



# O Papel da Indústria 4.0 para a Melhoria do Sector da Saúde em Portugal

DIOGO ANTÓNIO DA SILVA CARDOSO

Junho de 2024

**O Papel da Indústria 4.0 para a Melhoria do Sector  
da Saúde em Portugal**

**Diogo António da Silva Cardoso**

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

**Orientador: Professor Doutor Luís Pinto Ferreira**

**Júri:**

Presidente:

Professor Doutor 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 Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

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

Porto, junho de 2024



## **Agradecimentos**

À Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel, cujo requerente é a Santa Casa da Misericórdia do Marco de Canaveses, pela disponibilidade para realizar este projeto de simulação do edifício.

À provedora da Santa Casa da Misericórdia do Marco de Canaveses, Professora Doutora Maria Amélia Ferreira, pelo interesse no projeto e, toda a atenção e ajuda disponibilizada ao longo de toda esta etapa.

À Doutora Cristina Fernandes, responsável na Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel, pela ajuda e disponibilidade prestada em todas as visitas efetuadas ao edifício.

Ao Professor Doutor Luís Pinto Ferreira, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela eximia orientação e disponibilidade para todos os esclarecimentos ao longo de todo o processo de realização deste projeto de dissertação.

À Professora Doutora Elga Costa, da Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Porto, pela coorientação prestada no decorrer de toda a dissertação.

À Engenheira Ana Malheiro por todo o auxílio, orientação e elucidação no sentido legislativo da segurança e evacuação de edifícios.

A todos os meus amigos que sempre que me auxiliaram em todos os momentos deste percurso, ajudando a resolver as minhas dificuldades.

À minha família e namorada que estiveram sempre presentes em todos os momentos, tanto positivos como momentos de dificuldade e, por toda a motivação e resiliência transmitida que me permitiram alcançar este objetivo pessoal e académico.

Um agradecimento especial à minha mãe pelo esforço, sacrifício e dedicação em todo o meu percurso académico.

página propositadamente em branco

## Resumo

Num contexto em que a ocorrência de catástrofes naturais ou desastres provocados por falha humana são uma incerteza, é vital um plano de emergência extremamente bem estruturado, otimizado e eficaz no que diz respeito a efetuar o processo no menor tempo possível na sua totalidade. De salientar que o comportamento humano, a falta de conhecimento dos edifícios e obstáculos são pontos essenciais que influenciam o tempo de evacuação total. Deste modo, a simulação computacional permitiu a análise e otimização da evacuação e, conseqüentemente, elucidar os responsáveis pela melhor tomada de decisão.

A presente dissertação teve como foco o estudo do papel de um dos pilares da Indústria 4.0 no setor da saúde, nomeadamente, a simulação. Assim, o principal objetivo teve como ênfase o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão através do software Pathfinder na Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel, cujo requerente é a Santa Casa da Misericórdia do Marco de Canaveses. Neste sentido, o modelo de simulação permitiu estudar e analisar 9 cenários de evacuação distintos, tendo em conta o recurso ao elevador e a utilização de determinadas saídas de emergência. Desta forma, a análise dos diversos cenários permitiu comparar e avaliar o impacto dos mesmos na evacuação dos 82 ocupantes que contemplam a capacidade máxima do edifício. Nessa avaliação foi possível analisar e identificar pontos críticos e de estrangulamento ao longo da evacuação, obter resultados e apresentar melhorias para mitigar possíveis problemas existentes.

Em todos os cenários a velocidade dos ocupantes manteve-se a mesma, sendo de 1,2 m/s para perfis como idosos e responsáveis de evacuação que auxiliam os utentes de cadeira de rodas. Os ocupantes com perfis de técnicos e cozinheiras evacuam a uma velocidade de 1,4 m/s. Salienta-se que os ocupantes evacuaram sem orientação ao longo de todo o processo.

Através dos resultados obtidos pela simulação no software Pathfinder, foi possível aferir que a evacuação dos 82 ocupantes está compreendida entre os 74,6 e os 215,6 segundos. Deste modo, observou-se que na maioria dos casos o recurso ao elevador significa um incremento do tempo total de evacuação. Assim, pode-se concluir que os cenários que se mostraram mais eficientes foram os cenários 1 e 3, dado que apresentam o tempo total de evacuação menor, 156,9 segundos. Como fatores decisivos, estes cenários apresentaram menor distância percorrida e o tempo médio de evacuação por ocupante, 42,4 metros e 47,4 segundos, respetivamente. Concluiu-se que as vias de evacuação sul evacuam rapidamente os utentes localizados nessas alas numa fase inicial. As vias de evacuação central de acesso a pisos inferiores demonstram um cariz vital para uma evacuação mais rápida e eficiente.

Por último, num cenário onde os utentes se encontram em horário de refeição, cenário 9, analisou-se que os ocupantes utilizam maioritariamente as saídas de emergência norte. Uma vez que as saídas principais se encontram ao dobro da distância. Assim, a evacuação mais eficaz neste cenário demonstrou um tempo total para completar o processo de evacuação de 74,6 segundos.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Pathfinder*, Cenários de Evacuação, Estrutura Residencial para Pessoas Idosas, Tempo Total de Evacuação, Mobilidade Reduzida, Simulação no Setor da Saúde

página propositadamente em branco

## Abstract

In a context where the occurrence of natural disasters or disasters caused by human error is uncertain. According to that have an extremely well-structured, optimized, and effective emergency plan is vital in terms of carrying out the entire process in the shortest possible time. It should be noted that human behavior, lack of knowledge of buildings, and obstacles are essential points that influence the total evacuation time. The computer simulation allows the analysis and optimization of the evacuation and, consequently, making the best decision-making.

This master's thesis focused on studying the role of one of the Industry 4.0 pillars in the healthcare sector, the simulation. Thus, the main objective was to emphasize the development of a decision support system through the Pathfinder software in the Residential Structure for Elderly People Rainha Santa Isabel, whose applicant is Santa Casa da Misericórdia do Marco de Canaveses. The simulation model allowed the study and analysis of 9 different evacuation scenarios, considering the use of the elevator and the use of certain emergency exits. In this way, the analysis of the different scenarios made it possible to compare and evaluate their impact on the evacuation of the 82 occupants, which is the maximum capacity of the building. In this assessment, it was possible to analyze and identify critical and bottleneck points throughout the evacuation, obtain results, and present improvements to mitigate potential problems.

In all scenarios, the speed of the occupants remained the same, 1.2 m/s for profiles of elderly people and evacuation managers who assist wheelchair users. Occupants with profiles of technicians and cooks evacuated at a speed of 1.4 m/s. It should be noted that the occupants evacuated without guidance throughout the entire process.

Through the results obtained by the simulation in the Pathfinder software, it was possible to determine that the evacuation of the 82 occupants took between 74.6 and 215.6 seconds. Therefore, it was observed that in most cases, using the elevator means an increase in the total evacuation time. Then, it was observed that in most cases the use of the elevator showed an increase in the total evacuation time. It can be concluded that the most efficient cases were scenarios 1 and 3, given that they have a shorter total evacuation time, 156.9 seconds. As decisive factors, these scenarios presented a shorter distance traveled and the average evacuation time per occupant were 42.4 meters and 47.4 seconds, respectively. It was concluded that the southern evacuation routes quickly evacuated users located in these wings at an early stage. The central escape routes to access the lower floors are vital for faster and more efficient evacuation.

Finally, in a scenario where users are at mealtime, scenario 9, it was analyzed that occupants mostly use the northern emergency exits, as a result of the main exits are twice as far away. Lastly, the most effective evacuation in this scenario has a total time of 74.6 seconds to complete the evacuation process.

**KEYWORDS:** *Pathfinder*, Evacuation Scenarios, Nursing Home, Total Evacuation Time, Reduced mobility, Simulation in the Healthcare

página propositadamente em branco

# Índice

Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Acrónimos e Símbolos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Pertinência .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Metodologia de Investigação .....	2
1.4. Apresentação da Instituição ERPI Rainha Santa Isabel .....	4
1.5. Conteúdo e Organização da Dissertação .....	5
2. Revisão Bibliográfica .....	7
2.1. Casos de Estudo - Aplicação da Indústria 4.0 (Simulação) no Sector da Saúde.....	7
2.2. Enquadramento de uma ERPI no Setor da Saúde em Portugal .....	15
2.3. A Importância da Indústria 4.0 para o Sector da Saúde.....	17
2.4. Legislação – Evacuação de Unidades Hospitalares .....	18
2.5. Fases do Processo e Tempos de Evacuação .....	20
2.6. A Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão .....	23
2.6.1. Vantagens e Desvantagens da simulação .....	24
2.6.2. Campos de Aplicação da Simulação.....	25
2.7. <i>Softwares</i> de Apoio à Evacuação .....	26
2.7.1. <i>Pathfinder</i> .....	27
3. Estratégias de Evacuação numa Estrutura Residencial para Pessoas Idosas.....	29
3.1. ERPI Rainha Santa Isabel .....	29
3.2. Configuração do Edifício.....	30
3.2.1. Piso -1 (Cave).....	31
3.2.2. Piso 0.....	31
3.2.3. Piso 1.....	37
3.2.4. Piso 2.....	39
3.3. Estudo da Simulação .....	42
3.3.1. Interface Gráfica e Visual .....	42
3.3.2. Validação do Modelo Computacional.....	51
3.4. Análise das Estratégias de Evacuação .....	53
3.4.1. Cenário 1 – Todas as Saídas Disponíveis (com e sem elevador).....	54
3.4.2. Cenário 2 – Portas Sul Fechadas Piso 2 (com e sem elevador).....	58
3.4.3. Cenário 3 – Portas Norte Fechadas Piso 2 (com e sem elevador) .....	61
3.4.4. Cenário 4 – Portas Sul Fechadas Piso 1 (com e sem elevador).....	63
3.4.5. Cenário 5 – Portas Norte Fechadas Piso 0 (com e sem elevador) .....	66

3.4.6. Cenário 6 – Portas Sul Fechadas Piso 0 (com e sem elevador).....	69
3.4.7. Cenário 7 – Apenas Saídas Principais Abertas (com e sem elevador) .....	73
3.4.8. Cenário 8 – Escadas Centrais Bloqueadas (com e sem elevador).....	76
3.4.9. Cenário 9 – Disposição dos Ocupantes no Horário de Refeições .....	80
4. Resultados e Discussão .....	85
5. Conclusão .....	89
5.1. Conclusões Finais e Principais Contributos .....	89
5.2. Valor acrescentado para a ERPI Rainha Santa Isabel .....	90
5.3. Dificuldades Encontradas.....	90
5.4. Limitações e Trabalhos Futuros .....	90
Referências.....	93
Declaração de Integridade .....	99

página propositadamente em branco

página propositadamente em branco

## Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI, 2024) .....	5
Figura 2 - Nove pilares da Indústria 4.0 (Adaptado de: (Ibrahim et al., 2020)) .....	17
Figura 3 - Cronograma de evacuação de edifícios (Adaptado: (CFPA Europe, 2023)) .....	22
Figura 4 - Relação entre a Simulação e a Realidade (Adaptado:(Bako & Božek, 2016)).....	24
Figura 5 - Vista e Localização da ERPI Rainha Santa Isabel (Google, 2024) .....	30
Figura 6 - Planta Piso -1.....	32
Figura 7 - Planta Piso 0.....	33
Figura 8 - Cozinha - Piso 0 .....	34
Figura 9 - Refeitório - Piso 0.....	34
Figura 10 - Sala de estar - Piso 0 .....	35
Figura 11 - Jardim exterior - Piso 0.....	35
Figura 12 - Quarto tipo.....	36
Figura 13 - Saída de emergência norte (Piso 0) .....	36
Figura 14 - Saídas de emergência centrais (Piso 0).....	37
Figura 15 - Elevador .....	37
Figura 16 - Planta Piso 1.....	38
Figura 17 - Rampa de acesso ao Piso 1 .....	39
Figura 18 - Escadas de acesso aos pisos.....	39
Figura 19 - Corredor de acesso aos quartos .....	40
Figura 20 - Planta Piso 2.....	41
Figura 21 - Interface gráfica do <i>Pathfinder</i> .....	42
Figura 22 - Importar Plantas .....	43
Figura 23 - Ponto de referência e escala.....	43
Figura 24 - Adicionar Divisões.....	44
Figura 25 - Criação de uma nova porta.....	44
Figura 26 - Porta de saída (a verde) .....	45
Figura 27 - Criação de escadas.....	45
Figura 28 - Criação de rampas.....	46
Figura 29 - Criação de elevadores.....	46
Figura 30 - Criação de obstáculos - Piso 0.....	47
Figura 31 - Criação de Perfis.....	47
Figura 32 - Editar Perfis.....	48
Figura 33 - Criação dos comportamentos dos ocupantes.....	48
Figura 34 - Tipos de Comportamentos.....	49
Figura 35 - Perfis 3D .....	49
Figura 36 - Criação de Perfis 3D .....	50
Figura 37 - Parâmetros do modelo de simulação .....	50
Figura 38 - Modelo Simulação ERPI Rainha Santa Isabel - Vista Cima .....	51
Figura 39 - Modelo Simulação ERPI Rainha Santa Isabel - Vista Lateral .....	51
Figura 40 - Evacuação de utentes cadeira de rodas pelo elevador .....	55
Figura 41 - Evacuação dos utentes de cadeira de rodas pela rampa.....	55

