamento, visto que se dá um afunilamento do fluxo.

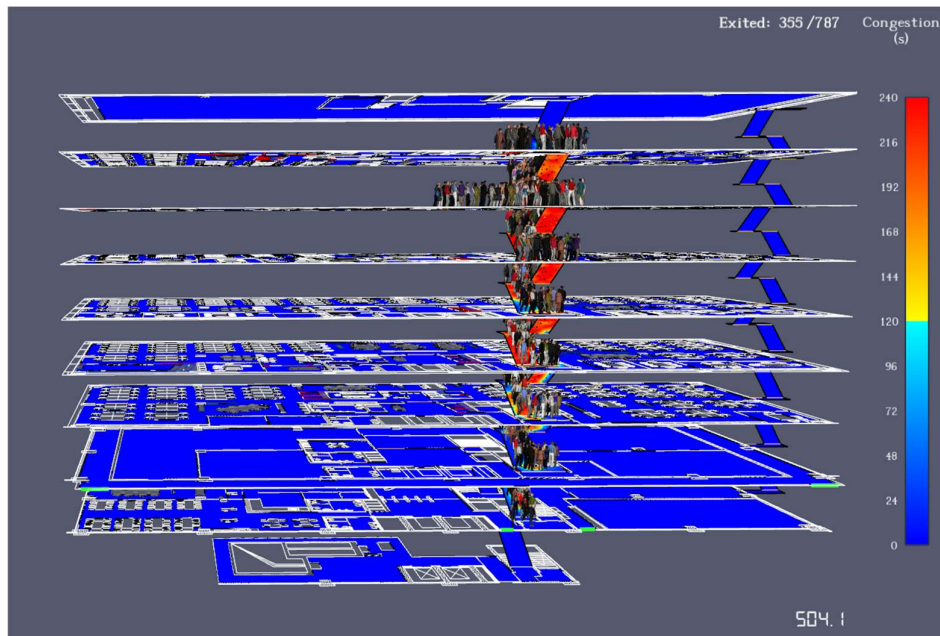


Figura 68 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 2 (sem elevadores)

Seguidamente, procedeu-se à simulação do cenário com a utilização de elevadores, no qual os resultados obtidos encontram-se sistematizados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados Cenário 2 com elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	1050,9
Tempo total (s)	1170,9
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	511,7
Distância Média Percorrida (m)	65,9

Desta forma, como é visível na Tabela 9, são necessários 1170,9 segundos para que todos os ocupantes evacuem a infraestrutura.

Neste sentido, através da análise do gráfico da Figura 69, é possível verificar que a evacuação é linear e continua até aos 784 segundos, momento em que já evacuaram 689 ocupantes, o que reflete a utilização simultânea dos elevadores e da escada corporativa. No entanto, após esse instante, o número de pessoas a abandonar o edifício é feita de forma intermitente, o que evidencia que os restantes elementos utilizaram os elevadores para realizar a sua evacuação, ao invés da escada que se encontrava desimpedida.

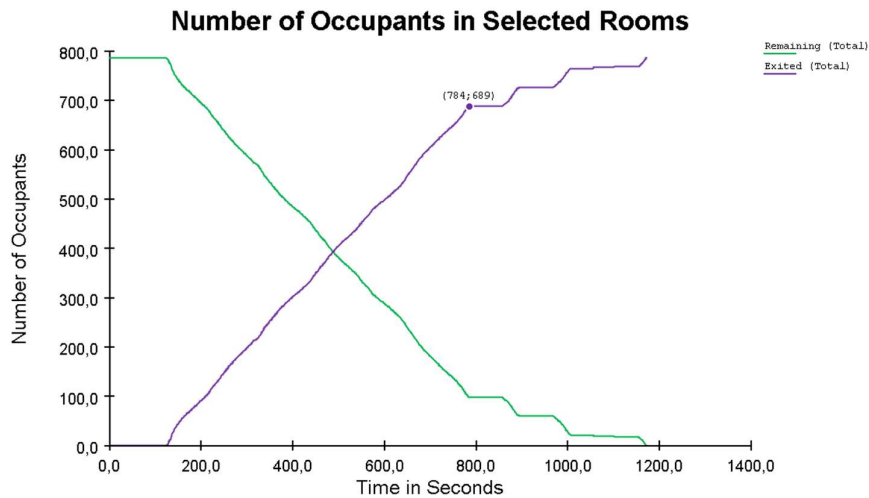


Figura 69 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 2 (com elevadores)

Adicionalmente, a análise do gráfico do fluxo de ocupantes nas portas de saída, representado na Figura 70, confirma que a grande maioria utilizou a Porta da Garagem, visto ser a única saída possível para diversos ocupantes. Para além disso, após os 784 segundos, o gráfico confirma a evacuação intermitente realçada anteriormente.

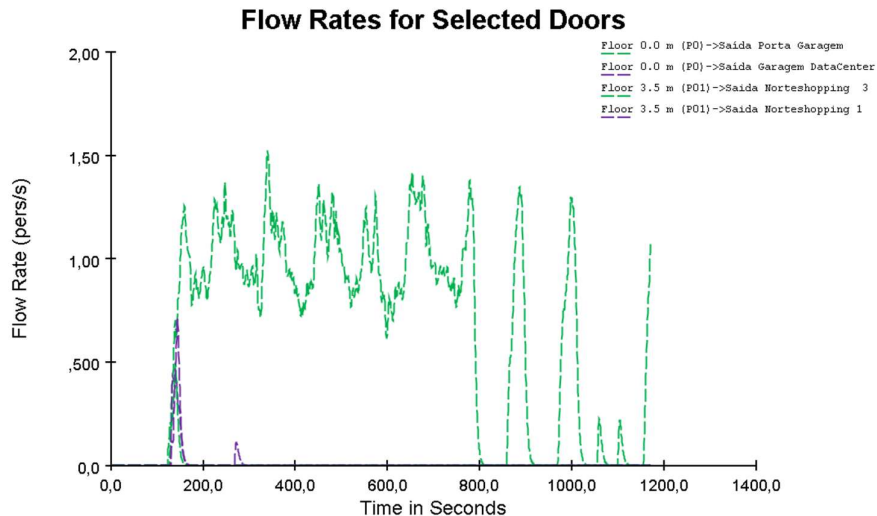


Figura 70 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 2 (com elevadores)

Por último, aos 456,4 segundos, tendo em consideração o mapa de congestionamento máximo presente na Figura 71, é possível verificar que as zonas de maior congestionamento são os átrios dos elevadores nos pisos 6 e 7, e o acesso à escada nos pisos inferiores. Adicionalmente, é possível perceber que os ocupantes do Piso 6 e 7 esperam todos sem exceção pelo elevador, em vez de utilizarem a escada que se encontra desimpedida nesses pisos, o que aumenta, consequentemente, o tempo total de evacuação.

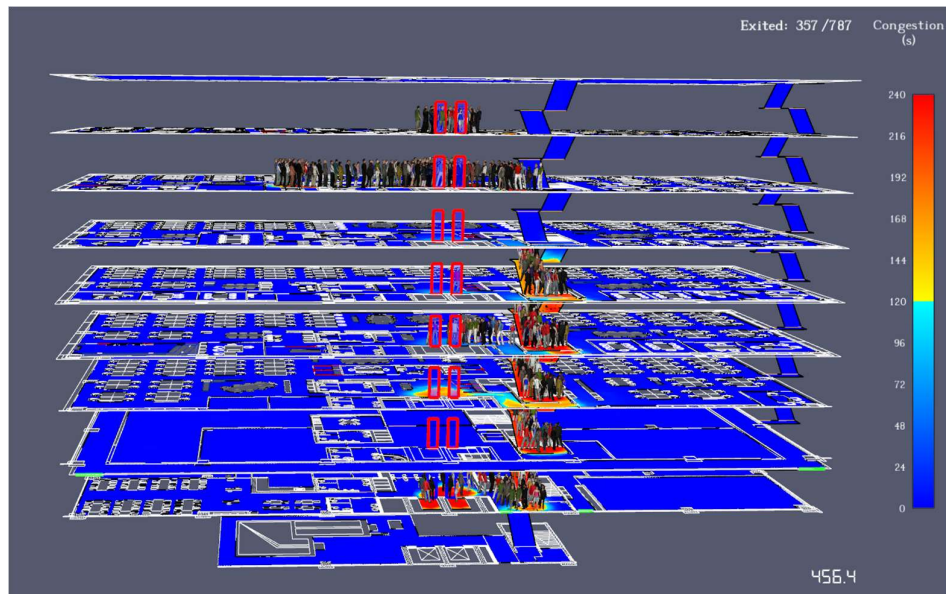


Figura 71 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 2 (com elevadores)

3.3.3. Cenário 3 – Edifício Original com todas as saídas disponíveis (sem e com elevadores)

Neste cenário, pretende-se analisar, sem e com elevadores, o Edifício Original com todas as saídas disponíveis, nomeadamente com as duas Portas de Saída Principal ativas, as duas Portas de Garagem e as duas saídas de emergência do *Data Center* com acesso ao centro comercial no Piso 1. Os resultados obtidos para a variante sem elevadores encontram-se sistematizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados Cenário 3 sem elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	879,9
Tempo total (s)	999,9
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	546,6
Distância Média Percorrida (m)	94,6

Deste modo, conforme se pode observar na Tabela 10, são necessários 999,9 segundos para que a totalidade dos ocupantes abandone a infraestrutura.

Neste sentido, através do gráfico da Figura 72, é possível verificar que a evacuação se processa de forma contínua e linear, com 396 ocupantes a evacuarem o edifício até aos 550 segundos. Assim, é possível concluir que o uso exclusivo da escada viabiliza uma saída constante dos ocupantes.

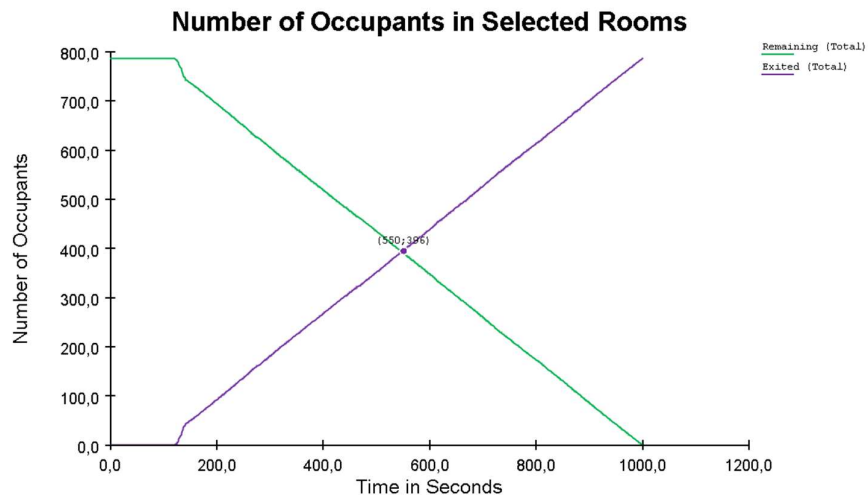


Figura 72 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 3 (sem elevadores)

Adicionalmente, a análise do gráfico do fluxo dos ocupantes nas portas de saída, representado na Figura 73, demonstra que, apesar de todas as portas estarem operacionais, a evacuação concretizou-se maioritariamente pela Porta da Garagem, visto que, é a saída mais próxima da escada corporativa e, conseqüentemente, o caminho mais curto de evacuação para a maioria dos ocupantes. Desta forma, as restantes portas apresentam um índice de utilização reduzido ao longo de toda a evacuação, à exceção do início do movimento, uma vez que contribuem na evacuação dos elementos que já se encontravam nesses pisos de saída.

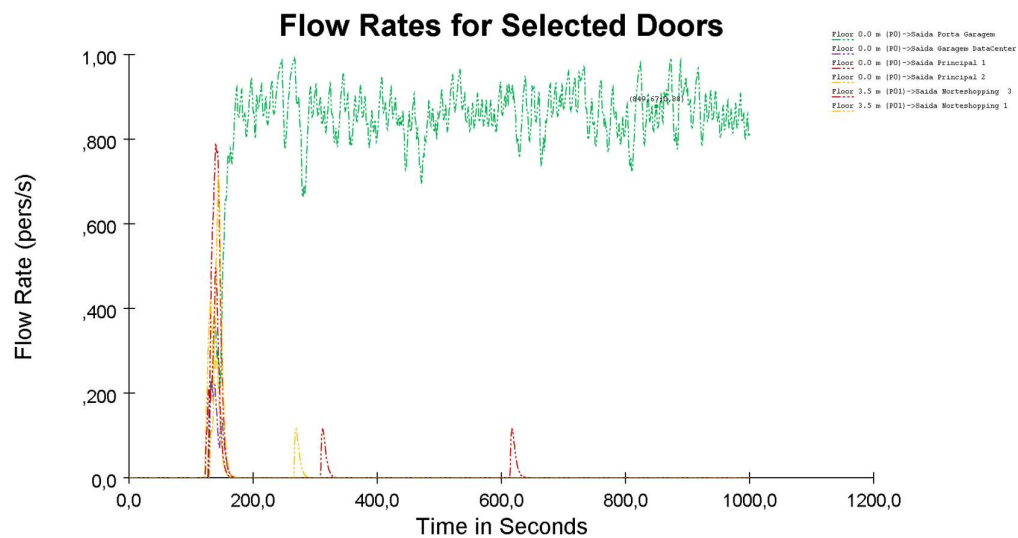


Figura 73 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 3 (sem elevadores)

Por último, através da análise do mapa de congestionamento máximo presente na Figura 74, podemos concluir que, aos 497,1 segundos, a escada corporativa, bem como os seus acessos são as zonas de maior congestionamento.