Figura 42 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 1) .....	56
Figura 43 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 1).....	56
Figura 44 - " <i>Bottleneck</i> " nas escadas (Cenário 1) .....	57
Figura 45 - Fluxo de evacuação nas portas de saída (Cenário 1 - com elevador) .....	57
Figura 46 - Fluxo de evacuação nas portas de saída (Cenário 1 - sem elevador) .....	58
Figura 47 - Portas Sul Fechadas Piso 2 - Cenário 2.....	58
Figura 48 - Utes em cadeira de rodas à espera em simultâneo (Cenário 2) .....	59
Figura 49 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 2) .....	59
Figura 50 - " <i>Bottleneck</i> " nas escadas centrais (Cenário 2).....	59
Figura 51 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 2).....	60
Figura 52 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 2 - com elevador) .....	60
Figura 53 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 2 - sem elevador).....	61
Figura 54 - Portas Norte Fechadas Piso 2 - Cenário 3 .....	61
Figura 55 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 3) .....	62
Figura 56 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 3).....	62
Figura 57 - Portas Sul Fechadas Piso 1 - Cenário 4.....	63
Figura 58 - " <i>Bottleneck</i> " nas escadas centrais (Cenário 4).....	64
Figura 59 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 4) .....	64
Figura 60 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 4).....	65
Figura 61 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 4 - com elevador) .....	65
Figura 62 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 4 - sem elevador).....	66
Figura 63 - Fluxo de evacuação nas portas de saída (Cenário 4) .....	66
Figura 64 - Portas Norte Fechadas Piso 0 - Cenário 5 .....	67
Figura 65 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 5) .....	68
Figura 66 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 5).....	68
Figura 67 -Fluxo de evacuação na escada central piso 1 (Cenário 5 - com elevador) .....	69
Figura 68 - Fluxo de evacuação na escada central piso 1 (Cenário 5 - sem elevador).....	69
Figura 69 - Portas Sul Fechadas Piso 0 - Cenário 6.....	70
Figura 70 - Evolução do recurso ao elevador (Cenário 6) .....	70
Figura 71 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 6) .....	71
Figura 72 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 6).....	71
Figura 73 - " <i>Bottleneck</i> " nas escadas centrais (Cenário 6).....	72
Figura 74 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 6 - com elevador) .....	72
Figura 75 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 6 - sem elevador).....	73
Figura 76 - Apenas Saídas Principais disponíveis - Cenário 7.....	73
Figura 77 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 7) .....	74
Figura 78 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 7) .....	75
Figura 79 - " <i>Bottleneck</i> " nas escadas centrais (Cenário 7).....	75
Figura 80 - " <i>Bottleneck</i> " nas portas centrais (Cenário 7) .....	75
Figura 81 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 7) .....	76
Figura 82 - Fluxo de evacuação pelas portas principais (Cenário 7 - sem elevador) .....	76
Figura 83 - Escadas centrais bloqueadas - Cenário 8 .....	77
Figura 84 - Utes de cadeira de rodas evacuam pela rampa (Cenário 8 - Com elevador) .....	77

Figura 85 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 8) .....	78
Figura 86 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 8).....	78
Figura 87 - " <i>Bottleneck</i> " na via de passagem central piso 1 (Cenário 8) .....	79
Figura 88 - Fluxo de evacuação nas escadas sul (Cenário 8 - com elevador).....	79
Figura 89 - Fluxo de evacuação nas escadas sul (Cenário 8 - sem elevador).....	79
Figura 90 - Disposição dos ocupantes em hora de refeição (Cenário 9).....	80
Figura 91 - Todas as portas fechadas, exceto as centrais - Cenário 9.....	80
Figura 92 - Evolução dos utentes evacuados com todas as portas abertas (Cenário 9).....	81
Figura 93 - " <i>Bottleneck</i> " no acesso à saída de emergência pelo refeitório (Cenário 9 - Todas as portas abertas).....	82
Figura 94 - Evolução dos utentes evacuados com apenas as portas principais abertas (Cenário 9) .....	82
Figura 95 - " <i>Bottleneck</i> " no acesso às saídas de emergências centrais (Cenário 9 - Apenas as portas centrais abertas).....	82

página propositadamente em branco

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Etapas da metodologia Caso de Estudo (Crowe et al., 2011).....	3
Tabela 2 – Revisão Bibliográfica – Aplicação da Indústria 4.0 no sector da saúde.....	8
Tabela 3 - Tempos estimados de pré-movimentação (CFPA Europe, 2009).....	21
Tabela 4 - Número de Utentes por Piso/Ala .....	30
Tabela 5 - Comparação entre a Simulação Real vs Simulação Computacional.....	52
Tabela 6 – Tempos de Evacuação Cenário 1 – Todas as saídas disponíveis (Com e sem elevador) .....	55
Tabela 7 - Tempos de Evacuação Cenário 2 – Porta Sul Fechada Piso 2 (Com e sem elevador)	58
Tabela 8 - Tempos de Evacuação Cenário 3 – Portas Norte Fechadas Piso 2 (Com e sem elevador) .....	61
Tabela 9 - Tempos de Evacuação Cenário 4 – Portas Sul Fechadas Piso 1 (Com e sem elevador) .....	63
Tabela 10 - Tempos de Evacuação Cenário 5 – Portas Norte Fechadas Piso 0 (Com e sem elevador) .....	67
Tabela 11 - Tempos de Evacuação Cenário 6 – Portas Sul Fechadas Piso 0 (Com e sem elevador) .....	70
Tabela 12 - Tempos de Evacuação Cenário 7 – Apenas Saídas Principais Piso 0 (Com e sem elevador) .....	74
Tabela 13 - Tempos de Evacuação Cenário 8 – Escadas centrais bloqueadas (Com e sem elevador) .....	77
Tabela 14 - Tempos de Evacuação Cenário 9 – Disposição em Hora de Refeições Piso 0.....	81
Tabela 15 - Resumo dos cenários elaborados.....	85
Tabela 16 - Melhores tempos de evacuação total por cenário .....	87
Tabela 17 - Resultados do cenário em horário de refeição .....	87

página propositadamente em branco

## Acrónimos e Símbolos

### Lista de Acrónimos

ANEPC	Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Cível
ASET	<i>Available Safe Egress Time</i>
CFPA	<i>Confederation of Fire Protection Associations Europe</i>
DL	Decreto Lei
ERPI	Estrutura Residencial para Pessoas Idosas
IPSS	Instituições Particulares de Solidariedade Social
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
RJ-SCIE	Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios
RSET	<i>Required Safe Egress Time</i>
SCIE	Segurança Contra Incêndio em Edifícios
SCMMC	Santa Casa da Misericórdia de Marco de Canaveses
SFPE	<i>Society Of Fire Protection Engineers</i>
SNS	Sistema Nacional de Saúde
TET	Tempo Total de Evacuação
UT	Utilização Tipo

### Lista de Unidades

<i>cm</i>	Centímetro
<i>h</i>	Horas
<i>m</i>	Metro
<i>m/s</i>	Metro por segundo
<i>s</i>	Segundo

### Lista de Símbolos

%	Percentagem
---	-------------

página propositadamente em branco

# 1. Introdução

Neste capítulo são expostos o enquadramento e os objetivos da dissertação, assim como, a metodologia utilizada, uma apresentação da empresa de acolhimento onde foi efetuado o projeto e por fim, a estrutura da dissertação.

## 1.1. Enquadramento e Pertinência

O presente trabalho foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, ramo de Gestão Industrial.

No contexto de evacuação de edifícios, em casos de catástrofes naturais ou falhas humanas, a identificação imediata do plano de emergência é vital para o sucesso do mesmo (Depari et al., 2018). Na verdade, a evacuação prévia permite minimizar em grande escala as consequências de qualquer desastre. Portanto, quanto maior o número de pessoas removidas do local antecipadamente, menor será o impacto das consequências (Perry, 2007). Os desastres naturais caracterizam-se por uma elevada incerteza, pelo que o foco principal deve sempre passar por melhorar a qualidade, eficiência e eficácia das tomadas de decisão durante o processo de evacuação de um edifício (D. Wang et al., 2020).

Neste sentido, salienta-se também que as incertezas do comportamento humano são inesperadas, o que se traduz numa elevada complexidade e eficiência do fluxo de evacuação (S. Chen et al., 2022). Efetivamente, a falta de conhecimento do edifício, locais obstruídos, o pânico (Depari et al., 2018) e as sinalizações de emergência são fulcrais para uma evacuação ineficiente (Fu et al., 2019).

Face a estes pontos, surge a oportunidade de desenvolver um sistema de apoio à decisão baseado num modelo de simulação (Ferreira et al., 2012) na Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) Rainha Santa Isabel, na Santa Casa da Misericórdia em Marco de Canaveses. Assim, é de cariz imperativo a elaboração de um modelo de evacuação eficaz para que se consiga atingir o objetivo de mitigar perdas da vida humana (Liu et al., 2020). Neste sentido, é crucial na preparação da realização de um modelo de simulação a análise e deteção de problemas, como gargalos nas rotas de evacuação, de modo a evitar desastres numa emergência real (Şahin et al., 2019). Todavia, a evacuação torna-se ainda mais desafiadora, especialmente, quando se trata de uma população vulnerável, nomeadamente, idosos, pessoas com problemas de saúde ou pessoas com incapacidade de mobilidade (Dulebenets et al., 2019). No que diz respeito a este grupo social é altamente esperado que tenham um comportamento de decisão heterogêneo em emergências (Golshani et al., 2019).

## Introdução

Em suma, com a realização de um modelo de simulação de evacuação de edifícios é possível orientar os responsáveis para o plano de evacuação mais adequado para a unidade de saúde inerente (Nepomuceno et al., 2020). Neste trabalho, o objetivo foca-se também na observação global dos tempos de evacuação de todas as pessoas em situações críticas para um local seguro (Depari et al., 2018).

### 1.2. Objetivos

Na presente dissertação pretende-se efetuar uma análise, avaliação e melhoria do processo de evacuação de emergência de um lar de idosos, de modo a garantir a segurança de todos os envolventes. Efetivamente, neste âmbito e de forma a responder a futuros problemas foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Implementação de um modelo de simulação no *software Pathfinder* da Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI);
- Avaliação do plano de contingência existente na instituição;
- Análise de diferentes cenários através da ferramenta de apoio à decisão;
- Avaliação dos diferentes cenários e identificação de pontos de estrangulamento no processo de evacuação;
- Análise dos resultados obtidos e propor melhorias.

### 1.3. Metodologia de Investigação

A presente dissertação foi desenvolvida através da metodologia Caso de Estudo, de modo a atingir os objetivos propostos. Esta metodologia consiste numa investigação que tem como base compreender um caso ou problema através de múltiplas perspetivas e dados dentro de um determinado contexto da vida real (Cope, 2015).

Na verdade, esta metodologia de investigação tem sido descrita como uma forma flexível e versátil de investigação qualitativa para uma abordagem aprofundada de uma questão complexa, onde a fronteira entre o contexto e a questão contém diversas variáveis e não se demonstra com clareza. Essencialmente, o investigador explora um ou múltiplos casos e recolhe dados detalhados ao longo do tempo (Taylor & Thomas-Gregory, 2015). Assim, o investigador consegue obter uma visão mais ampla e abrangente do caso ou fenómeno do que teria utilizando apenas um tipo de dados recolhidos (Heale & Twycross, 2018).

Na Tabela 1, de acordo com (Crowe et al., 2011), o desenvolvimento desta metodologia contém as seguintes etapas:

Tabela 1 - Etapas da metodologia Caso de Estudo (Crowe et al., 2011)

<b>Etapa</b>	<b>Definição</b>
<b>Definição do caso</b>	<p>Nesta etapa efetua-se o levantamento de questões formuladas cuidadosamente, com base na revisão de literatura existente. Deste modo, é importante definir de forma adequada e sucinta e, para tal, existe necessidade de uma apreciação prévia dos cenários e das questões teóricas. Portanto, deverá existir um limite previamente definido que clarifique a natureza e o período abrangido pelo caso de estudo, o grupo social inerente, a organização, os tipos de dados e a prioridade dos mesmos a recolher para a respetiva análise.</p>
<b>Seleção do caso</b>	<p>As decisões de seleção de casos de estudo merecem alguma reflexão devido a ser algo importante. Assim, com vista nos objetivos do estudo efetua-se a seleção do caso de acordo com o contexto em que se insere, podendo ser diferenciado por categorias, nomeadamente, casos intrínsecos, instrumentais e coletivos. Efetivamente, para um caso de estudo intrínseco, o caso deverá ser selecionado devido à sua peculiaridade e mérito. No que diz respeito ao caso de estudo instrumental, são estudados casos menos importantes, ou seja, permite ao investigador pesquisar um problema ou fenómenos. Por fim, num caso de estudo coletivo, selecionam-se múltiplos casos cuidadosamente o que permite comparações entre eles e melhorar o conhecimento do caso.</p>
<b>Recolha de dados</b>	<p>Esta etapa consiste na compreensão minuciosa e completa do caso de estudo. Geralmente a abordagem do estudo envolve a recolhe de dados de múltiplas fontes através de técnicas quantitativas, nomeadamente, questionários, análise de dados recolhidos através de rotinas e questionários. Por outro lado, também se utilizam técnicas qualitativas, como por exemplo, entrevistas e observações. Em suma, tem sido usual recorrer a múltiplas fontes de dados (triangulação de dados), o que visa aumentar a credibilidade e validade do estudo em si.</p>
<b>Análise, interpretação e divulgação dos dados</b>	<p>Nesta última fase, demonstra ser de extrema importância oferecer uma interpretação coerente das diversas fontes de dados. Portanto, prevê-se a necessidade de uma revisão e classificação repetida de dados volumosos e detalhados para o caso em análise. De salientar que, em casos de estudo coletivos mostra-se útil analisar prioritariamente os dados relativos e, posteriormente, os dados individuais antes das suas comparações. Posto isto, é de cariz prioritário fornecer e divulgar ao leitor a informação essencial para a compreensão dos processos e conclusões atingidas.</p>

Em suma, é possível observar que o processo ou a prática durante o caso de estudo revelam-se o núcleo das atividades em torno do qual derivam todas as outras emergentes. Assim, conclui-se que a interação durante o processo define os comportamentos importantes em relação ao caso de estudo. Por fim, a interpretação das reações, percepções e consequências ao longo de todo o tempo envolvente permite compreender detalhadamente a interação do processo ou prática através dos níveis, da intensidade e dos tempos. Estes dados são cruciais para os níveis de ação durante o caso de estudo (Njie & Asimiran, 2014).

### **1.4. Apresentação da Instituição ERPI Rainha Santa Isabel**

A Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel, de sigla ERPI é, como o próprio nome indica, uma instituição que alberga idosos ou pessoas que evoluem para situações de dependência. Está sediada no concelho de Marco de Canaveses, distrito do Porto. É uma das valências da Santa Casa da Misericórdia de Marco de Canaveses (SCMMC), cooperando com o Centro Distrital da Segurança Social do Porto. Tem capacidade para alojar 60 utentes. O edifício é constituído por quatro pisos, entre eles podemos encontrar compartimentos técnicos, refeitório, cozinha, biblioteca, átrio de acesso exterior, capela, salas de enfermagem, gabinetes médicos e de administração e, por último, os quartos (ERPI, 2024).

Como resposta ao grupo social em que se insere, a empresa tem como objetivos a otimização da integração social dos utentes inerentes, contribuindo para um envelhecimento ativo. Criar atividades dinâmicas para a estimulação de vários pontos, nomeadamente, a criatividade, motricidade e capacidade de raciocínio nas pessoas idosas, para tal, a estrutura conta com profissionais de animação sociocultural. Procura ainda proporcionar condições adequadas ao estado biopsicossocial dos idosos, incentivando a relação intrafamiliar durante a residência permanente ou temporária. Neste sentido, a ERPI tem como prioridade planificar e monitorizar as condições de conforto, de modo a melhorar as mesmas. Com isto e, de forma a conseguir responder a estas necessidades, a empresa prima por uma equipa multidisciplinar composta por auxiliares, assistente social, cozinheiras, nutricionista, psicóloga, enfermeiras, terapeuta ocupacional e médico. Deste modo, demonstra-se a importância da implementação de estratégias de gestão, desenvolvimento e formação interna e externa a todos os funcionários (ERPI, 2024).



Figura 1 - Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI, 2024)

## 1.5. Conteúdo e Organização da Dissertação

A presente dissertação está organizada em 6 capítulos.

No primeiro capítulo é realizada uma contextualização do projeto e a respetiva estrutura e, ainda, uma breve apresentação da empresa que acolheu este tema. De salientar, a abordagem dos objetivos e opções metodológicas aplicadas durante a realização do caso de estudo.

No segundo capítulo, visa a sustentação de todos os conceitos teóricos implementados na execução de todo o projeto. Na verdade, este apresenta uma revisão bibliográfica acerca de casos de estudo de evacuação de edifícios hospitalares e a respetiva legislação. Assim, o principal objetivo deste capítulo é enquadrar a simulação como ferramenta de apoio à decisão e realçar a importância da Indústria 4.0 no setor da saúde, nomeadamente, em Portugal.

No que diz respeito ao terceiro capítulo, é realizado o desenvolvimento da ferramenta e modelo de simulação, no *software Pathfinder*, da Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI), bem como as distintas estratégias e cenários do caso de estudo.

No quarto capítulo, debate-se os resultados obtidos através do modelo de simulação realizado.

Relativamente ao quinto capítulo, são apresentadas as conclusões finais do projeto realizado e propostas de possíveis trabalhos futuros.

No final, apresentam-se as referências bibliográficas que serviram de base para a execução de toda a dissertação.

## Introdução

página propositadamente em branco

## **2. Revisão Bibliográfica**

Neste capítulo apresenta-se uma monografia acerca da simulação de unidades hospitalares e as diferentes estratégias utilizadas em emergências. Na verdade, o mesmo sustenta, com os conceitos teóricos, todos os processos de evacuação subjacentes ao desenvolvimento do projeto. Posto isto, é analisada a simulação como ferramenta de apoio à decisão referindo vários *softwares* de evacuação. Salienta-se ainda que este capítulo tem por base a consulta de artigos científicos acerca de casos de estudo de evacuação de unidades hospitalares.

### **2.1. Casos de Estudo - Aplicação da Indústria 4.0 (Simulação) no Sector da Saúde**

Num momento de constantes mudanças climáticas, prevê-se que sejam cada vez mais comuns acontecimentos de desastres naturais. Posto isto, é fundamental que unidades hospitalares funcionem de forma eficaz para que não se comprometa a resiliência de uma comunidade face aos impactos adversos. Na realidade a maioria das unidades hospitalares não foram concebidas com ênfase nos riscos climáticos extremos. Na verdade, existe uma lacuna crítica na investigação de fatores chave para um planeamento de evacuação eficaz para riscos futuros, uma vez que, é escassa a pesquisa sobre o planeamento de evacuação de hospitais (Yazdani et al., 2022).

De salientar, que é de extrema importância desenvolver um plano de evacuação eficaz e seguro devido à complexidade de edifícios hospitalares. Posto isto, as elaborações de simulacros em ambientes de cuidados de saúde acabam sempre por ser extremamente difíceis. Assim, o auxílio de um dos fatores da Indústria 4.0, como a simulação, é bastante mais viável para melhorar a eficiência das estratégias de evacuação (Abir et al., 2022).

Na Tabela 2, estão descritos casos de estudo de aplicação da Indústria 4.0 no sector da saúde que demonstram a aplicabilidade de métodos de simulação de unidades hospitalares e os respetivos resultados. Os casos de estudo referidos foram analisados e resumidos na tabela, de acordo com as diferentes estratégias e os resultados obtidos nos enumerados casos.

Tabela 2 – Revisão Bibliográfica – Aplicação da Indústria 4.0 no sector da saúde

Referências	Descrições do trabalho
(Mikulik et al., 2014)	<p>Neste trabalho, foi apresentado um modelo de simulação de evacuação de emergência nas instalações de uma parte do Hospital Sr. <i>Jozef Babinski</i> em Cracóvia, Polónia. Na verdade, foi utilizado o software de simulação <i>3D FlexSim Healthcare</i> para determinar o tempo que demoraria a evacuação do edifício e, ainda, que tipo de melhorias de baixo custo podiam ser realizadas para reduzir o tempo de evacuação. Posto isto, foi possível comprovar que os resultados foram significativos com a criação do modelo de simulação. Com a implementação das melhorias, observou-se uma redução do tempo de evacuação de cerca de 50% do tempo total. Efetivamente, as melhorias cruciais que permitiram uma redução significativa do tempo de evacuação foram as mudanças no protocolo, nomeadamente, a remoção de pequenos obstáculos dos corredores que possam reduzir a capacidade de fluxo.</p>
(Zou et al., 2020)	<p>Neste estudo, foram realizadas simulações de evacuação de utentes de um hospital situado na China. Na verdade, os utentes são divididos naqueles utentes que necessitam do auxílio de cadeira de rodas, pacientes em geral e pessoas normais. Posto isto, foram analisados tempos de espera, tempos de evacuação e diferentes rotas de evacuação com base nos três diferentes tipos de pacientes. Efetivamente, a rota estabelecida como prioritária é, primeiramente, evacuar o grupo com maior vulnerabilidade seguido dos pacientes em geral e pessoas normais. Neste sentido observou-se que, os dois últimos grupos ao evitarem as rotas das cadeiras de rodas, é realizada uma rota de evacuação mais curta, rápida e eficaz. Em suma, foi possível verificar que o objetivo deste estudo foi atingido. Através da análise dos resultados da simulação constatou-se que a redução de interferência entre os diferentes grupos, dando prioridade ao grupo mais fraco, conduz à eficiência da evacuação do edifício.</p>
(W. Chen et al., 2015)	<p>Neste artigo, tratou-se da implementação de um plano de evacuação de um edifício hospitalar face a uma inundação. Efetivamente, elaborou-se um modelo de simulação dinâmico, através de um <i>software</i> comercial de simulação, capaz de antecipar o dinamismo do processo de evacuação. Neste modelo apenas foram considerados os utentes não autónomos. Posto isto, segundo os gestores do hospital, a evacuação de 120 pacientes deveria ser realizada em 5h. Assim, foram propostas duas melhorias organizacionais ao atual plano de evacuação capazes de diminuir o tempo total do processo. Na verdade, a primeira melhoria diz respeito à preparação prévia do processo, visto que, o aumento de enfermeiros, macas ou ambulâncias não afeta o tempo de preparação do plano de evacuação. Ou seja, a utilização de um sistema de informação</p>

adequado iria reduzir significativamente a preparação das listas de pacientes e, conseqüentemente, a preparação do processo. Em seguida, a segunda melhoria consiste no comportamento das macas no transporte dos utentes. Assim, os pacientes depois de transportados eram deixados nas ambulâncias permitindo que a maca ficasse livre para transportar mais pessoas.

Em suma, foi possível observar uma melhoria significativa após a implementação destas medidas. Importa salientar, que o tempo total de evacuação foi drasticamente diminuído, uma melhoria de cerca de 1h e 18 minutos.