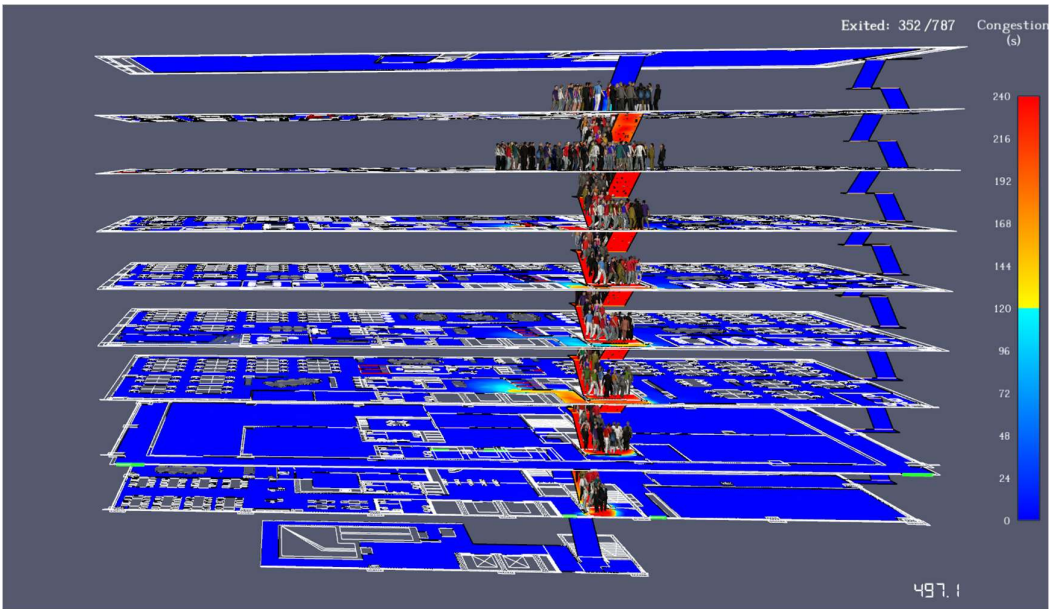


Figura 74 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 3 (sem elevadores)

Seguidamente, procedeu-se à simulação do cenário com a introdução da utilização dos elevadores, no qual os resultados obtidos encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados Cenário 3 com elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [1,2 \text{ m/s}, 1,6 \text{ m/s}] \text{ (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [0,6 \text{ m/s}, 1,0 \text{ m/s}] \text{ (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	1037,3
Tempo total (s)	1157,3
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	495,4
Distância Média Percorrida (m)	65,1

Deste modo, como é ilustrado na Tabela 11, são necessários 1157,3 segundos para que todos os ocupantes evacuem a infraestrutura.

Neste âmbito, através da análise do gráfico da Figura 75, é possível verificar que a evacuação é linear e contínua até aos 700 segundos, momento em que evacuaram 650 ocupantes, visto que, até esse instante, foram utilizados ambos os meios de evacuação. No entanto, a partir desse momento, os restantes ocupantes evacuaram de forma intermitente, o que evidencia o uso exclusivo dos elevadores e, conseqüentemente, o aumento do tempo de evacuação, dado que a escada já se encontrava desimpedida e os restantes elementos optaram por esperar pelos elevadores.

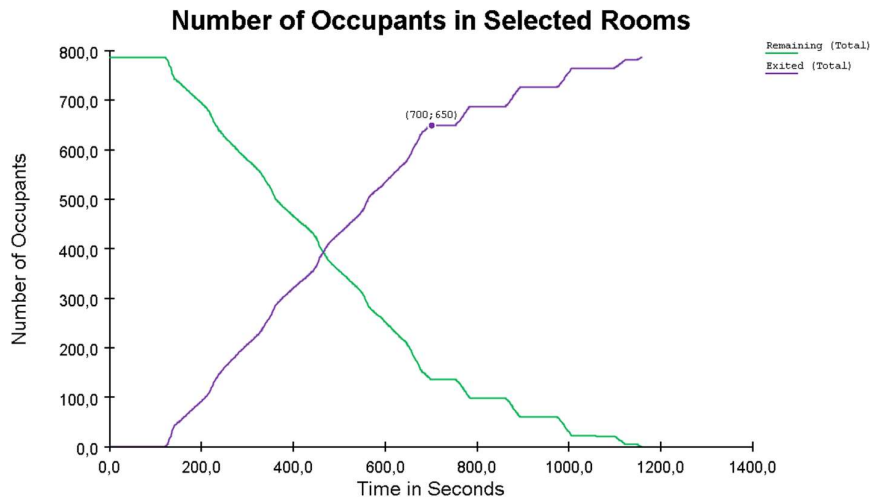


Figura 75 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 3 (com elevadores)

Adicionalmente, o gráfico do fluxo de ocupantes nas portas de saída, presente na Figura 76, confirma que a Porta de Garagem é a mais utilizada pela sua proximidade aos acessos verticais. No entanto, as duas portas de Saídas Principais também possuem registos de alguns ocupantes, de modo a evitar o congestionamento no acesso à saída da Porta de Garagem. Para além disso, é visível no gráfico a mudança de comportamento de afluência à Porta de Garagem aos 700 segundos, devido ao uso exclusivo dos elevadores por parte dos restantes elementos.

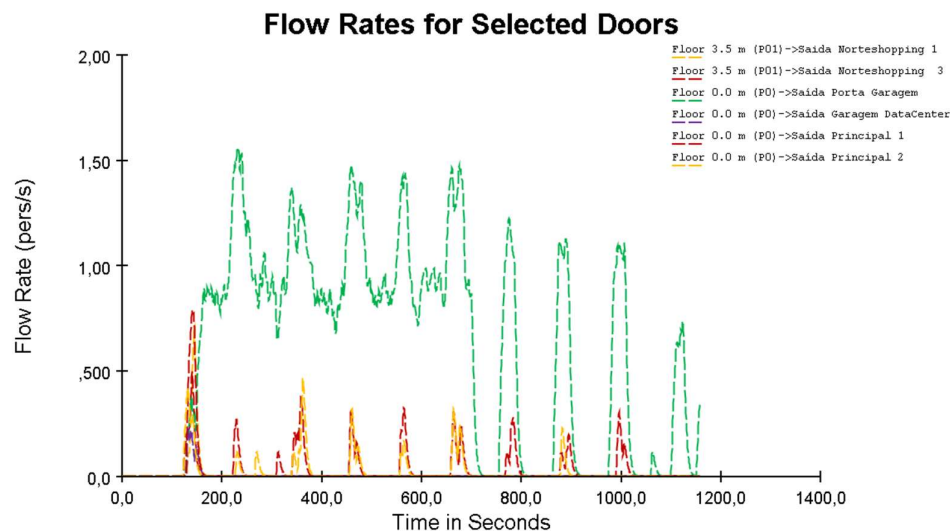


Figura 76 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 3 (com elevadores)

Por último, o mapa de congestionamento máximo visível na Figura 77, indica que, aos 465,6 segundos, as zonas de maior congestionamento são os átrios dos elevadores, principalmente nos pisos 6 e 7, bem como o acesso à escada nos pisos inferiores. Assim, estas zonas constituem o principal entrave uma boa eficiência da simulação, e a um tempo total de evacuação reduzido.

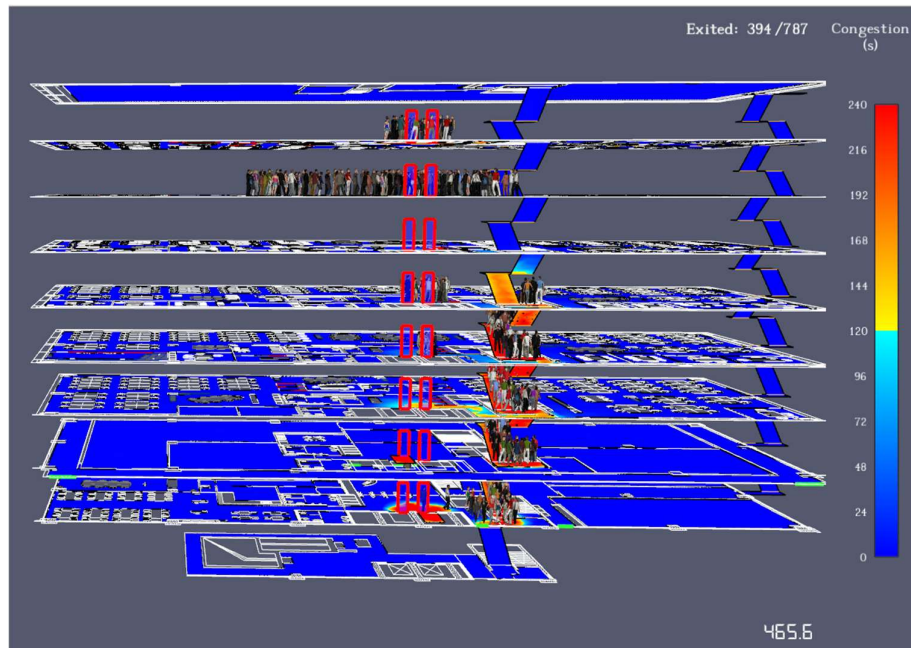


Figura 77 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 3 (com elevadores)

3.3.4. Cenário 4 – Edifício Otimizado apenas com as saídas exteriores disponíveis (sem e com elevadores)

Neste cenário, procedeu-se à análise do Edifício Otimizado, sem e com elevadores, apenas com as saídas exteriores disponíveis, nomeadamente as duas Saídas Principais e a Saída da Escada de Emergência. Deste modo, os resultados obtidos da variante sem elevadores podem ser consultados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados Cenário 4 sem elevadores

$\mu=1,4\text{ m/s } \sigma=0,20\text{ m/s } [1,2\text{ m/s}, 1,6\text{ m/s}]$ (Geral)	
$\mu=0,8\text{ m/s } \sigma=0,20\text{ m/s } [0,6\text{ m/s}, 1,0\text{ m/s}]$ (Mobilidade Reduzida)	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	641
Tempo total (s)	761,0
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	389,5
Distância Média Percorrida (m)	93,5

Desta forma, através da análise da Tabela 12, são necessários 761,0 segundos para que todos os ocupantes evacuem a infraestrutura.

Adicionalmente, através da análise do gráfico da Figura 78, é possível verificar que a evacuação é realizada de forma linear e contínua até aos 400 segundos, momento em que evacuaram 473 ocupantes. Após este instante, é visível uma alteração na inclinação na reta do gráfico, que diz respeito ao momento no qual os ocupantes, que optaram pela escada corporativa, abandonaram o edifício em definitivo e o fluxo passou a ser efetuado exclusivamente pela escada de emergência.

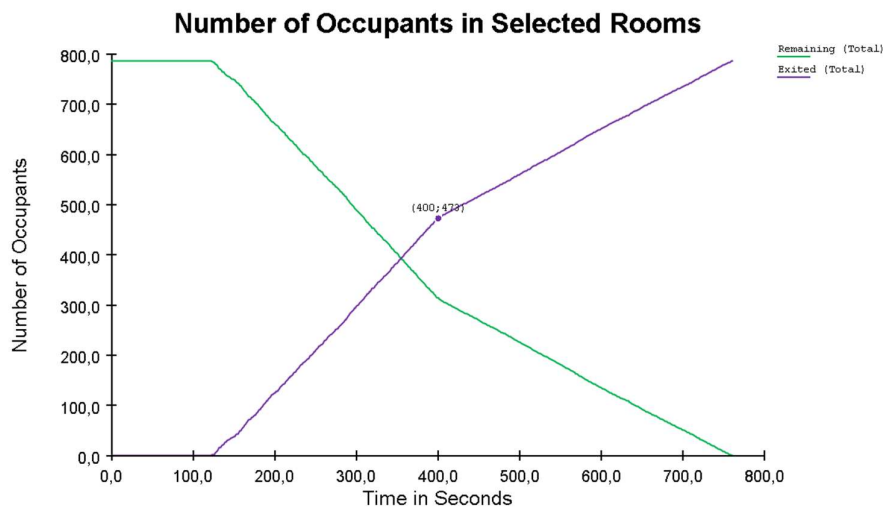


Figura 78 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 4 (sem elevadores)

O gráfico da Figura 79, por sua vez, permite concluir que a Saída da Escada de Emergência assume o papel principal na evacuação, visto ser a saída com maior afluência. Para além disso, é visível que, quanto às saídas originais, a Saída Principal 2 é significativamente mais utilizada do que a Saída Principal 1 devido à sua maior proximidade à escada corporativa.

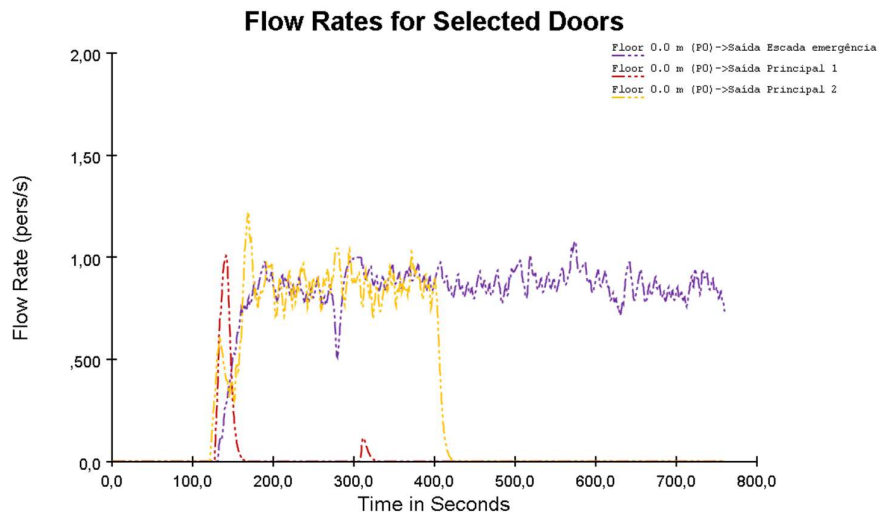


Figura 79 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 4 (sem elevadores)

Por último, o mapa de congestionamento máximo da Figura 80, reflete o estado da infraestrutura aos 468,8 segundos, no qual é possível analisar que a escada corporativa não constitui um entrave à eficiência da evacuação. Não obstante, a escada de emergência, apresenta elevados índices de congestionamento, pelo que, neste cenário, é o principal obstáculo à evacuação.