**(Tayfur & Taaffe, 2009)**

Neste artigo, realizou-se uma abordagem heurística com base na otimização. Esta abordagem permitiu identificar recursos durante a evacuação de um hospital, minimizando custos. Na verdade, este modelo permitiu aos gestores de risco verificar se o plano de evacuação dos pacientes atual é adequado. Os pacientes são categorizados de acordo com o seu nível de debilidade. Efetivamente, a alocação dos recursos, transporte de doentes e auxiliares, assim como, a proporção dos mesmos são definidas de acordo com as categorias dos pacientes. Posto isto, observou-se que em alguns casos requer um tempo de preparação significativo. Assim, foi possível quantificar e relacionar a disponibilidade de recursos, o custo dos mesmos e o tempo total de evacuação. Em suma, verificou-se que o tempo de conclusão da evacuação mostra-se inversamente proporcional aos custos relacionados. Ou seja, observou-se uma diminuição do tempo total de evacuação na ordem das 6h. Contudo, o nível orçamental aumentou radicalmente e, assim, permite aos gestores de risco tomar decisões sobre como conduzir a evacuação.

**(Rahouti et al., 2020)**

Esta abordagem focou-se na apresentação de novos dados de tempos de preparação e tempo total de evacuação através da simulação de 111 pessoas, incluindo pacientes e funcionários, de uma unidade de saúde pública, localizada na Nova Zelândia. Posto isto, uma das medidas propostas na fase inicial é que toda a equipa responsável pela evacuação deve percorrer toda a área a incentivar o processo. Na fase de movimento de evacuação observou-se que os pacientes se moviam mais lentamente que os valores sugeridos no modelo de simulação. Devido aos pacientes muitas vezes ficarem bloqueados pela presença de outros pacientes com mobilidade reduzida e, também, devido à maioria dos pacientes escolherem a mesma rota de evacuação. Contudo, os funcionários responsáveis foram os últimos a evacuar o edifício de modo a garantir a evacuação de todos os pacientes.

Portanto, neste estudo, verificou-se que o tempo de preparação para evacuar por paciente varia entre os 8 a 63 segundos. De salientar ainda

	<p>que, durante a fase de movimento os funcionários e os pacientes sem incapacidades de mobilidade moveram-se a uma velocidade de 0,93 m/s e 1,96 m/s, respetivamente, o que se pode concluir que é semelhante. Por fim, observou-se que os pacientes que necessitam de auxílio moviam-se a 0,52 m/s, ou seja, cerca de metade da velocidade dos dois primeiros grupos.</p>
<p>(Haghpanah et al., 2021)</p>	<p>Neste estudo, desenvolveu-se um modelo de simulação do departamento de saúde, <i>Johns Hopkins Hospital</i>, durante a pandemia da COVID-19 no decorrer de um incêndio. Destacou-se que é necessário implementar novas condições devido à situação de pandemia e aos desafios emergentes da mesma. Na verdade, em cenário anterior à pandemia foram obtidos resultados em que a equipa responsável obteve como tempo de evacuação entre os 19 a 34 minutos. No cenário atual observou-se um valor mediano de 50 minutos. Perante a situação epidémica a primeira estratégia realizada foi aumentar a equipa de enfermeiros responsáveis. Assim, verificou-se uma redução do tempo de evacuação para 32 minutos, com o limite máximo a chegar aos 80 minutos. Contudo, foi notório o aumento do orçamento na contratação de funcionários de modo a expandir a equipa. Uma outra medida proposta foi alocar os doentes afetados com COVID-19 numa outra área, perto de uma saída de emergência. Posto isto, os pacientes em geral utilizavam a saída principal. Efetivamente, não seria necessário evacuar os pacientes por fases, de modo a não se cruzarem. Portanto, notou-se que a segunda medida pode ser menos eficaz no tempo médio de evacuação, reduzindo apenas para 41 minutos. Por outro lado, o limite máximo estabiliza-se nos 55 minutos ao contrário da primeira medida.</p> <p>Em suma, observou-se que o aumento da equipa de enfermagem, embora seja uma medida muito mais dispendiosa, reduz o valor médio e o limite máximo de evacuação em 36% e 33%, respetivamente. Todavia, uma saída de emergência dedicada por categoria de pacientes verificou-se menos eficiente no tempo médio embora consiga reduzir o limite superior em mais de 50%.</p>
<p>(Golmohammadi &amp; Shimshak, 2011)</p>	<p>Neste artigo, apresentou-se um modelo genérico que consegue estimar o tempo de evacuação de uma unidade hospitalar numa situação de emergência. De salientar que a principal vantagem deste modelo é o tempo de cálculo curto, uma vez que não necessita de validação e, não se torna dispendioso ao contrário dos modelos de simulação já existentes. Na verdade, este modelo consistiu no tempo de preparação para evacuar e, seguidamente, o tempo de movimento para um local seguro. Foram considerados três tipos de pacientes, nomeadamente, pacientes independentes, os com algumas restrições de mobilidade e os</p>

críticos. Todos estes fatores foram estabelecidos de forma a aumentar a aplicabilidade do modelo.

Por fim, observou-se uma diferença absoluta entre este modelo e os modelos de simulação de 9,34 minutos, ou seja, uma diferença percentual de 11,47%. Assim, verificou-se que em caso de emergência os gestores de risco podem optar por um modelo mais rápido, visto que a diferença seria considerada aceitável.

(Li et al., 2020)

Neste trabalho, utilizou-se o *software Massmotion* de modo a estabelecer um modelo de evacuação de um lar de idosos na China. Efetivamente, este modelo estudou o impacto da distribuição dos idosos por pisos de acordo com o seu nível de dependência. Quanto maior o nível de dependência, mais baixo o nível do piso que seria distribuído o idoso, ou seja, a distribuição deve ser realizada do piso inferior para o superior. Assim, como as condições das instituições de assistência de idosos mostram-se demasiado restritas para que todos os idosos dependentes consigam ser alocados no primeiro andar, o processo de evacuação deve ser maximizado através dos corredores. Posto isto, foi possível determinar rotas de evacuação adequadas de acordo com a localização de cada idoso, de forma a melhorar a utilização dos canais de evacuação. Por fim, observou-se que o ponto crítico são as escadas e que o tempo total de evacuação prolonga-se significativamente com o aumento da proporção dos idosos dependentes. Entretanto, verificou-se resultados significativos se a distribuição de idosos dependentes acima do primeiro andar for nula. A velocidade máxima atinge valores de 0,52 m/s, o que se traduz num aumento de 37%, quando comparado com a ocupação acima do primeiro andar com idosos dependentes ultrapassa os 50%.

(Alam et al., 2022)

Neste artigo, desenvolveu-se uma estrutura de otimização e um modelo de microssimulação de tráfego que tem em conta a evacuação em massa, na província da Nova Escócia, Canadá, de pessoas com lacunas de mobilidade. Para além disso, este trabalho otimizou a alocação de recursos, implementando rotas mais eficientes. O estudo avaliou duas condições operacionais, nomeadamente, evacuação utilizando veículos de emergência com e sem rota definida. Este processo aloca 90 ambulâncias para evacuar 512 pessoas com mobilidade reduzida. Posto isto, observou-se que, após a otimização da alocação dos veículos de emergência, seriam necessárias 19,5h para realizar este processo.

Por fim, através dos resultados da simulação constatou-se que para evacuar a totalidade das pessoas são necessárias 21h. Deste modo, que o tempo total de evacuação é reduzido cerca de 32,31%, caso existam

	<p>rotas previamente definidas. Com estes resultados, destacou-se a importância do tempo dedicado à realização de rotas de evacuação.</p>
<p><b>(Alonso-Gutierrez &amp; Ronchi, 2016)</b></p>	<p>Neste estudo, desenvolveu-se um modelo de simulação utilizando dois programas comerciais de evacuação, <i>STEPS</i> e <i>Pathfinder</i>. Na verdade, verificou-se questões de calibração, capacidades e limitações na simulação da evacuação hospitalar. Assim, foram constituídos três cenários distintos tendo em conta o estado e mobilidade de cada paciente. Desta forma, observou-se ainda os tempos de pré-evacuação, preparação e velocidade de evacuação. Efetivamente, o primeiro cenário constituiu-se com 6 grupos de emergência (12 profissionais de saúde), o segundo com 4 grupos de emergência (8 profissionais de saúde) e o terceiro com 3 grupos de emergência (6 profissionais de saúde). Posto isto, observou-se que após a evacuação de 22 pacientes através da simulação dos cenários obtiveram-se os seguintes resultados de tempo total de evacuação 30,13 minutos, 43,08 minutos e 59,34 minutos, respetivamente.</p> <p>Em suma, para além dos tempos de evacuação, verificou-se que ambos os programas podem ser calibrados para que simulem variáveis como prioridade de evacuação e tempo de preparação.</p>
<p>(Johnson, 2006)</p>	<p>Neste trabalho, implementou-se um <i>software</i> de simulação para a evacuação de uma unidade hospitalar, denominado <i>G-HES</i>. Este <i>software</i> tem uma abordagem baseada no risco que pode ser calibrada através de observações de exercícios reais de evacuação. Contudo, este caso de estudo não teve em conta quaisquer custos adicionais na formação de profissionais, bem como, condições inesperadas e difíceis de mitigar. Assim, o processo base focou-se na evacuação do caso mais crítico, um grupo misto de pacientes com mobilidade e incapacitados, 10 e 20 pacientes, respetivamente. De salientar que, se simulou este processo de evacuação num turno noturno com recurso a 6 e 3 profissionais, verificando-se um tempo total de evacuação de 1439 segundos e 2703 segundos, respetivamente.</p> <p>Posto isto, observou-se que a maior contribuição de <i>softwares</i> de simulação consiste não só na previsão de tempos de evacuação referentes ao plano de evacuação, mas também no planeamento de exercícios reais de evacuação. Contudo, os resultados deste caso de estudo necessitam ainda da realização de simulacros para a validação dos resultados previstos.</p>
<p>(Jiang et al., 2014)</p>	<p>Neste artigo, realizou-se a simulação dinâmica de evacuação do edifício hospitalar situado em <i>Shenyang</i>, China, com base num <i>software</i> de simulação de incêndio. Desta forma, para uma simulação eficiente analisou-se a correlação entre os comportamentos dos pacientes</p>

---

perante uma emergência e a velocidade de evacuação dos mesmos. Deste modo, observou-se que as estratégias prioritárias na evacuação de unidades hospitalares são as instruções claras e eficazes acerca do plano de emergência e as larguras das saídas. Posto isto, simulou-se a evacuação em caso de incêndio, tendo em conta as larguras das saídas de emergência. Na verdade, verificou-se uma diminuição drástica do tempo total quando a largura de saída aumenta dos 13 para os 16 metros. Após os 16 até aos 22 metros, o tempo de evacuação diminui lentamente. Com isto, foi possível constatar que não é viável evacuar o hospital em menos de 6 minutos até que a largura de saída seja de 22 metros. Contudo, após este valor o tempo de evacuação total mantém-se estável, cerca de 330 segundos, ou seja, conclui-se que esta largura representa o valor crítico para uma evacuação eficaz.

Em jeito de conclusão deste estudo, concluiu-se que os resultados ilustram que os pacientes em ambientes hospitalares se movem, cerca de 70 a 90%, mais lentamente do que em comparação com pessoas saudáveis em edifícios públicos.

**(Boonngam &  
Patvichaichod,  
2020)**

Neste estudo, simulou-se a evacuação em situação de incêndio de um hospital, na Tailândia, que aloca 4017 pacientes distribuídos em 10 andares através do *software Pathfinder*. Segundo o limite controlado pelo *High Building Controlled*, o tempo de evacuação em caso de incêndio fixa-se em menos de 1 hora. Assim, para a simulação do processo de evacuação testou-se 3 cenários distintos. O primeiro consistiu nas pessoas evacuarem o edifício através de quaisquer rotas de evacuação, no segundo simulou-se que uma das portas de saída estava interdita e no último cenário, as 5 portas de saída estavam inutilizáveis. Após a simulação, observou-se que os tempos totais de evacuação foram de 3048 segundos, 2931 segundos e 2958 segundos, respetivamente. Posto isto, sugeriu-se o ajuste dos elevadores para que pudessem ser utilizados como saída de emergência, dado a existência de pacientes sem mobilidade em andares superiores. Na verdade, implementou-se esta medida para os pacientes críticos do 4º e 5º andar.