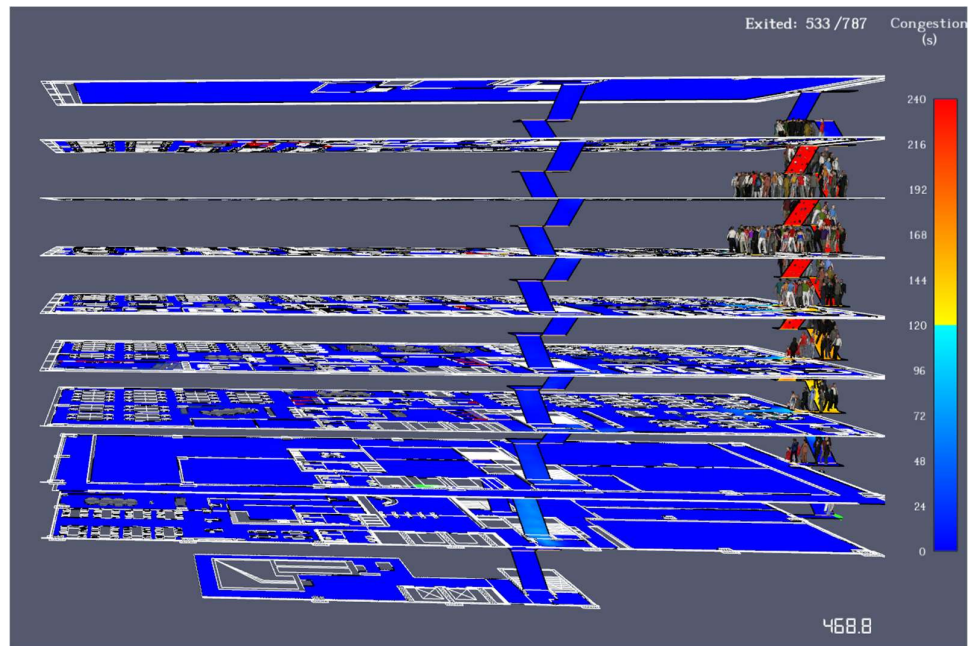


Figura 80 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 4 (sem elevadores)

De seguida, procedeu-se à simulação do cenário com a introdução da utilização de elevadores, no qual os resultados obtidos encontram-se sistematizados na Tabela 13.

Tabela 13- Resultados Cenário 4 com elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [1,2 \text{ m/s, } 1,6 \text{ m/s}] \text{ (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [0,6 \text{ m/s, } 1,0 \text{ m/s}] \text{ (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	1003,4
Tempo total (s)	1123,4
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	458,0
Distância Média Percorrida (m)	62,0

Desta forma, conforme se pode observar pela Tabela 13, são necessários 1123,4 segundos para os 787 ocupantes evacuarem por completo a infraestrutura.

Neste sentido, através da análise do gráfico da Figura 81, verifica-se que a evacuação decorre de forma linear e contínua até aos 624 segundos, instante em que abandonaram o edifício 619 ocupantes. Posteriormente, o gráfico adota uma configuração intermitente, uma vez que, a partir desse instante, ambas as vias pedonais se encontram desimpedidas e a evacuação é exclusivamente realizada através dos 2 elevadores.

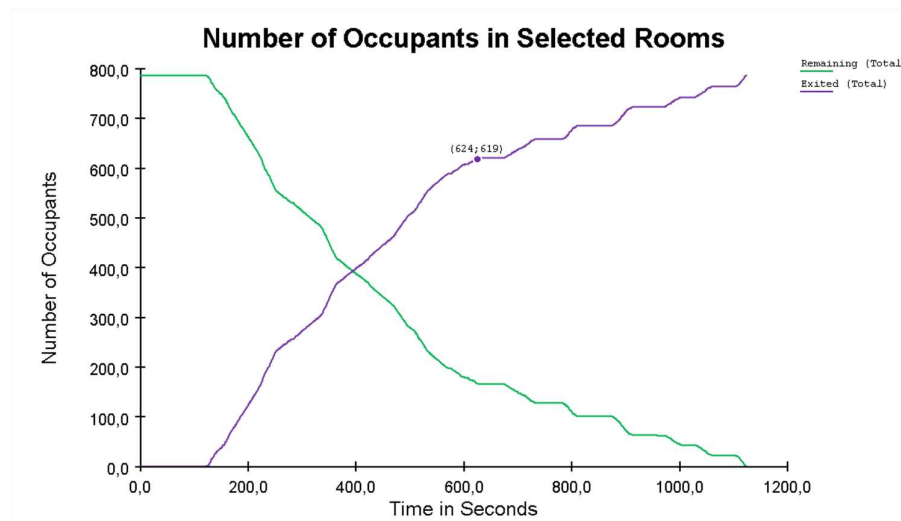


Figura 81 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 4 (com elevadores)

Adicionalmente, o fluxo de ocupantes nas portas de saída, visível no gráfico da Figura 82, demonstra que a utilização da escada corporativa é residual, pelo que a escada de emergência e os elevadores são as opções preferenciais para a maioria dos ocupantes. Para além disso, o gráfico da Figura 82, através dos movimentos cíclicos nas portas de Saídas Principais, permite confirmar que dos 624 segundos até ao final do tempo total de evacuação só foram utilizados os elevadores como meio de deslocação.

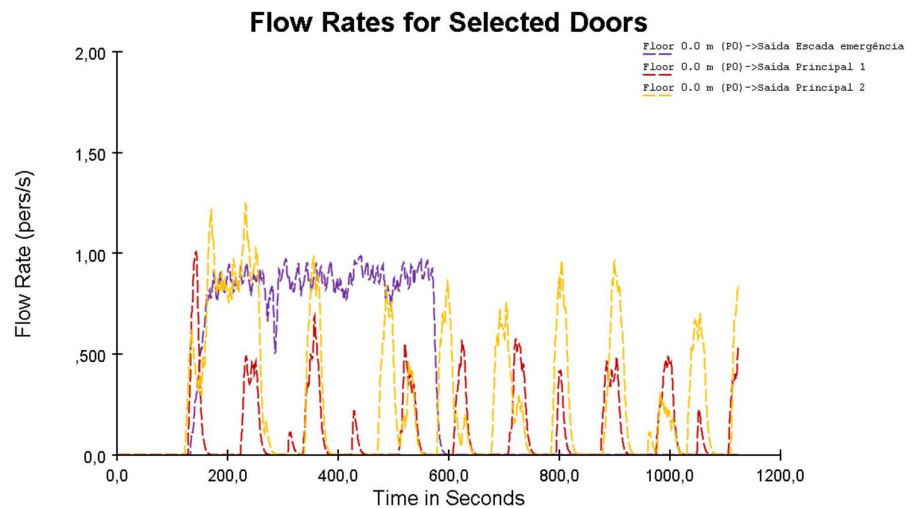


Figura 82 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 4 (com elevadores)

Por último, o mapa de congestionamento máximo aos 425,7 segundos da simulação, ilustrado na Figura 83, evidencia que a escada corporativa não apresenta congestionamento, em contraste com a escada de emergência, uma vez que tem uma maior afluência. Adicionalmente, existe um congestionamento moderado nos átrios dos elevadores, concretamente nos Pisos 5 e 6.

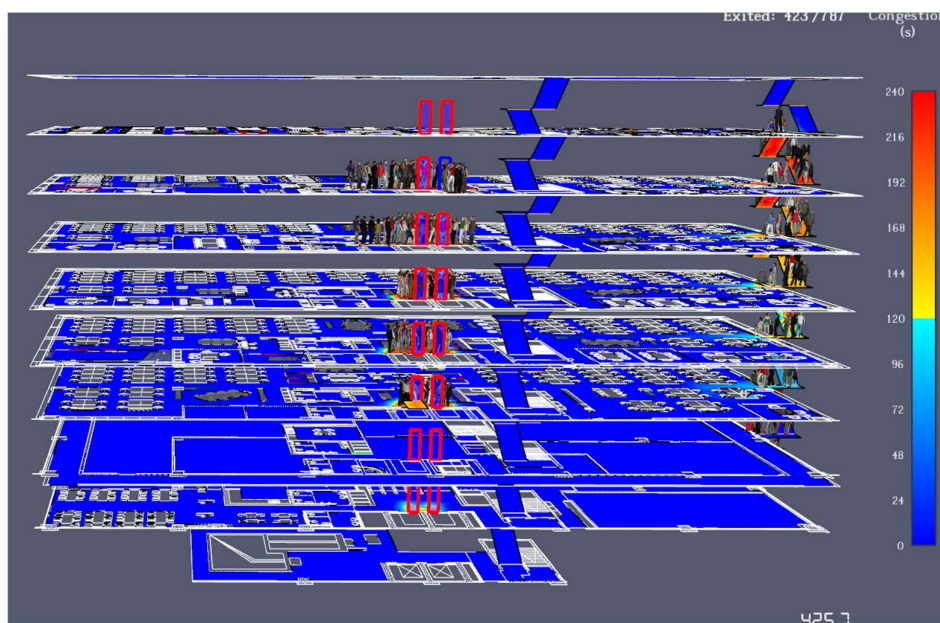


Figura 83 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 4 (com elevadores)

3.3.5. Cenário 5 – Edifício Otimizado com as saídas principais bloqueadas (sem e com elevadores)

Neste cenário, pretendeu-se avaliar o desempenho do Edifício Otimizado com o bloqueio das duas Saídas Principais, sem e com o uso dos elevadores. Deste modo, a evacuação é assegurada pelas duas portas de garagem, sendo uma delas acessível através do *Data Center*, pelas duas portas do Piso 1 com acesso ao centro comercial e pela Saída da Escada de Emergência no Piso 0.

Os resultados obtidos para a variante sem elevadores encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados Cenário 5 sem elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [1,2 \text{ m/s}, 1,6 \text{ m/s}]$ (Geral)	
$\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [0,6 \text{ m/s}, 1,0 \text{ m/s}]$ (Mobilidade Reduzida)	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	542,7
Tempo total (s)	662,7
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	357,0
Distância Média Percorrida (m)	81,8

Assim, tendo por base a análise da Tabela 14, o tempo total necessário para a evacuação do edifício é de 662,7 segundos.

Neste âmbito, através da análise do gráfico da Figura 84, conclui-se que a evacuação decorre de forma linear e contínua até aos 484 segundos, momento em que os ocupantes que optaram pela escada de emergência abandonaram o edifício. Assim, a partir desse instante, a evacuação passou a ser assegurada exclusivamente pela escada corporativa até ao final do tempo de evacuação, o que resultou numa alteração na inclinação da reta do gráfico.

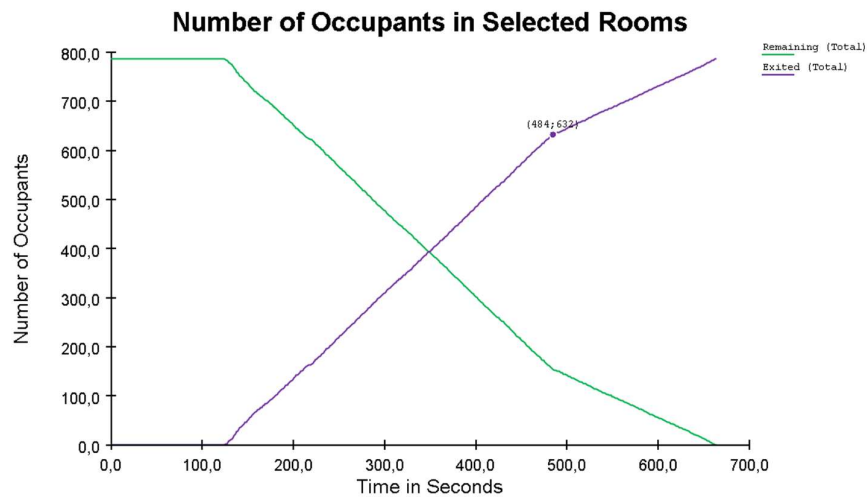


Figura 84 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 5 (sem elevadores)

No que diz respeito ao gráfico do fluxo de ocupantes nas portas de saída do edifício, presente na Figura 85, é visível que a evacuação dos ocupantes através da escada de emergência cessa aos 484 segundos, como referido anteriormente, enquanto a Porta da Garagem apresenta um volume constante até ao final do tempo de evacuação. Para além disso, é notório a pouca utilização das restantes saídas, visto que possuem restrições para a maioria dos ocupantes.