Em conclusão, após esta implementação foi possível verificar que o tempo total de evacuação de todas as pessoas do hospital foi reduzida em 35,05%, 32,46% e 33,08%, respetivamente, em relação aos cenários anteriormente apresentados.

(Su et al., 2021)

Nesta abordagem, avaliou-se o desempenho de duas estratégias de evacuação distintas durante o horário crítico através de um *software* de simulação. A unidade hospitalar, situado em Singapura, que se analisou neste caso de estudo tem capacidade para 209 pessoas, entre pacientes, profissionais e visitas. Na verdade, este modelo de simulação subdividiu

---

os pacientes em categorias, nomeadamente, pacientes em estado crítico (P1), pacientes que apenas se movem com auxílio (P2) e pacientes que conseguem se mover, mas em ritmo lento (P3). Desta forma, foram propostas duas estratégias de evacuação. A primeira consistiu em priorizar a preparação, ou seja, a evacuação dos pacientes será apenas efetuada após a preparação da totalidade. Enquanto a prioridade da segunda estratégia, embora o processo de seleção inicial seja igual, focou-se na evacuação imediata do paciente após a sua preparação. Assim, observou-se que a primeira estratégia em termos de tempos máximos de evacuação mostrou-se mais rápida cerca de 28,6% (19,2 minutos) do que a segunda estratégia (26,9 minutos) para pacientes P1. De salientar ainda que, para pacientes P2 e P3, a primeira estratégia foi capaz de evacuar mais rapidamente cerca de 26% e 10%, respetivamente, em relação à estratégia posterior.

Em suma, concluiu-se que ambas as estratégias são eficientes nas suas vantagens. Efetivamente, através dos resultados analisados identificou-se que caso se priorize a preparação da totalidade dos pacientes, isso traduz-se num tempo de evacuação total menor, embora possa gerar maior acumulação de pacientes, durante o plano de emergência. Por outro lado, a evacuação dos pacientes um por um obteve um maior número de pacientes evacuados nos primeiros 20 minutos. Para além disso, esta última estratégia obriga a uma maior equipa de evacuação e a maior esforço físico dos mesmos.

**(W. Zhang & Yao, 2010)**

Neste trabalho, implementou-se um modelo de evacuação hospitalar com o auxílio do *software Anylogic*. No desenvolvimento deste modelo de simulação observou-se que, para evacuar um piso com o total de 34 pessoas, entre elas pacientes graves, pacientes capacitados, profissionais e visitantes, foram necessários 4,57 minutos. De salientar que os profissionais que evacuam os pacientes mais críticos são bloqueados pelos restantes, o que reduz a capacidade e eficiência do plano de emergência. Para tal, foram propostas três estratégias distintas. A primeira, focou-se na diferente alocação dos pacientes mais críticos para que houvesse uma diminuição do bloqueio no plano de evacuação. A segunda, consistiu na evacuação de todos os pacientes críticos em primeiro lugar e, de seguida, evacuar os restantes pacientes e familiares, o que desta forma evitou por completo o bloqueio das saídas de emergência. Por último, a estratégia teve como base a complementação de ambas as vantagens das duas primeiras regras. Efetivamente, após a simulação de todas as estratégias verificou-se que os resultados do tempo total de evacuação foram 4,04 minutos para a primeira estratégia e 3,10 minutos para as duas últimas.

Por fim, foi possível analisar que a complementação das estratégias mostrou maior eficácia, uma vez que para além de reduzir em maior escala o tempo de evacuação, garante a melhoria da segurança e capacidade do plano contingente.

(Bish et al., 2017) Neste estudo, implementou-se um modelo de otimização de planos de emergência, regras de evacuação e níveis de recursos, nomeadamente, profissionais e transportes de emergência. Na verdade, no processo inicial, constituído por 386 pacientes e 10 ambulâncias, o plano de evacuação simulado resultou num tempo total de 59,67 horas com apenas uma via disponível para ambulâncias. Desta forma, sugeriu-se o aumento de faixas para ambulâncias com foco na otimização do tempo total de evacuação. Posto isto, observou-se que existe maior redução do tempo total quando se implementou uma segunda faixa. Esta alteração traduziu-se num tempo total de 30,67 horas. Contudo, da implementação da segunda faixa até ao incremento de cinco faixas de emergência, verificou-se uma redução gradual até atingir o valor de 15,5 horas. No entanto, a utilização dos recursos continua desequilibrada, uma vez que estes são altamente dependentes da combinação, alocação e capacidade de transporte de pacientes.

Por fim, concluiu-se que este modelo deve mudar o paradigma para que os pacientes críticos sejam prioridade. Assim, esta análise apresenta que as prioridades se devem reger pelos recursos internos disponíveis para que seja permitido evacuar dentro do limite estabelecido.

---

Após a realização da análise aos casos de estudo referidos, os resultados mostraram elevada aplicabilidade nos diversos setores da saúde com influência extremamente positiva. Na verdade, a integração da Indústria 4.0 no setor da saúde fornece diversos recursos, nomeadamente, distintas abordagens de otimização bem definidas, identificar pontos de estrangulamento, permite tomar decisões rapidamente e, por fim, validar modelos testados através de simulação (Kumar et al., 2020). De salientar ainda que esta revisão bibliográfica permitiu verificar que o uso de ferramentas como a simulação no apoio à decisão em casos de emergência é impreterível.

## **2.2. Enquadramento de uma ERPI no Setor da Saúde em Portugal**

Portugal enfrenta uma crescente proporção de população cada vez mais envelhecida exigindo, assim, maior pressão para o aumento de cuidados sociais e médicos de longa duração para idosos, doentes crónicos e doentes com deficiências mentais ou físicas (Pita et al., 2011). Este grupo social requer uma abordagem multidisciplinar, uma vez que a saúde dos idosos obriga a cuidados abrangentes e diversificados, nomeadamente, a nível cognitivo, social ou emocional (Carpenter et al., 2022).

Posto isto, a qualidade de vida de todos os grupos sociais inerentes aos lares de idosos deverá ser sempre um componente central e nunca negligenciado. Desta forma, as estruturas residenciais para idosos são parte crucial do sistema de saúde (Kane et al., 2005). Estas estruturas ressaltam a sua contribuição no alojamento coletivo de forma temporária ou permanente, adaptação dos cuidados às necessidades específicas de cada utente, contribuição para o processo de envelhecimento, privilégio de interação com familiares, otimização dos níveis sociais e pessoais. Na verdade, estas instituições foram assim caracterizadas através da Portaria nº67/2012, de 21 de março.

Segundo a lei de Bases da Saúde, Lei nº95/2019, de 4 de setembro, são estabelecidas bases da política de saúde, nomeadamente, o direito a cuidados de saúde, pressupondo o desenvolvimento do estado físico, mental e social. Esta abordagem caracteriza-se por se adaptar às necessidades de cada utente, sendo transversal, evolutiva e dinâmica. Assim, a qualidade dos serviços prestados nos lares de idosos está intrinsecamente conectada e deve ser garantida com a obrigação do cumprimento de diversas regulamentações estabelecidas para que se garanta o bem-estar e a segurança dos residentes. A lei que regula a Ordem dos Enfermeiros, Lei nº111/2009, de 16 de setembro, refere que a ligação entre os profissionais de saúde e as residências para idosos emerge como essencial para garantir competências, responsabilidades e eficácia dos cuidados de saúde prestados à população mais vulnerável. Os idosos são protegidos também pela Lei nº100/2019, de 6 de setembro, que tem como objetivos disponibilizar profissionais especializados. Por fim e, não menos importante, a prestação de serviços de saúde mental em estruturas residenciais para idosos é garantida pela Lei nº36/98, de 24 de julho.

De salientar que é crucial a Lei nº119/2015, de 31 de agosto, que regula as Instituições Particulares de Solidariedade Social (IPSS) abrangendo, então, o financiamento, supervisão e funcionamento das instituições como as ERPI.

Todavia, o grupo social apresentado revela um elevado risco de acontecimentos inesperados, como demência, morbilidade, hospitalizações ou até mesmo mortalidade (Brown et al., 2012). Efetivamente, devido a estes fatores o maior ponto crítico nos cuidados de saúde podem ser as suas implicações éticas. Uma vez que desempenham um papel fundamental nos cuidados dos idosos, designadamente nas decisões em situações de incapacidade e autonomia do utente (Folk et al., 2020).

É ainda importante realçar, sucintamente, a constituição dos sistemas coexistentes no sistema de saúde português (Pita et al., 2011):

- O Sistema Nacional de Saúde (SNS);
- O seguro médico voluntário privado;
- Regimes especiais de seguros públicos ou privados.

Em suma, o papel destas instituições mostra-se vital para o bem-estar, a estabilização e evolução dos idosos residentes. A segurança é também uma prioridade inegável e, conseqüentemente, a simulação de evacuação de edifícios residenciais para idosos mostra-se como o principal objetivo deste trabalho e emerge como prática fundamental para assegurar.

Deste modo, a inclusão da diversidade comportamental do grupo social inerente a este trabalho é parte vital para a otimização do tempo de evacuação (Folk et al., 2016).

### 2.3. A Importância da Indústria 4.0 para o Sector da Saúde

A Indústria 4.0, conhecida como a quarta revolução industrial com início em 2011 através do governo alemão, implementou diversas mudanças através de novas tecnologias em todos os setores, nomeadamente, no setor da saúde, a Saúde 4.0. Efetivamente, é possível identificar seis princípios da Indústria 4.0 aplicados a este setor, a capacidade de realizar operações em tempo real, a virtualização, a orientação de serviços, a interoperabilidade, que consiste na capacidade de sistemas cyber-físicos comunicarem entre si e ainda a modularidade, que permite a alteração de tarefas mais facilmente. Por último, a descentralização que refere que as decisões são feitas pelo sistema cyber-físico. Portanto, a interferência da Indústria 4.0 com o setor da saúde permite aumentar a eficácia nas tomadas de decisão e, conseqüentemente, um sistema de saúde mais eficiente (Kotzias et al., 2023).

A Indústria 4.0 é caracterizada pela criação de processos extremamente automatizados (Erboz, 2017). Deste modo, a Indústria 4.0 tem como foco atingir níveis elevados de eficiência social e ambiente, bem como a produtividade. Portanto, existe um conjunto de tecnologias que constituem os nove pilares (Figura 2). Estes nove pilares são constituídos pela análise *Big Data*, capacidade de tratamento de um elevado número de dados em tempo real, a Robótica avançada e Realidade Aumentada e a Manufatura Aditiva, como a impressão 3D. O armazenamento de dados em “Nuvem”, a Segurança Cibernética, proteção de dados, a *Internet of Things*. A Integração de sistemas Horizontais e Verticais que permite a integração de informações a nível de cadeias iguais ou distintas e, por último, a simulação (Ibrahim et al., 2020).

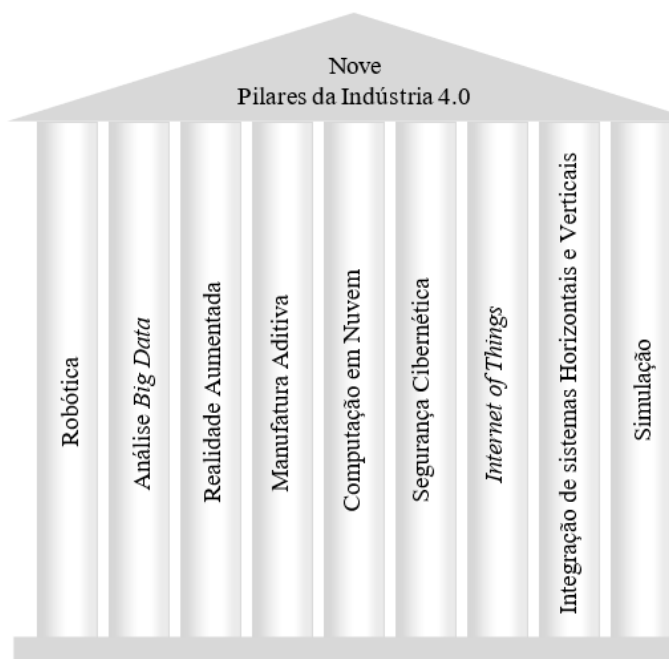


Figura 2 - Nove pilares da Indústria 4.0 (Adaptado de: (Ibrahim et al., 2020))

Neste trabalho, damos ênfase à aplicação desta revolução industrial no pilar da simulação, precisamente, no setor da saúde. A simulação neste setor tem vindo a ser mais reconhecida como um pilar essencial ao incremento da eficácia nos processos médicos. Na verdade, esta tecnologia permite a validação e a eficácia de projetos através da implementação de cenários reais (Zheng et al., 2018). A simulação perante o setor da saúde tem como objetivo analisar o desempenho e precisão de projetos e processos reais através de tratamento de dados em tempo real e, conseqüentemente, otimização de alocação de recursos. Com isto, permite a implementação de alterações na realidade com o intuito de mitigar riscos e reduzir custos (Gilchrist, 2016). Neste sentido, a simulação permite avaliar e aumentar a eficácia das decisões dos profissionais antes de implementadas (Kotzias et al., 2023).