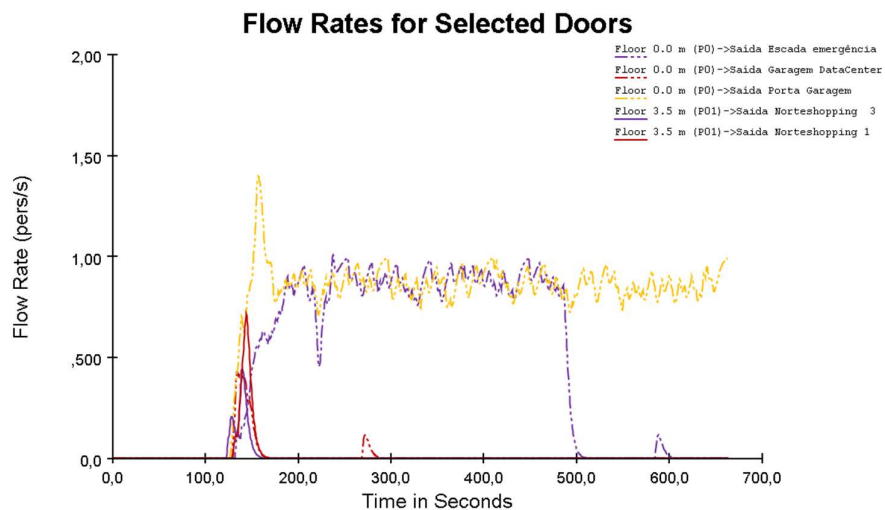


Figura 85 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 5 (sem elevadores)

Por último, o mapa de congestionamento máximo na Figura 86, permite, ao aferir o estado do edifício aos 400 segundos, evidenciar que a escada corporativa apresenta um maior congestionamento do que a escada de emergência, como expectável dada a utilização de ambas as vias pedonais.

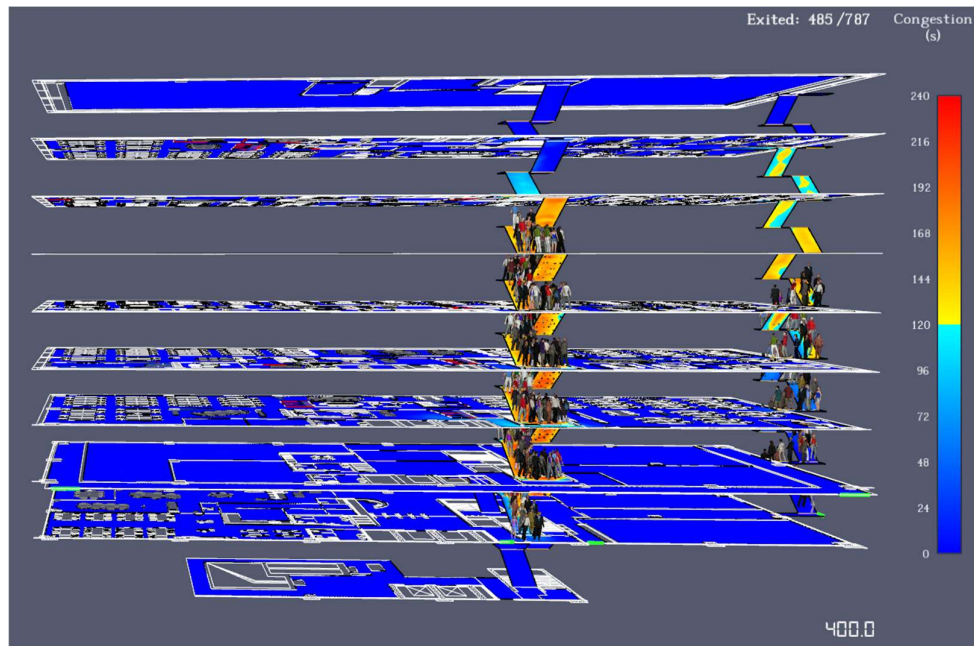


Figura 86 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 5 (sem elevadores)

Seguidamente, procedeu-se à simulação do cenário com a introdução da utilização de elevadores, no qual os resultados obtidos encontram-se sistematizados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados Cenário 5 com elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	543,5
Tempo total (s)	663,5
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	339,3
Distância Média Percorrida (m)	63,7

Deste modo, conforme se pode observar na Tabela 15, são necessários 663,5 segundos para evacuar totalmente o edifício.

Neste sentido, através da análise do gráfico da Figura 87, a evacuação decorre de forma linear e contínua até aos 506 segundos, momento em que evacuaram 715 ocupantes. Assim, a partir desse momento, os restantes elementos utilizaram somente os elevadores para a sua deslocação, pelo que as vias pedonais se encontravam desimpedidas.

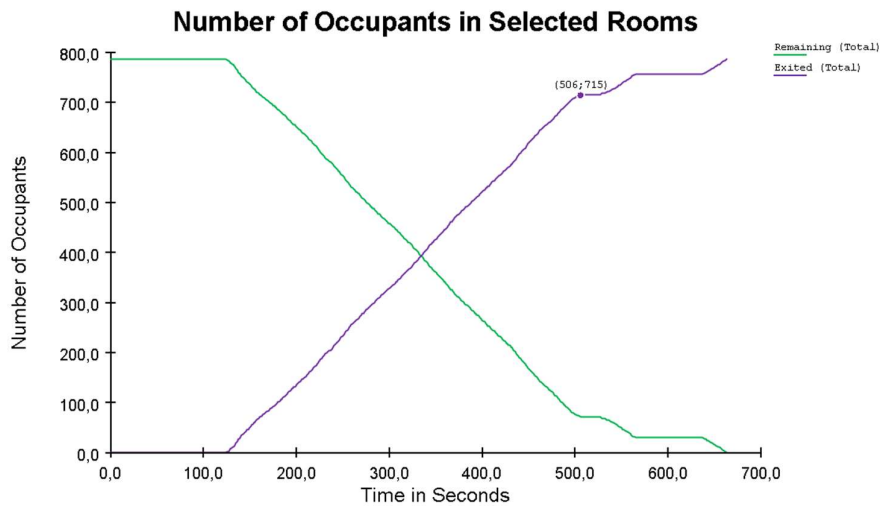


Figura 87 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 5 (com elevadores)

Adicionalmente, o fluxo de ocupantes nas portas de saída, visível no gráfico da Figura 88, demonstra que a Saída da Escada de Emergência, apresenta um fluxo constante até aos 506 segundos, como referido anteriormente. Para além disso, a Porta de Garagem é a saída mais utilizada, visto ser a única saída disponível para a generalidade dos ocupantes que optem pela escada corporativa e pelos elevadores.

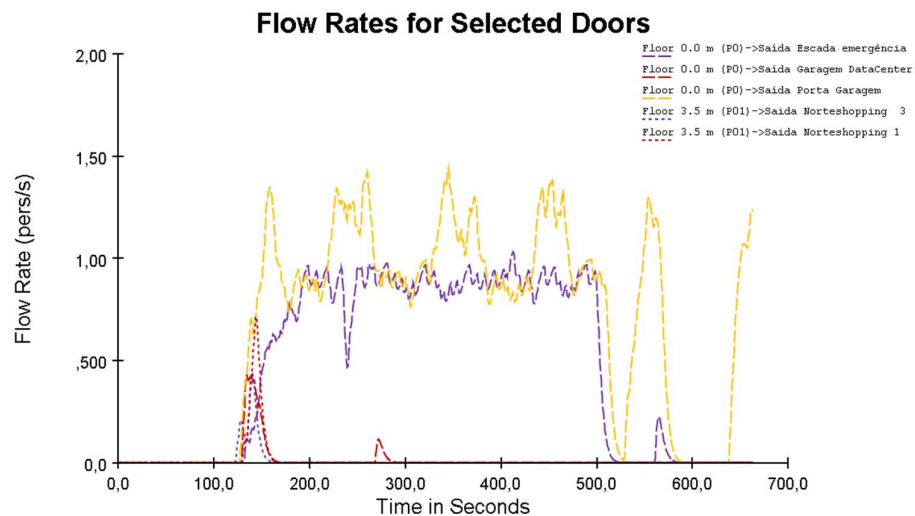


Figura 88 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 5 (com elevadores)

O mapa de congestionamento máximo, ilustrado na Figura 89, permite concluir que, aos 362,1 segundos, existem poucas zonas de congestionamento, ainda que existem zonas ligeiramente afetadas, nomeadamente o acesso à escada de emergência nos pisos 5, 6 e 7, a escada corporativa nos pisos inferiores e o acesso aos elevadores nos Pisos 6 e 7.

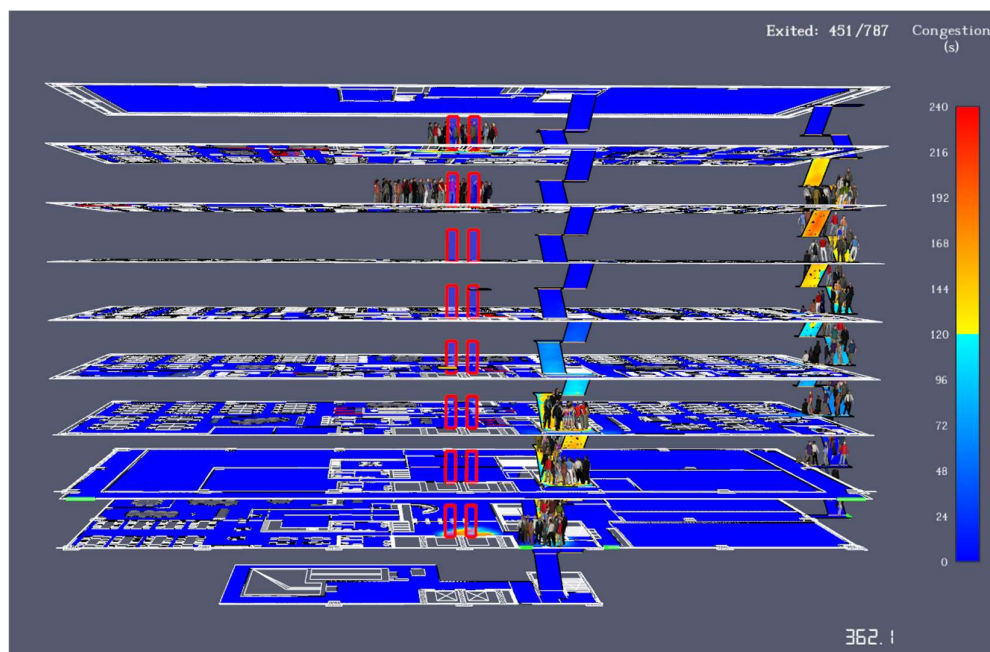


Figura 89 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 5 (com elevadores)

3.3.6. Cenário 6 – Edifício Otimizado com todas as saídas disponíveis (sem e com elevadores)

Neste cenário, pretende-se analisar, sem e com elevadores, a eficiência da evacuação do Edifício Otimizado com todas as suas saídas disponíveis, nomeadamente as duas Saídas Principais, as duas Portas de Garagem, as duas portas de acesso ao centro comercial no Piso 1 e a Saída da Escada de Emergência.

Deste modo, os resultados para a variante sem elevadores encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados Cenário 6 sem elevadores

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [1,2 \text{ m/s}, 1,6 \text{ m/s}]$ (Geral)	
$\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s } [0,6 \text{ m/s}, 1,0 \text{ m/s}]$ (Mobilidade Reduzida)	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	550,2
Tempo total (s)	670,2
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	357,3
Distância Média Percorrida (m)	81,6

Desta forma, como é possível observar através da análise da Tabela 16, o tempo total necessário para a evacuação completa do edifício é de 670,2 segundos.

Neste sentido, através da análise do gráfico da Figura 90, a evacuação decorre de forma linear e contínua até aos 475 segundos, momento em que já evacuaram 620 ocupantes. Assim, a partir desse instante, verifica-se uma alteração na inclinação da reta do gráfico, visto que a saída dos restantes elementos é assegurada exclusivamente pela escada corporativa, visto que os ocupantes que optaram pela escada da saída de emergência já evacuaram o edifício.

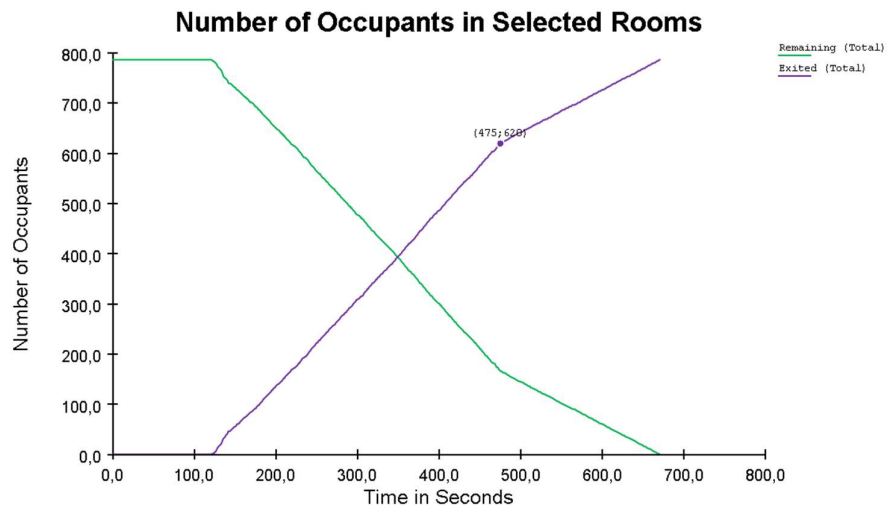


Figura 90 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 6 (sem elevadores)

Adicionalmente, o fluxo de ocupantes nas portas de saída, visível no gráfico da Figura 91, evidencia que a Saída da Escada de Emergência cessa a sua atividade aos 475 segundos, como mencionado anteriormente. Para além disso, a Porta de Garagem possui um fluxo de ocupantes constante ao longo de todo o tempo de evacuação, em contraste com as restantes saídas que apresentam uma utilização residual.

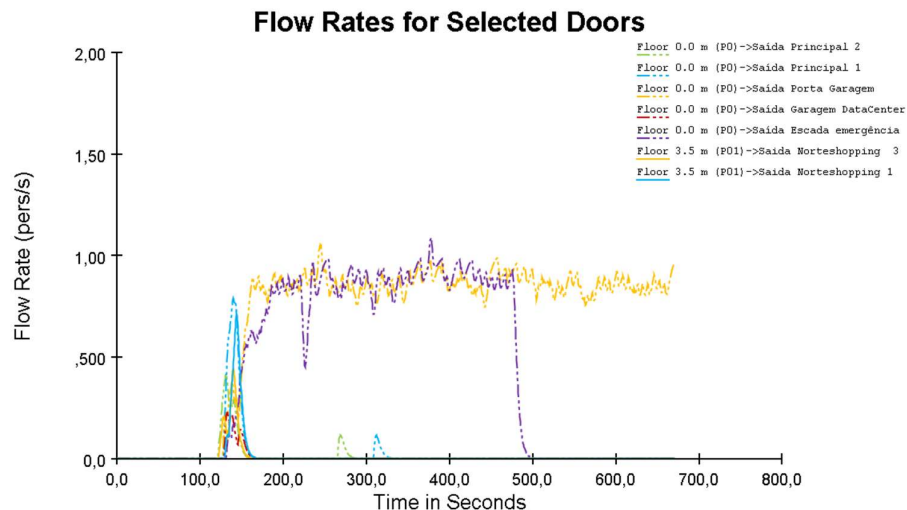


Figura 91 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 6 (sem elevadores)

Por último, o mapa de congestionamento máximo, aos 396,8 segundos, ilustrado na Figura 92, corrobora as observações referidas anteriormente, uma vez que é visível um maior congestionamento da escada corporativa em relação à escada de emergência. Assim, a sua maior utilização, aliada ao fator de congestionamento, implica que esta seja a última a ser evacuada e, por isso, que a Porta de Garagem tenha um fluxo contínuo ao longo de toda a evacuação.

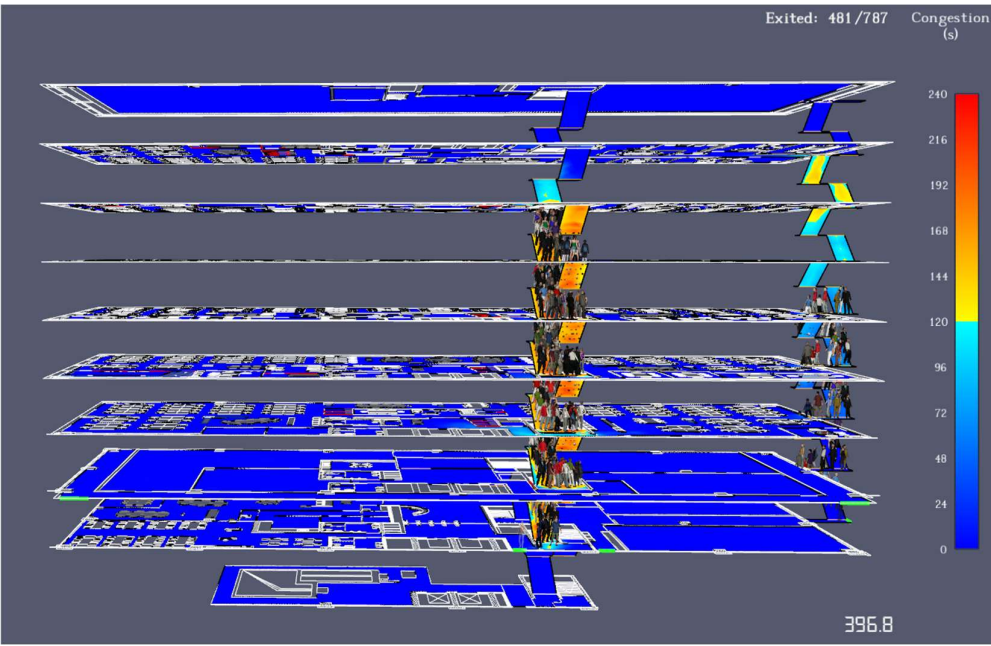


Figura 92- Mapa de Congestionamento máximo Cenário 6 (sem elevadores)

De seguida, procedeu-se à simulação do cenário com a introdução dos elevadores, no qual os resultados encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados Cenário 6 com elevadores

$\mu=1,4\text{ m/s } \sigma=0,20\text{ m/s } [1,2\text{ m/s, } 1,6\text{ m/s}]$ (Geral)	
$\mu=0,8\text{ m/s } \sigma=0,20\text{ m/s } [0,6\text{ m/s, } 1,0\text{ m/s}]$ (Mobilidade Reduzida)	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	539,5
Tempo total (s)	659,5
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	333,7
Distância Média Percorrida (m)	63,3

Deste modo, conforme se observa na Tabela 17, são necessários 659,5 segundos para evacuar totalmente todos os ocupantes do edifício.

Neste âmbito, através da análise do gráfico da Figura 93, observa-se que a evacuação assume uma configuração linear e contínua até aos 502 segundos, momento no qual 719 ocupantes evacuaram o edifício. Posteriormente, após esse instante, os restantes elementos evacuaram o edifício somente através dos elevadores, como demonstra a intermitência na parte final do gráfico.

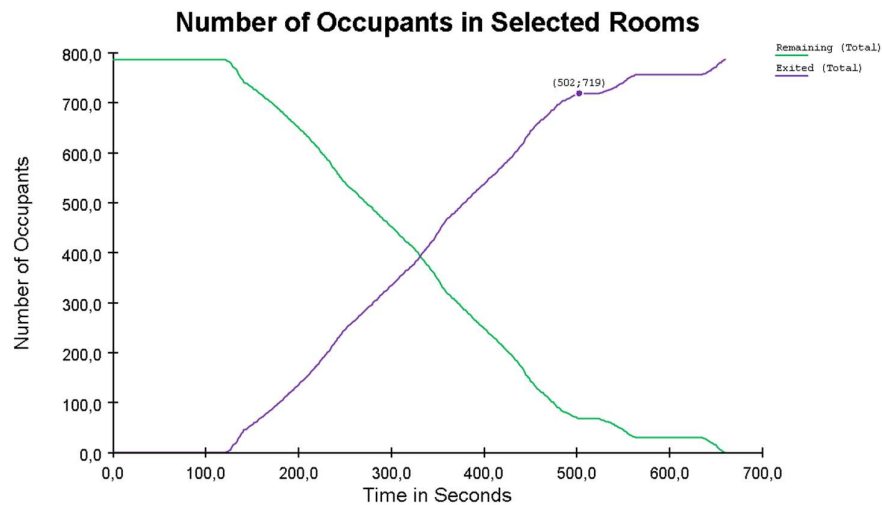


Figura 93 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 6 (com elevadores)

Adicionalmente, o fluxo de ocupantes nas portas de saída do edifício, visível no gráfico da Figura 94, evidencia o fluxo constante na Saída da Escada de Emergência até aos 502 segundos, conforme mencionado anteriormente, da mesma forma que permite aferir que a Porta de Garagem é a saída com maior utilização. Por sua vez, as restantes saídas apresentam uma utilização pouca significativa, com a maior intensidade a ser registada nos instantes iniciais.

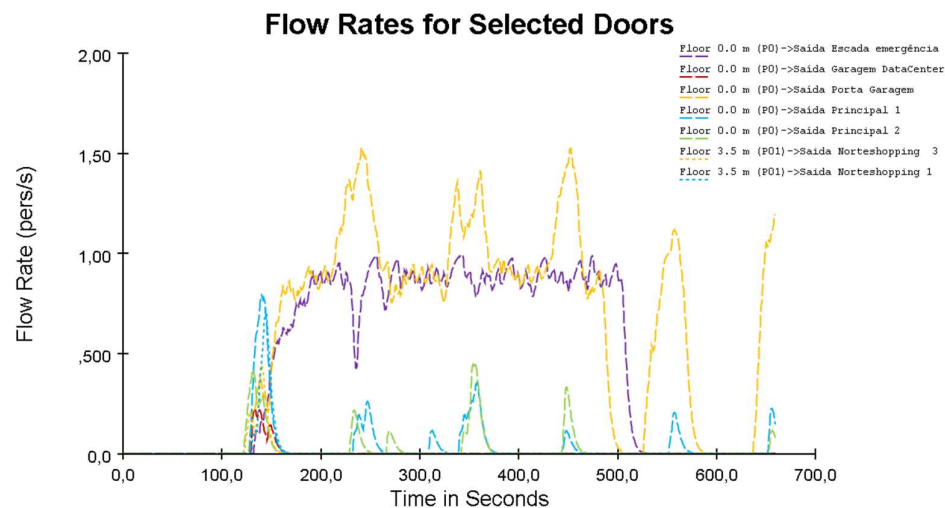


Figura 94 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 6 (com elevadores)

Por último, o mapa de congestionamento máximo da Figura 95, permite, aos 400,0 segundos, uma constatação visual do sucedido no modelo computacional, no qual não há registo de elevadas zonas de congestionamento. Não obstante, os átrios dos elevadores, nomeadamente nos pisos 6 e 7, bem como pequenas zonas das vias pedonais apresentam alguns sinais de congestionamento.

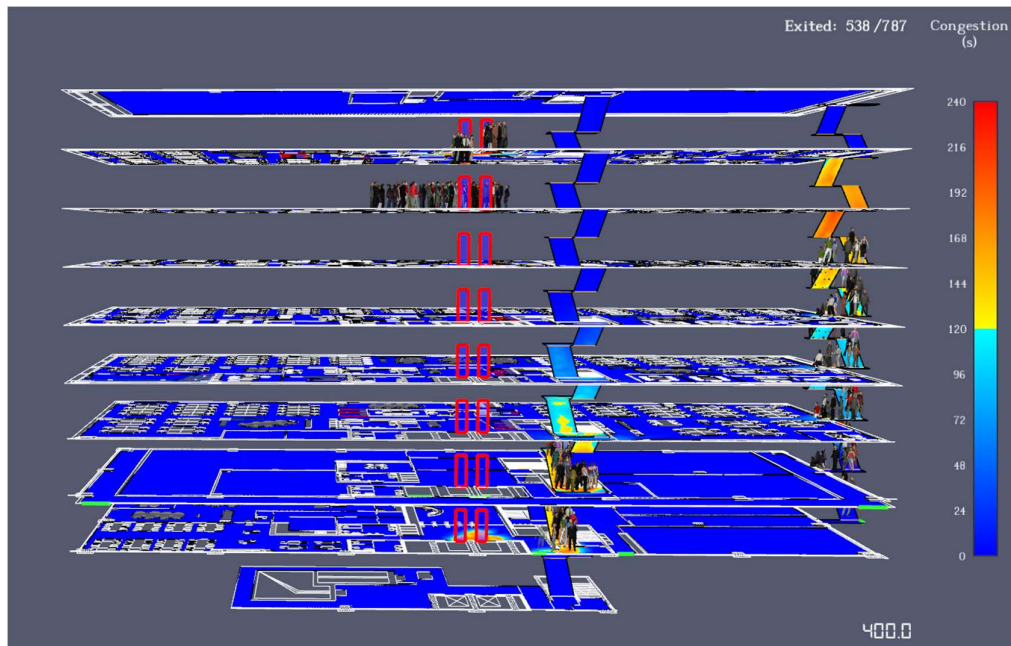


Figura 95 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 6 (com elevadores)

3.3.7. Cenário 7 – Edifício Otimizado com a escada Corporativa do Piso 4 inutilizadas devido a Incêndio

Neste cenário, procedeu-se à simulação de uma emergência de incêndio no qual a escada corporativa de acesso ao Piso 4 se encontra inacessível devido à propagação de fumo. Assim, uma vez que existe indícios de fogo, a simulação é exclusivamente realizada pelas vias pedonais.

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados Cenário 7

$\mu=1,4 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [1,2 m/s, 1,6 m/s] (Geral)}$ $\mu=0,8 \text{ m/s } \sigma=0,20 \text{ m/s [0,6 m/s, 1,0 m/s] (Mobilidade Reduzida)}$	
Tempo de pré-evacuação (s)	120
Tempo de evacuação (s)	616,6
Tempo total (s)	736,6
Tempo Médio de Evacuação das Pessoas (s)	377,1
Distância Média Percorrida (m)	91,6

Deste modo, conforme é visível na Tabela 18, o tempo total necessário para a evacuação do edifício é de 736,6 segundos.

Neste sentido, através da análise do gráfico da Figura 96, a evacuação decorre de forma linear e contínua até aos 405 segundos, instante que já evacuaram 493 ocupantes. Assim, após esse momento, verifica-se uma alteração na inclinação da reta do gráfico, visto que os elementos que optaram pela escada corporativa, nomeadamente os elementos dos pisos inferiores ao Piso 4, já evacuaram o edifício, pelo que a restante evacuação encontra-se assegurada exclusivamente pela escada de emergência.