## **2.4. Legislação – Evacuação de Unidades Hospitalares**

Os objetivos da segurança de edifícios são regidos sobre regulamentos e legislações. Assim, de modo a alcançar esses objetivos e a colmatar lacunas existentes, como a ocorrência de incêndios e a evacuação de ocupantes de riscos, no sistema de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) em Portugal entrou em vigor, no dia 1 de janeiro de 2009, o Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de novembro. Este decreto estabelece o Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). Na verdade, os edifícios devem ser dotados de medidas de autoproteção e gestão de segurança, nomeadamente, habitações, unidades de saúde, escolas e edifícios públicos. As medidas de autoproteção baseiam-se em simulacros, estratégias para mitigar incêndios, preparação de pessoal qualificado, estratégias de planos de emergência, larguras úteis dos caminhos de evacuação devem ser adequadas a cada edifício (medidos em unidades de passagem) e otimização dos recursos disponíveis. Desta forma, através da Portaria 1532/2008, de 29 de dezembro, define-se tecnicamente os critérios e regulamentos a cumprir para atingir o objetivo principal.

De acordo com a Portaria nº 208/2020, de 1 de setembro, primeira alteração à Portaria nº 773/2009, de 21 de julho, é definido o cumprimento do regulamento por parte das entidades de comercialização e manutenção de sistemas de segurança de edifícios contra incêndios perante a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC).

Segundo a Portaria nº 135/2020, de 2 de junho, pretende-se avaliar e adequar alterações ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios, aprovado pela Portaria nº 1532/2008, de 29 de dezembro. Posteriormente, esta portaria foi retificada pela Declaração de Retificação nº 26/2020, de 27 de julho, adequando acessos a água e vias de evacuação, combatendo as exigências da resistência ao fogo.

De acordo com o Decreto-Lei nº 127/2014, de 22 de agosto, as unidades de prestação de serviços de saúde ficam sujeitas ao funcionamento segundo o regime jurídico. Assim, ficam dependentes de verificação de requisitos técnicos. Este decreto-lei sofre retificações segundo a Declaração de Retificação nº 39/2014, de 12 de setembro. Posteriormente, sofre a 1ª alteração através do Decreto-Lei nº 125/2019, de 28 de agosto, que visa alterar o prazo de adaptação previsto no 19º artigo do anterior decreto.

Segundo o Artigo 8º do DL nº 220/2008, de 12 de novembro, os edifícios e estabelecimentos podem ser caracterizados de acordo com 12 Utilizações-Tipo (UT). Desta forma, este regulamento procura definir a totalidade das infraestruturas previstas. Portanto, os edifícios podem ser classificados pelo seguinte:

- Utilização-tipo I – Edifícios de habitação unifamiliar ou multifamiliar;
- Utilização-tipo II - Edifícios públicos ou privados destinados a estacionamento de veículos;
- Utilização-tipo III – Edifícios que desenvolvem atividades de prestação de serviços ou atividades administrativas;
- Utilização-tipo IV – Edifícios escolares públicos ou privados;
- Utilização-tipo V – Edifícios hospitalares ou lares de idosos;
- Utilização-tipo VI – Edifícios destinados a espetáculos e a receber público;
- Utilização-tipo VII – Edifícios hoteleiros e de restauração;
- Utilização-tipo VIII – Edifícios comerciais;
- Utilização-tipo IX – Edifícios e recintos desportivos ou lazer;
- Utilização-tipo X – Museus ou galerias de arte;
- Utilização-tipo XI – Bibliotecas;
- Utilização-tipo XII – Edifícios industriais.

Consequentemente, cada umas das UT existentes são classificadas de acordo com quatro distintas categorias de risco, segundo a terceira alteração ao DL nº 220/2008, de 12 de novembro, a Lei nº 123/2019, de 18 de outubro. Todavia, a classificação tem como fatores de risco, designadamente, a altura da UT, número de pisos ocupados abaixo do nível definido pela utilização-tipo, totais efetivos em locais de risco D e E, densidade de carga de incendio e área bruta ocupada.

Os locais de risco são representados de A até F, de acordo com Artigo nº 10 do decreto de lei mencionado anteriormente. Efetivamente, os locais de risco são pontos nevrálgicos que apresentam elevado risco de emergência, como incêndios ou explosões.

Neste sentido, a Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) enquadram-se exclusivamente afeto à Utilização-tipo V (UTV) – “edifícios hospitalares e lares de idosos”, categorizado na 2ª categoria de risco – “locais de risco D ou E”.

Segundo o Artigo nº 198 da Portaria 1532/2008, de 29 de dezembro, as medidas de autoproteção a executar de acordo com esta categorização são as seguintes:

- Planos de emergência;
- Inspeções de 5 em 5 anos, segundo o Artigo 19º do DL nº 224/2015, de 9 de outubro;
- Simulacros anuais, de acordo com a 1ª alteração à portaria descrita, Portaria nº 135/2020, de 2 de junho;

- Equipas de segurança qualificadas;
- Ações de sensibilização;
- Formação interna em Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE);
- Planos de prevenção.

Por fim, segundo (Pinheiro, 2012), não é necessidade obrigatória realizar a evacuação total do edifício. Na verdade, com a rápida identificação tanto do foco de incêndio, como das saídas de emergência e identificação dos pontos críticos, pode ser suficiente realizar a evacuação parcial.

## **2.5. Fases do Processo e Tempos de Evacuação**

O tempo total de evacuação consiste no período entre o início de uma ordem para evacuar até à saída da totalidade das pessoas para uma área segura (L. D. Han et al., 2007).

Segundo (Hulida et al., 2019), a segurança das pessoas apenas é uma garantia, desde que o tempo de evacuação não ultrapasse o limite do início do tempo crítico de uma evacuação. O tempo crítico é definido como o limite entre o tempo de reconhecimento (validação do acontecimento), tempo de reação (tomada de decisão) e tempo de movimentação (refúgio para local seguro). Assim, conclui-se que a tomada de decisão é o ponto de transição entre a etapa de pré-evacuação e o ato de evacuar.

O cálculo do tempo total de evacuação permite aferir o risco da evacuação de um grupo de pessoas para um local seguro. Assim, o tempo de evacuação pode ser dividido no tempo de pré-evacuação e tempo de viagem (Hsu & Peeta, 2015; Lin & Wu, 2018).

O tempo de pré-evacuação é de vital importância durante o processo de evacuação, sendo definido como o intervalo de tempo entre um sinal de alarme e o primeiro momento de movimento para evacuar (Forssberg et al., 2019). Em consequência, os tipos de comportamentos humanos são uma base para uma abordagem de engenharia durante uma evacuação. Efetivamente, os comportamentos das pessoas na fase de pré-movimentação são cruciais para o planeamento e otimização do processo de evacuação, nomeadamente, a seleção de rotas e respetivo fluxo (Yuan & Han, 2009).

A capacidade de um indivíduo perceber o momento para iniciar a fuga é crucial, contudo as capacidades físicas e psicológicas afetam diretamente a pré-evacuação. Nomeadamente, num lar de idosos o tempo necessário para um idoso se levantar e mover-se até à saída ou até pessoas que necessitam de auxílio de movimento. Portanto, é uma tarefa fundamental avaliar a tipologia e complexidade de edifícios adequados aos diferentes tipos de ocupantes para uma gestão de estratégias de evacuação eficientes (CFPA Europe, 2011). Consequentemente, o sucesso de uma evacuação no caso de um estabelecimento de saúde está relacionado com as decisões a todo o nível organizacional, desde a ordem em que cada paciente é evacuado até à disponibilidade de recursos para o transporte dos mesmos, seja transporte humano ou de veículos (Childers et al., 2009).

Numa revisão literária, verificam-se dados recolhidos acerca de tempos de pré-movimentação. Neste sentido, na Tabela 3 é possível observar estimativas destes tempos baseados no tipo de alarme, tipo de edifício e ocupante (CFPA Europe, 2009).

Tabela 3 - Tempos estimados de pré-movimentação (CFPA Europe, 2009)

Tipologia de Espaços	Tipo de ocupantes	W1	W2	W3
<b>Escolas e universidades</b> <b>Escritórios</b> <b>Edifícios comerciais e industriais</b>	Pessoas acordadas e familiarizadas com o edifício, o sistema de alarme e evacuação	< 60 s	180 s	> 240 s
<b>Lojas</b> <b>Museus</b> <b>Centros desportivos</b>	Pessoas acordadas, contudo, podem não ter conhecimento do edifício e dos procedimentos de alarme e evacuação	< 120 s	180 s	> 360 s
<b>Edifícios residenciais</b> <b>Dormitórios</b>	Pessoas podem estar a dormir, mas por norma têm conhecimento do edifício e do sistema de alarme e evacuação	< 120 s	240 s	> 300 s
<b>Hotéis e pensões</b>	Pessoas podem estar a dormir, mas a maioria estão familiarizadas com o edifício, o sistema de alarme e evacuação	< 120 s	240 s	> 360 s
<b>Hospitais</b> <b>Lares de idosos</b> <b>Outros estabelecimentos institucionais</b>	Número significativo de pessoas que necessitam de assistência	< 180 s	300 s	> 480 s

No sentido de legendar a tabela, as siglas W1, W2 e W3 definem o tipo de alarme em emergência.

- W1 - consiste num sistema de comunicação de voz, tanto de uma sala de controlo como indicações acerca das rotas de evacuação em tempo real com profissionais especializados e escutados por todos os ocupantes. Usado como referência apenas quando a situação ocorre num espaço reduzido;
- W2 – consiste num sistema de mensagens de voz pré-gravadas ou sinais de evacuação. Utilizado como referência quando ocorre um incêndio num espaço amplo;

- W3 – consiste num sistema de alarme de incêndio e através de funcionários sem competências para evacuar de forma adequada. Referenciado quando os ocupantes se encontram distantes do foco de incêndio.

Posto isto, é possível referenciar conceitos acerca do período destes eventos e a sua devida importância durante o processo de evacuação.

O tempo necessário para a realização de uma evacuação segura (RSET – *Required Safe Egress Time*) é, normalmente, considerado menor que o tempo de saída em segurança (ASET – *Available Safe Egress Time*). A quantificação do tempo ASET envolve o tempo entre o início e a propagação do incêndio quando excede os critérios de sustentabilidade devido à fumaça. Para definir o tempo de fuga (RSET) é imprescindível referenciar que este se associa à deteção do alarme e características do edifício. (Chu et al., 2006). De salientar que, este último depende de tempos como o tempo de deteção, de alarme, de pré-movimentação e de fluxo de evacuação. A abordagem de engenharia define como margem de segurança a diferença entre o tempo ASET e o RSET. Esta margem pode ser importante devido a incertezas de previsão dos acontecimentos (CFPA Europe, 2023).

Em suma, considera-se um processo de evacuação seguro quando o tempo de ASET > RSET. Na Figura 3, é possível observar o cronograma geral do tempo total de evacuação (TET – *Total Evacuation Time*) (CFPA Europe, 2009).