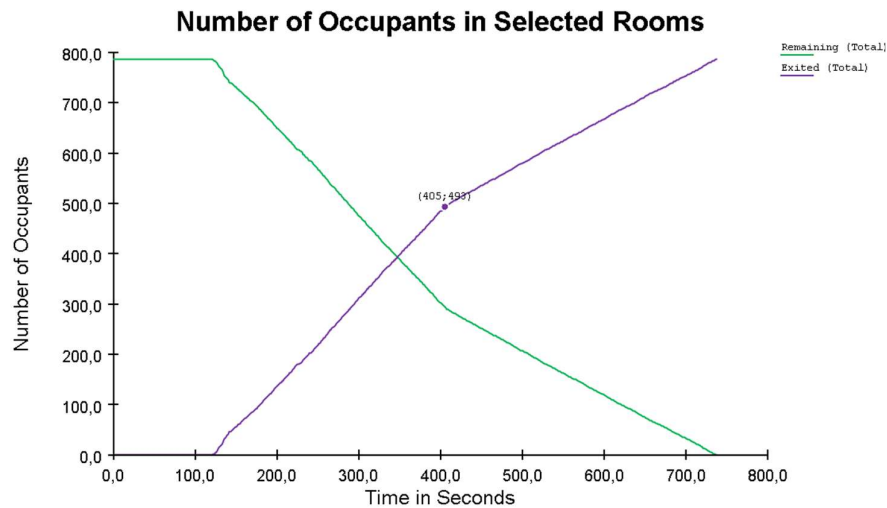


Figura 96 - Evolução Número de Ocupantes Cenário 7

Adicionalmente, o fluxo de ocupantes nas portas de saída, visível no gráfico da Figura 97, evidencia que a Porta de garagem cessa a sua atividade aos 405 segundos, visto que a escada corporativa já se encontra evacuada, conforme mencionado anteriormente. Para além disso, o gráfico permite concluir que a Saída da Escada de Emergência assume um fluxo constante, até ao final do tempo total de evacuação, da mesma forma que é visível que não há a transição de elementos que se encontram na escada de emergência para a escada corporativa.

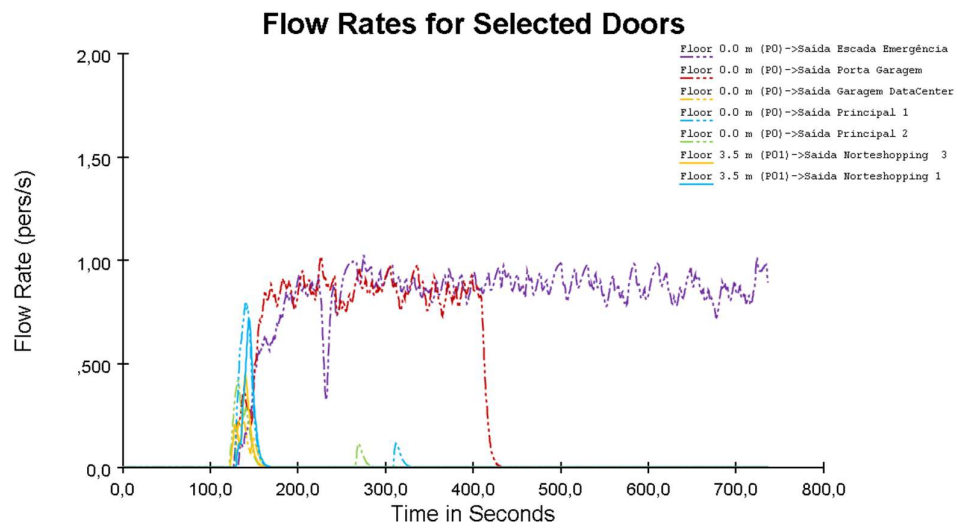


Figura 97 - Evolução do fluxo de ocupantes nas Portas de Saída Cenário 7

Por último, o mapa de congestionamento máximo da Figura 98, ilustra o estado do edifício aos 519,4 segundos, no qual a escada corporativa não apresenta elevadas zonas de congestionamento, em contraste com a escada de emergência, que, nos pisos superiores ao Piso 4, apresenta um elevado índice de congestionamento, visto ser a única via possível neste cenário.

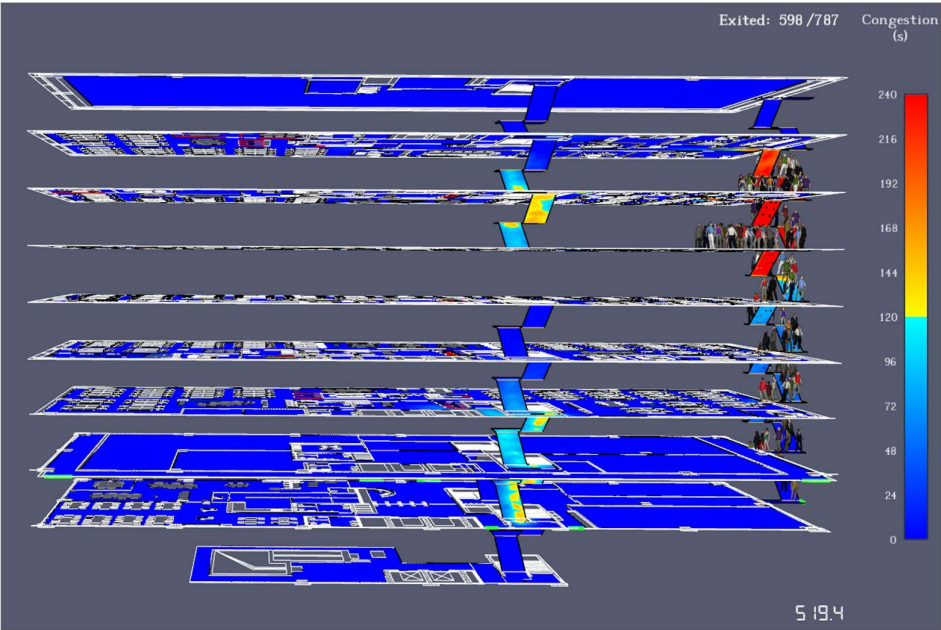


Figura 98 - Mapa de Congestionamento máximo Cenário 7

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo, é realizada a análise dos resultados obtidos de todos os cenários simulados no *software Pathfinder*, de forma a conceber a influência de cada variável no desempenho da evacuação, bem como validar as medidas de otimização propostas.

Primeiramente, no subcapítulo inicial, são expressos os resultados quantitativos do tempo total necessário para a evacuação do edifício, que permite fundamentar a análise do desempenho de cada cenário, tendo por base as saídas disponíveis e possibilidade do uso dos elevadores. Posteriormente, realiza-se uma comparação direta entre o Edifício Original e o Edifício Otimizado, de modo a constatar a importância da adição realizada à infraestrutura. Por último, procedeu-se à análise do Cenário 7, de forma a aferir a capacidade de resposta da infraestrutura a um contexto de incêndio.

4.1. Apresentação de resultados

Neste subcapítulo, como mencionado anteriormente, apresenta-se o tempo total de evacuação de todos os cenários para ambas as variantes, com e sem elevadores. Os resultados encontram-se sintetizados na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultados de Todos os Cenários

Configuração	Estratégias	Descrição	Variante	Resultados (s)
Edifício Original	Cenário 1	Apenas as 2 Saídas Principais Ativas	Sem elevadores	1008,1
			Com elevadores	1369,1
	Cenário 2	Com as 2 Saídas Principais Bloqueadas	Sem elevadores	1006,3
			Com elevadores	1170,9
	Cenário 3	Todas as Saídas Disponíveis	Sem elevadores	999,9
			Com elevadores	1157,3

Tabela 19 - Resultados Todos os Cenários (cont.)

Configuração	Estratégias	Descrição	Variante	Resultados (s)
Edifício Otimizado	Cenário 4	Apenas as 2 Saídas Principais Ativas e a Escada de Emergência	Sem elevadores	761,0
			Com elevadores	1123,4
	Cenário 5	Com as 2 Saídas Principais Bloqueadas e a Escada de Emergência	Sem elevadores	662,7
			Com elevadores	663,5
	Cenário 6	Todas as Saídas Disponíveis e a Escada de Emergência	Sem elevadores	670,2
			Com elevadores	659,5
	Cenário 7	Escada corporativa do Piso 4 inutilizada devido a incêndio	Sem elevadores	736,6

4.2. Discussão de resultados

Tendo por base os resultados obtidos e sintetizados anteriormente, procedeu-se, ao longo deste subcapítulo, à sua discussão e interpretação. Neste sentido, pretende-se estabelecer uma relação entre as variáveis e os tempos de evacuação, de modo a discernir a configuração ideal para a evacuação do edifício.

4.2.1. Análise de Desempenho e Variáveis de Saída sem Elevadores

Nos cenários de evacuação sem a utilização dos elevadores, pretendeu-se analisar o impacto das diversas saídas nos tempos de evacuação, de modo a identificar a correlação entre a sua localização e a eficiência de evacuação. Deste modo, relativamente ao Edifício Original, são visíveis, na Tabela 20, as diferenças no tempo total dos Cenários 2 e 3 em relação ao Cenário 1, bem como a respetiva variação percentual.

Tabela 20 - Comparação Cenários Edifício Original (sem elevadores)

Cenário	Tempo Total (s)	Diferença (s)	Variação (%)
Cenário 1 (sem elevadores)	1008,1	-	-
Cenário 2 (sem elevadores)	1006,3	- 1,8	- 0,18
Cenário 3 (sem elevadores)	999,9	- 8,2	- 0,81

A análise dos resultados sintetizados na Tabela 20, permite concluir que o aumento do número de saídas disponíveis resulta numa ligeira redução nos tempos de evacuação, visto que, a maior diferença é entre os cenários 1 e 3, no qual há uma redução de 8,2 segundos, correspondente a 0,81% de variação. Deste modo, estas diferenças reduzidas demonstram que a capacidade de evacuação do edifício é condicionada pela escada corporativa e respetivos acessos, ao invés de congestionamentos nos pisos de saída.

Por sua vez, relativamente ao Edifício Otimizado, as diferenças no tempo de evacuação e a respetiva variação percentual, face ao Cenário 4, são sintetizadas na Tabela 21.

Tabela 21 - Comparação Cenários Edifício Otimizado (sem elevadores)

Cenário	Tempo Total (s)	Diferenças (s)	Variação (%)
Cenário 4 (sem elevadores)	761,0	-	-
Cenário 5 (sem elevadores)	662,7	- 98,3	- 12,92
Cenário 6 (sem elevadores)	670,2	- 90,8	- 11,93

A análise dos dados da Tabela 21, evidencia uma melhoria substancial de 12,92% entre os Cenários 4 e 5, uma vez que, a utilização da Porta de Garagem, ativa no Cenário 5, mobiliza diversos ocupantes a utilizar a escada corporativa em detrimento da escada de emergência devido à sua proximidade, o que não ocorre com frequência no Cenário 4, dada a distância entre a escada corporativa e as duas portas das Saídas Principais. Assim, ao equilibrar os fluxos entre ambas as vias pedonais, reduz-se, consequentemente, o tempo total de evacuação.

Adicionalmente, o Cenário 6, embora possua todas as saídas existentes no Edifício Otimizado, ao invés do que era expectável, apresenta um tempo superior em 7,5 segundos relativamente ao cenário 5, pelo que se conclui que a adição das Portas de Saída Principais, ainda que com uma variação pouco significativa de 0,99%, é prejudicial ao tempo de evacuação na variante de Edifício Otimizado.

4.2.2. Influência da Utilização dos Elevadores

De modo a quantificar o impacto da utilização dos elevadores nos diversos cenários, procedeu-se à comparação direta dos tempos de evacuação, cujos resultados e respetivas diferenças e variações podem ser observadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Comparação de tempos: sem elevadores Vs. com elevadores

Cenário	Tempo s/ elevadores (s)	Tempo c/ elevadores (s)	Diferença (s)	Variação (%)
1	1008,1	1369,1	361,0	35,81
2	1006,3	1170,9	164,6	16,36
3	999,9	1157,3	157,4	15,74
4	761,0	1123,4	362,4	47,62
5	662,7	663,5	0,8	0,12
6	670,2	659,5	- 10,7	- 1,60

Neste sentido, através da análise da Tabela 22, é possível verificar que o uso dos elevadores aumenta significativamente o tempo total de evacuação na generalidade dos cenários, uma vez que os ocupantes optam por esperar pelos elevadores, ao invés de evacuarem o edifício pelas vias pedonais que se encontram desimpedidas. Desta forma, os Cenários 1 e 4 apresentam as discrepâncias mais acentuadas, com variações de 35,81% e 47,62%, respetivamente, visto que a ausência da Porta de Garagem influencia negativamente os tempos de evacuação, na medida em que a maior distância a percorrer até às duas Portas de Saída Principais desincentiva os ocupantes a utilizar a escada corporativa e leva-os a optar por esperar pelos elevadores.

Não obstante, nos Cenários 2 e 3, com a possibilidade de utilização da Porta de Garagem, a variação percentual é consideravelmente menor, situando-se por volta dos 16%, visto que há mais ocupantes a optarem pela escada corporativa, ao invés de esperarem pelos elevadores nos átrios de cada piso. Adicionalmente, o Cenário 5 apresenta uma variação residual de 0,12%, pelo que se conclui que a utilização dos elevadores neste cenário não é significativamente prejudicial no tempo total de evacuação.

Por último, o Cenário 6 revela uma melhoria de 1,60% no tempo total de evacuação com a utilização dos elevadores, sendo o único cenário simulado que, ainda que seja pouco significativo, beneficia do seu uso. Desta forma, ao longo do cenário, as variáveis de saída do edifício permitem que o fluxo de ocupantes se distribua harmoniosamente pelas vias pedonais e pelos elevadores, de modo a evitar congestionamentos e reduzir 10,7 segundos do tempo final de evacuação, comparativamente à variante sem elevadores.

4.2.3. Edifício Original vs. Edifício Otimizado

De modo a quantificar o impacto real da introdução da nova escada de emergência no edifício, procedeu-se ao confronto direto entre os cenários homólogos designados. Desta forma, é possível assegurar que as variações nos tempos de evacuação resultam, exclusivamente, da adição da escada de emergência e, consequentemente, da redistribuição do fluxo de ocupantes pelas diferentes vias de acesso.