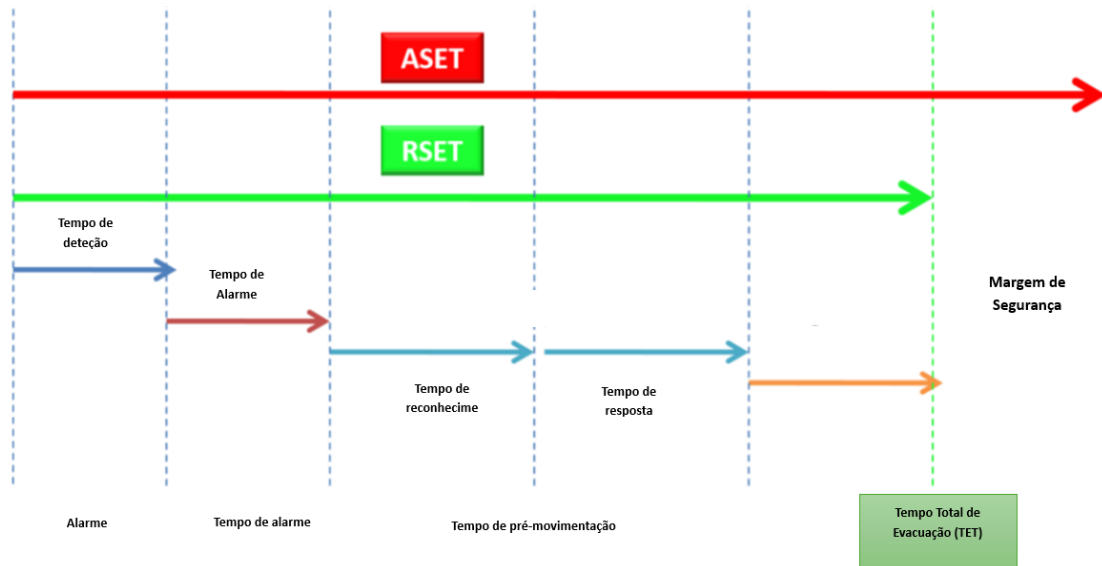


Figura 3 - Cronograma de evacuação de edifícios (Adaptado: (CFPA Europe, 2023))

## 2.6. A Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão

A simulação emergiu como uma poderosa ferramenta à decisão que permite, de forma dinâmica, projetar e analisar o desempenho de processos complexos (Willuweit & O'Sullivan, 2013). Assim, a criação de um sistema de simulação permite imitar a dinâmica de um modelo imaginário e relacionar com características de um sistema real (Ingalls, 2011). No cerne da simulação está a capacidade de as ferramentas de simulação fornecerem informações de modo a ajudar um investigador a tomar decisões, interpretar e modificar eficientemente o planeamento dos processos (Grikštaitė, 2008).

Efetivamente, os resultados iniciais da simulação são caracterizados pela possibilidade de explorar hipóteses sem afetar consequências direta ao mundo real e, conseqüentemente, haver incremento de maior economia de recursos e maior segurança no modelo inicial (Kassem et al., 2017). Portanto, um modelo de simulação tem a capacidade de identificar eventuais riscos e de reduzir custos adjacentes, contudo é demorado nas fases iniciais do projeto, visto que pode enfrentar mudanças repentinas de projeto, imprevisibilidade nas variáveis ou falta de informações (T. Han et al., 2018).

A simulação tem como objetivo atingir uma solução otimizada de um sistema complexo por meio de insights práticos (Melouk et al., 2013), permitindo a avaliação do impacto das estratégias, identificar alternativas e antecipar impactos de forma a não desperdiçar recursos. Desta forma, os investigadores têm a possibilidade de considerar tanto o impacto imediato como a longo prazo das suas decisões.

De acordo com (Carson, 2005), a simulação de eventos discretos é uma representação que incorpora o tempo e as respetivas mudanças ao longo do mesmo que permite que o modelo seja versátil e configurável a diversos processos.

Segundo (Banks, 1998), a simulação é uma metodologia indispensável para a resolução de problemas do mundo real. Esta ferramenta pode ser também utilizada para analisar e descrever sistemas e fazer a pergunta “e se?” acerca de um processo real.

Segundo (Barjis, 2008), a modelação desempenha um papel significativo no estudo, análise, comparação de diferentes estratégias, avaliação dos resultados e otimização dos mesmos. Assim, enfatiza-se a otimização de processos com o objetivo de mitigar pontos gargalo e aumentar a eficiência dos ajustes das estratégias.

A simulação como ferramenta de apoio à decisão pode ser particularmente valioso em setores como o da saúde. Neste sentido, é fundamental para a viabilidade de operações em lares de idosos os gestores de risco serem capazes de se adaptar a qualquer evento futuro (Retuerta-Martínez et al., 2022). No domínio da saúde, é de cariz crucial a simulação na otimização na avaliação de planos de evacuação e alocação e utilização eficiente de recursos (Divya et al., 2021; Moretto et al., 2019; Ordu et al., 2021).

Em suma, a relação entre o processo de simulação e a realidade pode ser traduzida pela Figura 4.

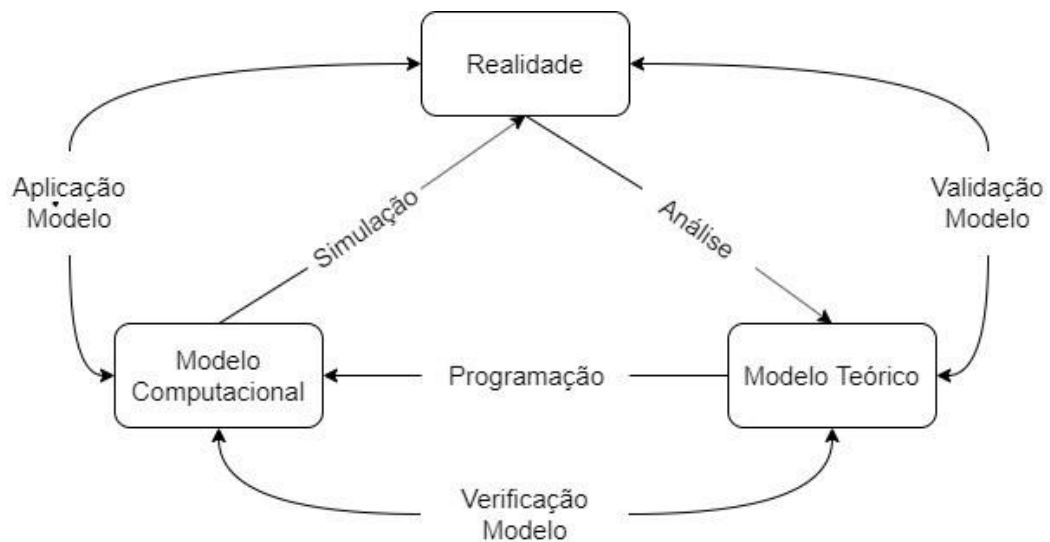


Figura 4 - Relação entre a Simulação e a Realidade (Adaptado:(Bako & Božek, 2016))

### 2.6.1. Vantagens e Desvantagens da simulação

Segundo diferentes autores, a simulação apresenta as suas vantagens e desvantagens inerentes ao seu uso (Banks, 1998; Carson, 2005; Grikštaitė, 2008).

#### Vantagens:

- Novos procedimentos operacionais, regras de tomada de decisão, fluxos de informações e procedimentos organizacionais podem ser exploradas sem interromper as operações em andamento no sistema real ou comprometer recursos e investimentos;
- Permite simular diversas estratégias, *layouts* físicos, sistemas de transporte e alterações de propostas de forma a otimizar processos;
- Conseguir comparar diversos projetos ou estratégias distintas;
- Possibilidade de observar cenários de longa duração num período menor;
- Permite testar hipóteses sobre como ou porquê de determinados fenómenos acontecerem;
- Pode-se obter informações sobre a interação de variáveis que contribuem para a otimização do desempenho de um sistema;
- Análise de pontos de estrangulamento do processo, indicando onde processos de trabalho e informações estão a ser excessivamente atrasados;
- Um estudo de simulação pode ajudar a entender como o sistema opera, e não como as pessoas pensam que o sistema opera;
- Perguntas “*what-if*” podem ser respondidas, o que é particularmente útil no design de um novo sistema;

### **Desvantagens:**

- As modelações de sistemas de simulação requerem formação específica. Além disso, se dois modelos forem construídos por dois indivíduos competentes, até podem ter semelhanças, mas é altamente improvável que sejam iguais.
- A elaboração de um modelo versátil pode ser realmente demorada e dispendiosa;
- Os resultados da simulação não são soluções ótimas, o que significa que a maioria dos *outputs* de simulação são essencialmente variáveis aleatórias (geralmente são baseadas em entradas aleatórias) e apenas permite avaliar o comportamento no seu cenário específico;
- A redução de recursos para modelação e análise pode resultar num modelo de simulação ou análise que apresenta desvios entre o mundo real e a simulação;
- A recolha de dados fiáveis para a construção de um modelo pode ser demorada;
- Os resultados de um estudo podem não ser válidos o que se traduziria em informação não útil, ou seja, em certos casos pode gerar más decisões.

### **2.6.2. Campos de Aplicação da Simulação**

A simulação pode ser bastante útil em modelos específicos, visto que contém uma abordagem muito ampla. Na verdade, a simulação por computador imita operações normalmente realizadas por um conjunto de processos internos de um sistema. A modelação rápida e flexível de processos foi aplicada a uma grande variedade de processos de modo a melhorá-los de forma significativa e, conseqüentemente, o seu respetivo sistema. Seguidamente é demonstrado a abrangência da simulação relativa a vários setores (Banks, 1998; Dragović et al., 2017).

#### **Setor da produção nas industriais automóvel, eletrónica e confeção**

- Melhoria da eficácia do processo produtivo;
- Redução de custos de fabrico;
- Incremento da utilização dos recursos humanos e máquinas;
- Destaque das áreas mais críticas para o desempenho global do sistema;
- Transporte de materiais;

#### **Setor da saúde**

- Solução na área de projeto e desenvolvimento;
- Controlo e organização de serviços;
- Mitigar tempo de espera e redução de custos;

## Revisão Bibliográfica

- Capacidade de modelar um sistema complexo e fragmentá-lo em subsistemas de modo a simplificar a compreensão do mesmo;

### **Aeroporto**

- Maior fluência na emissão de bilhetes;
- Segurança nas áreas de mais carenciadas;
- Melhoria dos transportes até ao respetivo terminal;
- Aproveitamento do tráfego no setor da restauração com maior eficiência;
- Melhoria no que diz respeito ao transporte das bagagens;

### **Hospitais**

- Melhoria a nível da eficácia no setor de urgências;
- Planeamento mais eficiente de possíveis desastres;
- Melhoria no planeamento de envio de transportes de emergência;
- Maior aproveitamento quanto à alocação de recursos;

### **Portos**

- Planeamento do tráfego de veículos de transporte (camiões, comboios e navios);
- Aumento da eficiência da gestão portuária;
- Armazenamento elevado e mais rentável;

### **Cadeias de abastecimento**

- Redução dos riscos;
- Elevada eficiência no planeamento dos pontos de reposição;
- Aumento da rentabilidade no espaço disponível para alocação dos produtos;
- Planeamento da contingência;

### **Manufatura**

- Otimização da linha de produção;
- Redução da mão-de-obra.

## **2.7. Softwares de Apoio à Evacuação**

Os *softwares* de simulação desempenham um papel crucial na eficácia dos projetos de evacuação em situações de emergência. Deste modo, os profissionais conseguem avaliar as diferentes estratégias com mais eficiência (Yakhou et al., 2023). Efetivamente, com o auxílio destes modelos é possível analisar e observar distintos cenários hipotéticos difíceis de modelar na vida real e os seus respetivos tempos efetivos e rotas de evacuação. De salientar que, o

planeamento de evacuação de edifícios necessita de validação através de inúmeros exercícios, como simulacros, o que se demonstra dispendioso (Sharma et al., 2018). Assim, é possível também quantificar e verificar que os tempos de pré-evacuação, tempo entre a perceção da emergência e o ato real de evacuar, são uma tarefa imperativa na modelação e respetiva segurança de um sistema complexo de evacuação (Lovreglio et al., 2019).

Não obstante, o desenvolvimento destes modelos computacionais, quando construídos durante a vida útil de um edifício, torna-se complexo. Deste modo, os dados acerca dos mesmos podem ser escassos ou parciais, ou seja, torna-se complexa a identificação das principais lacunas dos modelos de simulação (Lovreglio et al., 2019; Ronchi et al., 2019).