Neste sentido, os resultados e respetivas diferenças e variações percentuais, dos cenários sem elevadores, encontram-se sintetizados na Tabela 23.

Tabela 23 - Comparação Edifício Original Vs. Edifício Otimizado (sem elevadores)

Cenários (sem elevadores)	Edifício Original (s)	Edifício Otimizado (s)	Diferença (s)	Variação (%)
Cenário 1 Vs. Cenário 4	1008,1	761,0	- 247,1	- 24,51
Cenário 2 Vs. Cenário 5	1006,3	662,7	- 343,6	- 34,15
Cenário 3 Vs. Cenário 6	999,9	670,2	- 329,7	- 32,98

A análise dos resultados da Tabela 23, permite verificar que a introdução da nova escada de emergência resulta numa redução média superior a 30% do tempo total de evacuação, sendo que a variação máxima ocorre nos cenários 2 e 5, com uma redução de 34,15%. Desta forma, o Edifício Otimizado permite que haja uma redução do congestionamento na escada corporativa do edifício, em relação ao Edifício Original, visto que possibilita a divisão do fluxo de ocupantes pelas duas vias pedonais.

Para além disso, os resultados permitem concluir que a adição da escada de emergência é um fator preponderante na evacuação face ao número de saídas disponíveis, uma vez que, o Cenário 4, apesar de dispor apenas das duas Portas de Saída Principais, o facto de possuir a escada de emergência assegura um resultado inferior em 238,9 segundos ao Cenário 3, que possui todas as saídas disponíveis do Edifício Original.

Por sua vez, no que diz respeito aos cenários com elevadores, os resultados obtidos e respetivas diferenças e variações percentuais encontram-se sintetizados na Tabela 24.

Tabela 24 - Comparação Edifício Original Vs. Edifício Otimizado (com elevadores)

Cenários (com elevadores)	Edifício Original (s)	Edifício Otimizado (s)	Diferença (s)	Variação (%)
Cenário 1 Vs. Cenário 4	1369,1	1123,4	- 245,7	- 17,95
Cenário 2 Vs. Cenário 5	1170,9	663,5	-507,4	- 43,33
Cenário 3 Vs. Cenário 6	1157,3	659,5	- 497,8	- 43,01

Através da análise da Tabela 24, é possível verificar que, à exceção da comparação entre os Cenários 1 e 4 que apresenta uma redução de 17,95% do tempo de evacuação, a variação percentual na variante com elevadores é superior à variante exclusivamente pedonal, visto que as restantes duas comparações apresentam uma redução do tempo de evacuação superior a 43%, o que corresponde a cerca de 500 segundos do tempo total de evacuação. Deste modo, com a introdução da escada de emergência, há uma redução do número de ocupantes a aguardar nos átrios dos elevadores e consequente redução do tempo de espera, visto que existe uma redistribuição do fluxo pelas 3 vias de acesso ao exterior.

Em suma, a adição da escada de emergência, em ambas as variantes, constitui um fator primordial na redução dos tempos totais de evacuação.

4.2.4. Simulação de Bloqueio da Escada Corporativa Piso 4 (Cenário 7)

De forma a aferir a capacidade de resposta da infraestrutura perante uma situação de incêndio, simulou-se, no Cenário 7, a inutilização da escada corporativa em todos os acessos ao Piso 4. Neste âmbito, a evacuação é realizada exclusivamente pelas vias pedonais, uma vez que os elevadores não podem ser utilizados em situação de incêndio, sob o risco de colocar em causa a segurança dos ocupantes.

Adicionalmente, este cenário é apenas passível de análise na configuração de Edifício Otimizado, visto que a introdução da escada de emergência permite aos ocupantes dos pisos superiores ao Piso 4 evacuarem a infraestrutura, o que não é possível na configuração de Edifício Original e constitui um entrave à segurança.

Os resultados obtidos, de modo a determinar o impacto desta alteração no tempo total de evacuação face ao cenário 6 sem elevadores, encontram-se sintetizados na Tabela 25.

Tabela 25 - Impacto do bloqueio da escada corporativa no Piso 4

Cenário	Tempo Total (s)	Diferença (s)	Variação (%)
Cenário 6 (sem elevadores)	670,2	-	-
Cenário 7	736,6	66,4	9,91

Através da análise dos dados da Tabela 25, verifica-se que, mesmo com a perda de ligação da escada corporativa no Piso 4, o edifício mantém um desempenho seguro e aceitável, visto que o acréscimo de 66,4 segundos ao tempo de evacuação não compromete a sua viabilidade face ao ocorrido. Deste modo, conclui-se que a alteração estrutural é essencial, visto que assegura a saída dos ocupantes em situações nas quais o acesso à escada corporativa seja inviável.

5. Conclusão

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado de Engenharia Mecânica no Instituto Superior de Engenharia do Porto, consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação baseada em agentes aplicado às instalações da empresa NOS Comunicações, S.A., recorrendo ao *software Pathfinder*, com o objetivo de analisar e melhorar o processo de evacuação existente.

Deste modo, este capítulo encerra o estudo, no qual são apresentadas as conclusões acerca dos resultados e os principais contributos da dissertação e valor esperado para a NOS Comunicações, S.A. Adicionalmente, abordam-se as limitações e dificuldades sentidas, bem como as sugestões para investigações e trabalhos futuros.

5.1. Conclusões Finais

Tendo por base os resultados obtidos nos diversos cenários, conclui-se que:

- A configuração original do edifício apresenta-se insuficiente em cenários de bloqueio da escada corporativa e com elevados tempos de congestionamento no acesso à via pedonal;
- A utilização dos elevadores revela-se prejudicial ao tempo total de evacuação na generalidade dos cenários, pelo que o uso exclusivo das vias pedonais resulta numa melhor eficiência de evacuação à exceção dos cenários 5 e 6 que não apresentam diferenças significativas entre as duas variantes;
- A introdução da escada de emergência permite melhorar significativamente o tempo total de evacuação relativamente ao Edifício Original em ambas as variantes;
- Os cenários com a Porta de Garagem operacional apresentam tempos de evacuações inferiores, visto que a sua proximidade à escada corporativa reduz o percurso dos ocupantes e consequentemente, nas variantes com elevadores, incentiva a utilização da via pedonal;
- O Cenário 6, com a utilização dos elevadores, revela-se o cenário com o menor tempo total de evacuação (659,5 segundos), seguido do Cenário 5 sem utilização dos elevadores com um tempo de evacuação de 662,7 segundos.

5.2. Principais contributos e valor acrescentado para a NOS Comunicações, S.A.

O desenvolvimento desta dissertação permitiu efetuar uma análise da infraestrutura da NOS Comunicações, S.A. e da dinâmica dos seus ocupantes, de forma a identificar pontos críticos e fundamentar medidas de melhoria baseadas em dados obtidos através do *software*. Desta forma, este estudo estabelece os seguintes principais contributos e valores acrescentados para a empresa:

- Disponibilização de um modelo computacional de simulação das instalações da empresa, de forma a possibilitar o planeamento e validação de futuras estratégias de evacuação;
- Identificação dos principais pontos de congestionamento no edifício, de modo a permitir uma implementação de medidas corretivas para otimizar o fluxo de ocupantes;
- Corroboração dos benefícios da introdução de uma escada de emergência na redução significativa dos tempos de evacuação e no aumento da segurança dos intervenientes;
- Validação do uso da Porta de Garagem como via de evacuação fundamental, visto que assegura uma redução dos tempos de evacuação dada a sua proximidade com a escada corporativa;
- Demonstração da ineficiência do uso dos elevadores em cenários de evacuação, pelo que as vias exclusivamente pedonais asseguram melhores tempos de evacuação;
- Definição de tempos de referência para simulacros, de modo a estabelecer metas de desempenho para os exercícios de evacuação legalmente obrigatórios.

5.3. Limitações e Dificuldades Encontradas

No decurso da presente dissertação, foram identificadas limitações e dificuldades que exigiram um esforço suplementar de pesquisa e adaptação de modo a serem ultrapassadas. Em primeira instância, destaca-se a exigência técnica associada à aprendizagem de um novo *software*, uma vez que, foi necessário um período extenso de adaptação e familiarização de modo a assegurar o rigor técnico na parametrização geométrica da infraestrutura e na definição comportamental dos agentes.

Adicionalmente, a escassez de dados empíricos reais, no que diz respeito ao comportamento dos ocupantes em situações de perigo, consistiu numa limitação à parametrização comportamental do modelo, dado que a sua obtenção num cenário de perigo é inviável. Não obstante, a fiabilidade do estudo encontra-se assegurada através dos parâmetros validados na literatura científica.

5.4. Trabalhos Futuros

A Simulação Baseada em Agentes, por ser uma área em forte expansão, posiciona a presente dissertação como um ponto de partida para desenvolvimentos futuros, com o objetivo de aprofundar e aprimorar a eficácia do plano de emergência de evacuação na NOS Comunicações, S.A. Deste modo, para investigações futuras, sugere-se:

- A simulação de cenários com uma maior percentagem de ocupantes com mobilidade reduzida, com o intuito de analisar o seu impacto no tempo total de evacuação;
- O estudo de diferentes configurações de mobiliário e *layouts* de escritórios, com vista a determinar de que forma a reorganização do espaço físico condiciona o acesso às vias de evacuação;
- A análise do impacto da implementação de uma estratégia de evacuação gradual, tendo como principal objetivo determinar se a saída sequencial dos diferentes pisos resulta numa redução do congestionamento nas zonas críticas;
- O estudo dos diferentes cenários com uma orientação específica para os ocupantes, de modo a analisar o seu impacto na celeridade da evacuação.

Referências

- A, S. A., & R, J. (2024). Modeling of emergency evacuation in high rise buildings considering congestion at stairs based on Markov chains. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 633, 129352. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.129352>
- Abdelghany, A., Abdelghany, K., & Mahmassani, H. (2016). A hybrid simulation-assignment modeling framework for crowd dynamics in large-scale pedestrian facilities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 86, 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.02.011>
- Aldahlawi, R. Y., Akbari, V., & Lawson, G. (2024). A systematic review of methodologies for human behavior modelling and routing optimization in large-scale evacuation planning. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104638. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104638>
- An, L., Grimm, V., Sullivan, A., Turner II, B. L., Malleson, N., Heppenstall, A., Vincenot, C., Robinson, D., Ye, X., Liu, J., Lindkvist, E., & Tang, W. (2021). Challenges, tasks, and opportunities in modeling agent-based complex systems. *Ecological Modelling*, 457, 109685. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109685>
- Ariyachandra, M. R. M. F., & Wedawatta, G. (2023). Digital Twin Smart Cities for Disaster Risk Management: A Review of Evolving Concepts. *Sustainability*, 15(15), 11910. <https://doi.org/10.3390/su151511910>
- Asano, M., Iryo, T., & Kuwahara, M. (2010). Microscopic pedestrian simulation model combined with a tactical model for route choice behaviour. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(6), 842–855. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.01.005>
- Baghalzadeh Shishehgharkhaneh, M., Keivani, A., Moehler, R. C., Jelodari, N., & Roshdi Laleh, S. (2022). Internet of Things (IoT), Building Information Modeling (BIM), and Digital Twin (DT) in Construction Industry: A Review, Bibliometric, and Network Analysis. *Buildings*, 12(10), 1503. <https://doi.org/10.3390/buildings12101503>
- Bemthuis, R. H., & Lazarova-Molnar, S. (2025). Towards integrating process mining with agent-based modeling and simulation: State of the art and outlook. *Expert Systems with Applications*, 281, 127571. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127571>
- Berger, C., & Mahdavi, A. (2020). Review of current trends in agent-based modeling of building occupants for energy and indoor-environmental performance analysis. *Building and Environment*, 173, 106726. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106726>
- Biagini, C., Bongini, A., & Marzi, L. (2024). From BIM to digital twin. IOT data integration in asset management platform. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 1103–1127. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.049>
- Cao, S., Fu, L., & Song, W. (2018). Exit selection and pedestrian movement in a room with two exits under fire emergency. *Applied Mathematics and Computation*, 332, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2018.03.048>

- CENANI, Ş. (2021). Emergence and complexity in agent-based modeling: Review of state-of-the-art research. *Journal of Computational Design*, 2(2), 1–24. <https://doi.org/10.53710/jcode.983476>
- Chen, J., Ma, J., & Lo, S. M. (2017). Event-driven modeling of elevator assisted evacuation in ultra high-rise buildings. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 74, 99–116. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.03.004>
- Chen, P., Zeng, L., & Zhong, Y. (2024). Experiment and path optimization on Large-Space Multi-Area crowd evacuation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2816(1), 012092. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2816/1/012092>
- Chen, Y., Wang, C., Yap, J. B. H., Li, H., Hu, H. S., Chen, C.-C., & Lai, K.-K. (2020). Fire Evacuation Process Using Both Elevators and Staircases for Aging People: Simulation Case Study on Personnel Distribution in High-Rise Nursing Home. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2020, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2020/5365126>
- Chiu, Y.-P., Shiau, Y.-C., & Lai, Y.-H. (2018). Study on evacuation simulation under crowd-diversion condition. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(7). <https://doi.org/10.1177/1687814018785092>
- Çıdık, M. S., & Phillips, S. (2021). Buildings as complex systems: the impact of organisational culture on building safety. *Construction Management and Economics*, 39(12), 972–987. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.1966816>
- Deng, Q., Zhang, B., Zhou, Z., Deng, H., Zhou, L., Zhou, Z., & Jiang, H. (2022). Evacuation Time Estimation Model in Large Buildings Based on Individual Characteristics and Real-Time Congestion Situation of Evacuation Exit. *Fire*, 5(6), 204. <https://doi.org/10.3390/fire5060204>
- Ding, N., Chen, T., Zhu, Y., & Lu, Y. (2021). State-of-the-art high-rise building emergency evacuation behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 561, 125168. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125168>
- Ding, Z., Xu, S., Xie, X., Zheng, K., Wang, D., Fan, J., Li, H., & Liao, L. (2024). A building information modeling-based fire emergency evacuation simulation system for large infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, 244, 109917. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109917>
- Forssberg, M., Kjellström, J., Frantzich, H., Mossberg, A., & Nilsson, D. (2019). The Variation of Pre-movement Time in Building Evacuation. *Fire Technology*, 55(6), 2491–2513. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00881-1>
- Gaddam, H. K., Devi Vanumu, L., Arya, A., & Ramachandra Rao, K. (2022). Optimization of Parameters for Pedestrian Simulation Software: A Case Study of Emergency Evacuation Experiments. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(4), F82–F96. <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.4.F82-F96>
- Gao, J., Zhang, J., He, J., Gong, J., & Zhao, J. (2020). Experiment and simulation of pedestrian's behaviors during evacuation in an office. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 545, 123749. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123749>
- Grimm, V., Berger, U., Meyer, M., & Lorscheid, I. (2024). Theory for and from agent-based modelling: Insights from a virtual special issue and a vision. *Environmental Modelling & Software*, 178, 106088. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106088>
- Han, F., Liu, L., & Zhang, Y. (2021). Pathfinder-Based Simulation and Optimisation of Personnel Evacuation Modelling of a Shopping Mall. *Journal of Physics: Conference Series*, 1757(1), 012112. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1757/1/012112>
- Han, L., Guo, H., Zhang, H., Kong, Q., Zhang, A., & Gong, C. (2020). An Efficient Staged Evacuation Planning Algorithm Applied to Multi-Exit Buildings. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(1), 46. <https://doi.org/10.3390/ijgi9010046>

- Heliövaara, S., Korhonen, T., Hostikka, S., & Ehtamo, H. (2012). Counterflow model for agent-based simulation of crowd dynamics. *Building and Environment*, 48, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.020>
- Holm, S., Hilty, L. M., Lemm, R., & Thees, O. (2018). Empirical validation of an agent-based model of wood markets in Switzerland. *PLOS ONE*, 13(1), e0190605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190605>
- Hu, X., & Assaad, R. H. (2024). A BIM-enabled digital twin framework for real-time indoor environment monitoring and visualization by integrating autonomous robotics, LiDAR-based 3D mobile mapping, IoT sensing, and indoor positioning technologies. *Journal of Building Engineering*, 86, 108901. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108901>
- Hu, X., Olgun, G., & Assaad, R. H. (2024). An intelligent BIM-enabled digital twin framework for real-time structural health monitoring using wireless IoT sensing, digital signal processing, and structural analysis. *Expert Systems with Applications*, 252, 124204. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124204>
- Hu, Y.-H., Bi, Y.-B., Zhang, J., Lian, L.-P., Song, W.-G., & Gao, W. (2023). Effect of a static pedestrian as an exit obstacle on evacuation. *Chinese Physics B*, 32(1), 018901. <https://doi.org/10.1088/1674-1056/ac9605>
- Islas-Toski, M., Cuevas, E., Pérez-Cisneros, M., & Escobar, H. (2024). Agent-Based Evacuation Modeling: Enhancing Building Safety in Emergency Scenarios. *Smart Cities*, 7(6), 3165–3187. <https://doi.org/10.3390/smartcities7060123>
- Ivanov, M. L., & Chow, W.-K. (2023). Experimental and numerical evacuation study in tall office building. *Journal of Building Engineering*, 76, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107103>
- Jamali, R., Vermeiren, W., & Lazarova-Molnar, S. (2024). Data-driven Agent-based Modeling: Experimenting with the Schelling's Model. *Procedia Computer Science*, 238, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.028>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2023). An integrated outlook of Cyber-Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100001. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100001>
- Jiang, J.-R. (2018). An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(6). <https://doi.org/10.1177/1687814018784192>
- Kasereka, S. K., Kabwe, O. M., Kinyanta, M. W. K., Kasongo, A. L., Ilunga, G. W. K., Muhambya, K., Tashev, T., & Kyamakya, K. (2025). Enhancing Building Safety: A Brief Review of Agent-Based Modeling for Fire Evacuation Simulation. *Procedia Computer Science*, 257, 668–675. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.086>
- Kasereka, S. K., Kalondji, N. E., Ilunga, G. W. K., Ngoie, R.-B. M., Kyamakya, K., & Kasoro, N. M. (2025). Enhancing Building Evacuation Efficiency in Case of Fire Breakout by Integrating Evacuee Categorization Into an Agent-Based Simulation. *IEEE Access*, 13, 10595–10618. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3525480>
- Korder, B., Maheut, J., & Konle, M. (2024). Simulation Methods and Digital Strategies for Supply Chains Facing Disruptions: Insights from a Systematic Literature Review. *Sustainability*, 16(14), 5957. <https://doi.org/10.3390/su16145957>
- Lian, H., Zhang, S., Li, G., & Zhang, Y. (2023). Pedestrian Simulation on Evacuation Behavior in Teaching Building of Primary School Emergencies and Optimized Design. *Buildings*, 13(7), 1747. <https://doi.org/10.3390/buildings13071747>
- Liu, Z., Jacques, C. C., Szyniszewski, S., Guest, J. K., Schafer, B. W., Igusa, T., & Mitrani-Reiser, J. (2016). Agent-Based Simulation of Building Evacuation after an Earthquake: Coupling

- Human Behavior with Structural Response. *Natural Hazards Review*, 17(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000199](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000199)
- Liu, Z., Liu, T., Ma, M., Hsu, H., Ni, Z., & Chai, Y. (2018). A perception-based emotion contagion model in crowd emergent evacuation simulation. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 29(3–4). <https://doi.org/10.1002/cav.1817>
- Lopez-Carmona, M. A. (2022). System Identification for the design of behavioral controllers in crowd evacuations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 144, 103913. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103913>
- Lu, P., Zhang, Z., & Li, M. (2023). Individual heights and phase transition under crowd emergencies: Agent-based modeling from 2 to 3D. *Artificial Intelligence Review*, 56(10), 11391–11413. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10407-5>
- Lujak, M., Billhardt, H., Dunkel, J., Fernández, A., Hermoso, R., & Ossowski, S. (2017). A distributed architecture for real-time evacuation guidance in large smart buildings. *Computer Science and Information Systems*, 14(1), 257–282. <https://doi.org/10.2298/CSIS161014002L>
- Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10(2), 144–156. <https://doi.org/10.1057/jos.2016.7>
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>
- Mao, Y., Yang, S., Li, Z., & Li, Y. (2020). Personality trait and group emotion contagion based crowd simulation for emergency evacuation. *Multimedia Tools and Applications*, 79(5–6), 3077–3104. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6069-3>
- Mousavi, Y., Gharineiat, Z., Karimi, A. A., McDougall, K., Rossi, A., & Gonizzi Barsanti, S. (2024). Digital Twin Technology in Built Environment: A Review of Applications, Capabilities and Challenges. *Smart Cities*, 7(5), 2594–2615. <https://doi.org/10.3390/smartcities7050101>
- Moussaïd, M., Kapadia, M., Thrash, T., Sumner, R. W., Gross, M., Helbing, D., & Hölscher, C. (2016). Crowd behaviour during high-stress evacuations in an immersive virtual environment. *Journal of The Royal Society Interface*, 13(122), 20160414. <https://doi.org/10.1098/rsif.2016.0414>
- Oliveira, J. B., Lima, R. S., & Montevechi, J. A. B. (2016). Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 62, 166–191. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.02.001>
- Piras, G., Agostinelli, S., & Muzi, F. (2024). Digital Twin Framework for Built Environment: A Review of Key Enablers. *Energies*, 17(2), 436. <https://doi.org/10.3390/en17020436>
- Piras, G., Agostinelli, S., & Muzi, F. (2025). Smart Buildings and Digital Twin to Monitoring the Efficiency and Wellness of Working Environments: A Case Study on IoT Integration and Data-Driven Management. *Applied Sciences*, 15(9), 4939. <https://doi.org/10.3390/app15094939>
- Rendón Rozo, K., Arellana, J., Santander-Mercado, A., & Jubiz-Díaz, M. (2019). Modelling building emergency evacuation plans considering the dynamic behaviour of pedestrians using agent-based simulation. *Safety Science*, 113, 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.11.028>
- Schmidt, M., & Åhlund, C. (2018). Smart buildings as Cyber-Physical Systems: Data-driven predictive control strategies for energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 742–756. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.013>
- Senanayake, G. P. D. P., Kieu, M., Zou, Y., & Dirks, K. (2024). Agent-based simulation for pedestrian evacuation: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 111, 104705. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104705>

- Serôdio, C., Mestre, P., Cabral, J., Gomes, M., & Branco, F. (2024). Software and Architecture Orchestration for Process Control in Industry 4.0 Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. *Applied Sciences*, 14(5), 2160. <https://doi.org/10.3390/app14052160>
- Shen, N. Z., Cui, J. W., Peng, M., Xu, H., & Wu, Z. Q. (2024). An Optimization Method of Large Building Space Based on Evacuation Simulation. *International Journal of Simulation Modelling*, 23(3), 435–446. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM23-3-691>
- Siebers, P. O., Macal, C. M., Garnett, J., Buxton, D., & Pidd, M. (2010). Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! *Journal of Simulation*, 4(3), 204–210. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.14>
- Silva, R. de A., & Braga, R. T. V. (2020). Simulating Systems-of-Systems With Agent-Based Modeling: A Systematic Literature Review. *IEEE Systems Journal*, 14(3), 3609–3617. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2980896>
- Spearpoint, M., Arnott, M., Xie, H., Gwynne, S., & Templeton, A. (2024). Comparative analysis of two evacuation simulation tools when applied to high-rise residential buildings. *Safety Science*, 175, 106515. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106515>
- Swinerd, C., & McNaught, K. R. (2012). Design classes for hybrid simulations involving agent-based and system dynamics models. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 25, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2011.09.002>
- Tan, L., Hu, M., & Lin, H. (2015). Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency. *Information Sciences*, 295, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.09.029>
- Topraklı, A. Y., & Satır, M. S. (2025). Yüksek binalarda asansör destekli tahliye (ADT) stratejilerinin etkinliği: Mersin Metropol Binası örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 40(2), 863–876. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1476120>
- Trivedi, A., & Rao, S. (2018). Agent-Based Modeling of Emergency Evacuations Considering Human Panic Behavior. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 5(1), 277–288. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2017.2783332>
- Wang, J., Luo, Y., Zhou, X., Zhao, W., Lei, Y., & Xie, W. (2025). Impact of assistance behavior on evacuation efficiency in high-rise hospital inpatient buildings: An agent-based simulation study. *Journal of Building Engineering*, 112, 113780. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113780>
- Wang, Y. S., Guo, S. S., Lu, Y. X., & Peng, L. (2025). Simulation of Emergency Evacuation in Dense-Occupancy High-Rise Buildings. *International Journal of Simulation Modelling*, 24(3), 461–472. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM24-3-734>
- Winkler, M. R., Mui, Y., Hunt, S. L., Laska, M. N., Gittelsohn, J., & Tracy, M. (2022). Applications of Complex Systems Models to Improve Retail Food Environments for Population Health: A Scoping Review. *Advances in Nutrition*, 13(4), 1028–1043. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab138>
- Xie, R., Zlatanova, S., & Lee, J. (Brian). (2025). Simulating 3D pedestrian motions in evacuations under high and low perceived urgency levels. *Developments in the Built Environment*, 23, 100724. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100724>
- Ye, J., Liu, Z., Liu, T., Wu, Y., & Wang, Y. (2024). Crowd evacuation simulation based on hierarchical agent model and physics-based character control. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 35(3). <https://doi.org/10.1002/cav.2263>
- Yin, R. K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation*, 19(3), 321–332. <https://doi.org/10.1177/1356389013497081>
- Zang, Y., Mei, Q., & Liu, S. (2021). Evacuation simulation of a high-rise teaching building considering the influence of obstacles. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 112, 102354. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102354>

Referências

- Zhan, H., Hwang, B., & Krishnankutty, P. (2025). Embracing digital transformation for sustainable development: Barriers to adopting digital twin in asset management within Singapore's energy and chemicals industry. *Sustainable Development*, 33(2), 2864–2887. <https://doi.org/10.1002/sd.3270>
- Zhang, H., & Long, H. (2021). Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder. *Journal of Physics: Conference Series*, 1880(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1880/1/012010>
- Zhang, X., Dunn, S., Luo, Y., & Shen, Y. (2025). Integrating human behaviors in an agent-based model for multi-floor building emergency evacuation. *Journal of Building Engineering*, 112, 113716. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113716>
- Zhu, J., Dang, P., Zhang, J., Cao, Y., Wu, J., Li, W., Hu, Y., & You, J. (2024). The impact of spatial scale on layout learning and individual evacuation behavior in indoor fires: single-scale learning perspectives. *International Journal of Geographical Information Science*, 38(1), 77–99. <https://doi.org/10.1080/13658816.2023.2271956>
- Zhu, R., Becerik-Gerber, B., Lin, J., & Li, N. (2023). Behavioral, data-driven, agent-based evacuation simulation for building safety design using machine learning and discrete choice models. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101827. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101827>

Declaração de Integridade

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

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

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

NOME: Diogo Pinto Queirós Macedo dos Santos

ISEP, Porto, 12 de Maio de 2026