Neste sentido, os *softwares* maioritariamente utilizados pelos investigadores para a simulação de evacuação de edifícios são o *Pathfinder*, *FDS + EVAC*, *Building Exodus*, *Simulex* ou o *Steps* (Lovreglio et al., 2019; Mirahadi et al., 2019; Ronchi et al., 2019).

Em suma, os *softwares* de simulação são constituídos por modelos matemáticos ou computacionais capazes de imitar o comportamento humano em sistemas com complexidade elevada. Portanto, estes além de auxiliarem na tomada de decisão, podem ser aplicados a diversas áreas, nomeadamente, engenharia, ciências sociais ou medicina. Na verdade, estes sistemas dinâmicos conseguem obter previsões através de informações confiáveis que permitem compreender o comportamento de uma situação real. Por fim, os modelos de simulação de evacuação de edifícios têm como principal vantagem avaliar e quantificar pontos críticos do processo de evacuação e os comportamentos humanos com elevada precisão. Todas estas vantagens podem ser analisadas num período reduzido e sem auferir riscos para o sistema real, permitindo ao investigador desenvolver o projeto de forma mais confiável e eficaz em menor tempo (Bossel, 2018).

### **2.7.1. Pathfinder**

O programa de simulação *Pathfinder* foi desenvolvido pela *Thunderhead Engineering*. Este *software* é baseado em agentes que consiste num modelo computacional gráfico e malha triangular. Na verdade, permite modelar projetos de evacuação de edifícios e avaliar a eficiência e pontos de estrangulamento do mesmo (H. Zhang & Long, 2021).

Este programa consiste numa combinação de comportamentos e reações físicas para simular a evacuação de um grupo de pedestres ou individualmente e os respetivos tempos efetivos. Assim, é possível construir um modelo através de uma base de dados existente e analisar com maior eficácia a construção de planeamentos de evacuação de edifícios com *layouts* complexos. Neste sentido, o *software* possibilita a visualização em tempo real dos cenários e, assim, permite a validação dos cenários reais e comparação dos resultados através do *software* de simulação (Thornton et al., 2011).

Segundo (Lovreglio et al., 2019), o *software Pathfinder* é um modelo de simulação abrangente que visa aprimorar detalhadamente a simulação de evacuação de edifícios.

Efetivamente, o *Pathfinder* permite criar um modelo computacional onde os pedestres podem tomar decisões de qual a saída de emergência ou qual a rota de fuga que utilizam, bem como a

interação entre si. Deste modo, existem dois modos que este software pode utilizar na simulação do movimento dos ocupantes (*Thunderhead Engineering, 2023*).

Através deste programa é possível adequar determinadas características do projeto real, como a largura das portas de evacuação. Desta forma é possível obter uma previsão com maior eficácia e, em consequência, mais rápida e económica da simulação demonstrando uma solução ótima do plano de evacuação (L. Wang et al., 2022; H. Zhang et al., 2022).

O modo *Society of Fire Protection Engineers* (SFPE) usa técnicas de modelação baseadas no fluxo, ou seja, traduz-se na escolha da rota de fuga pelo princípio de proximidade. Assim, o processo de evacuação é diretamente afetado pela densidade ocupacional do espaço e, consequentemente, a velocidade de movimento de cada indivíduo. No que diz respeito ao modo *Steering*, o software move o grupo de pessoas tendo em conta a rota e a colisão de ocupantes. Desta forma, a rota de evacuação de cada indivíduo é calculada segundo o caminho mais próximo e distância entre os ocupantes (Qin et al., 2020).

De salientar que, o *software* de simulação através de uma interface gráfica permite criar perfis de indivíduos, adicionar mais pessoas ao processo de simulação, adicionar obstáculos que influenciam o caminho e densidade da evacuação (Zang et al., 2021), adicionar elevadores, portas e escadas e criar comportamentos humanos, nomeadamente, o pânico, a perda de tempo na pré-evacuação e o medo (Mu et al., 2014). Por último, uma das maiores vantagens na elaboração dos *layouts* do edifício é a importação de ficheiros DXF, DWG, FDS e PDF. Todas estas características podem ser verificadas através do manual técnico disponibilizado pela *Thunderhead Engineering*.

### **3. Estratégias de Evacuação numa Estrutura Residencial para Pessoas Idosas**

Neste capítulo, foram abordados temas como o edifício do lar de idosos e a sua respetiva configuração, de forma a elucidar em termos construtivos, nomeadamente, divisões, layout, plantas e saídas de emergência.

Posteriormente, apresenta-se o modelo computacional construído através do Pathfinder e como o mesmo foi realizado. Assim, foi possível demonstrar as diversas funcionalidades e variáveis possíveis neste *software*. Consequentemente, demonstra-se a validação deste mesmo modelo através de comparação entre medições realizadas em ambiente real e tempos de evacuação obtidos através do *software Pathfinder* em pontos distintos do edifício.

Por último, foram apresentados diversos cenários de evacuação executados no modelo de simulação, considerando variáveis distintas em cada um deles e os respetivos resultados.

#### **3.1. ERPI Rainha Santa Isabel**

Como mencionado no capítulo inicial, a presente dissertação teve como objetivo a análise de distintas estratégias de evacuação num edifício residencial de idosos. Para tal, foi necessário auxílio de um modelo de simulação computacional através do *software Pathfinder*. O edifício relativo a este projeto foi a Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) Rainha Santa Isabel, localizada na Rua Santa Casa da Misericórdia nº 199, 4630-231, Marco de Canaveses (Figura 5), cujo requerente é a Santa Casa da Misericórdia do Marco de Canaveses.



Figura 5 - Vista e Localização da ERPI Rainha Santa Isabel (Google, 2024)

### 3.2. Configuração do Edifício

O edifício está distribuído por 4 pisos, incluído a cave (pisos -1). Tem capacidade para albergar 60 utentes, distribuídos por trinta e seis quartos, onde se diferenciam em vinte e quatro quartos duplos e doze individuais. Encontram-se também dois vestiários, uma cozinha, um refeitório, uma sala de estar/biblioteca, cinco casas de banho para banho assistido, uma sala de enfermagem, uma sala de costura, uma sala de cuidados estéticos e uma pequena capela. Na Tabela 4, é possível observar o número de utentes distribuídos por cada zona do edifício e a respetiva média de idades por setor.

Tabela 4 - Número de Utentes por Piso/Ala

Piso/Ala	Número de utentes
Piso 0 – Ala Direita	14
Piso 1 – Ala Esquerda	14
Piso 1 – Ala Direita	14
Piso 1 – Enfermaria	4
Piso 2 – Ala Direita	14
<b>Total de Utentes</b>	<b>60</b>

No que diz respeito aos restantes elementos que constituem o edifício, estes dividem-se em maioritariamente dois turnos. No turno da manhã estão presentes nove ajudantes e serviços gerais, seis cozinheiras, um rececionista, quatro técnicos especializados, um enfermeiro e um

médico. No turno da tarde/noite, destacam-se seis ajudantes, quatro técnicos, um rececionista, três cozinheiras e três ajudantes noturnas.

No sentido de movimentação dos ocupantes entre andares, pode ser efetuada através de escadas ou um elevador que faz a conexão entre o piso -1 e 2. Existem saídas de emergência no piso 0 e 1, sendo as saídas principais de evacuação, para irem de encontro aos dois pontos de encontro existentes, um em cada extremidade do edifício, no piso 0.

Em suma, como mencionado na revisão de literatura, a Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) Rainha Santa Isabel enquadra-se num edifício afeto à UT-V e, uma vez que, o número máximo admissível de pessoas presentes é inferior a 100 pessoas, insere-se na 2ª categoria de risco. Os quartos, sala de estar e as divisões de banho assistido são considerados efetivos locais de risco D, uma vez que existem diversos utentes com mobilidade reduzida.

### **3.2.1. Piso -1 (Cave)**

Na Figura 6, observa-se a planta referente ao piso -1 e a rota de evacuação indicada pelas setas representadas.

O piso -1 é composto por dois vestiários, masculino e feminino, uma câmara frigorífica que permite conservar alimentos e arrumos gerais. Existem, nas duas extremidades, escadas de acesso aos pisos superiores. Por último, encontra-se um elevador monta-pratos que permite o transporte de utensílios ou alimentos diretamente para a cozinha.

### **3.2.2. Piso 0**

Na Figura 7, pode-se analisar a planta do piso 0 e as respetivas rotas de evacuação.

Neste piso, encontram-se as saídas de emergência principais que dão acesso aos pontos de encontro, que se situam nas extremidades do edifício, como é possível verificar na planta da Figura 7 (simbologia a verde).

## Métodos e Aplicação

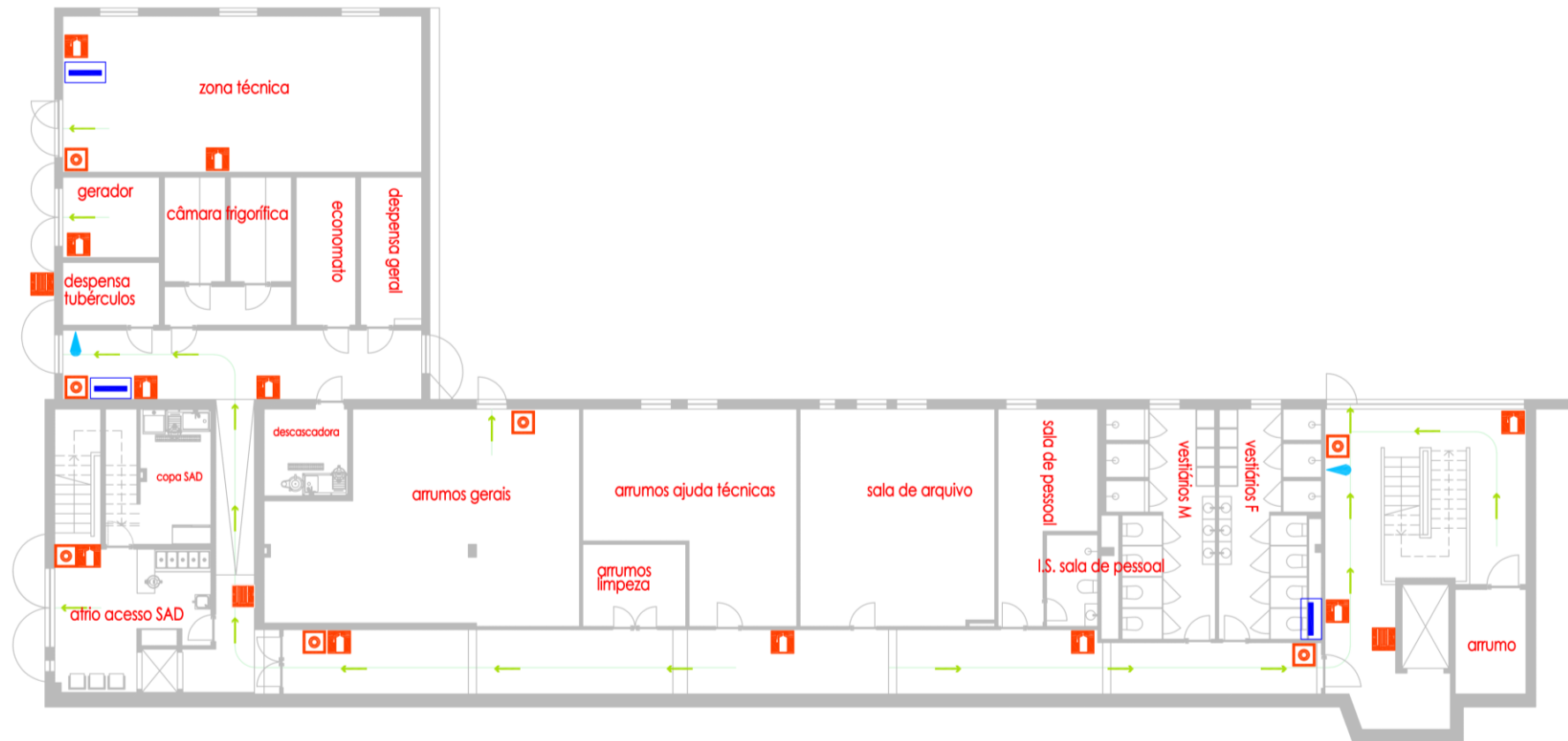


Figura 6 - Planta Piso -1

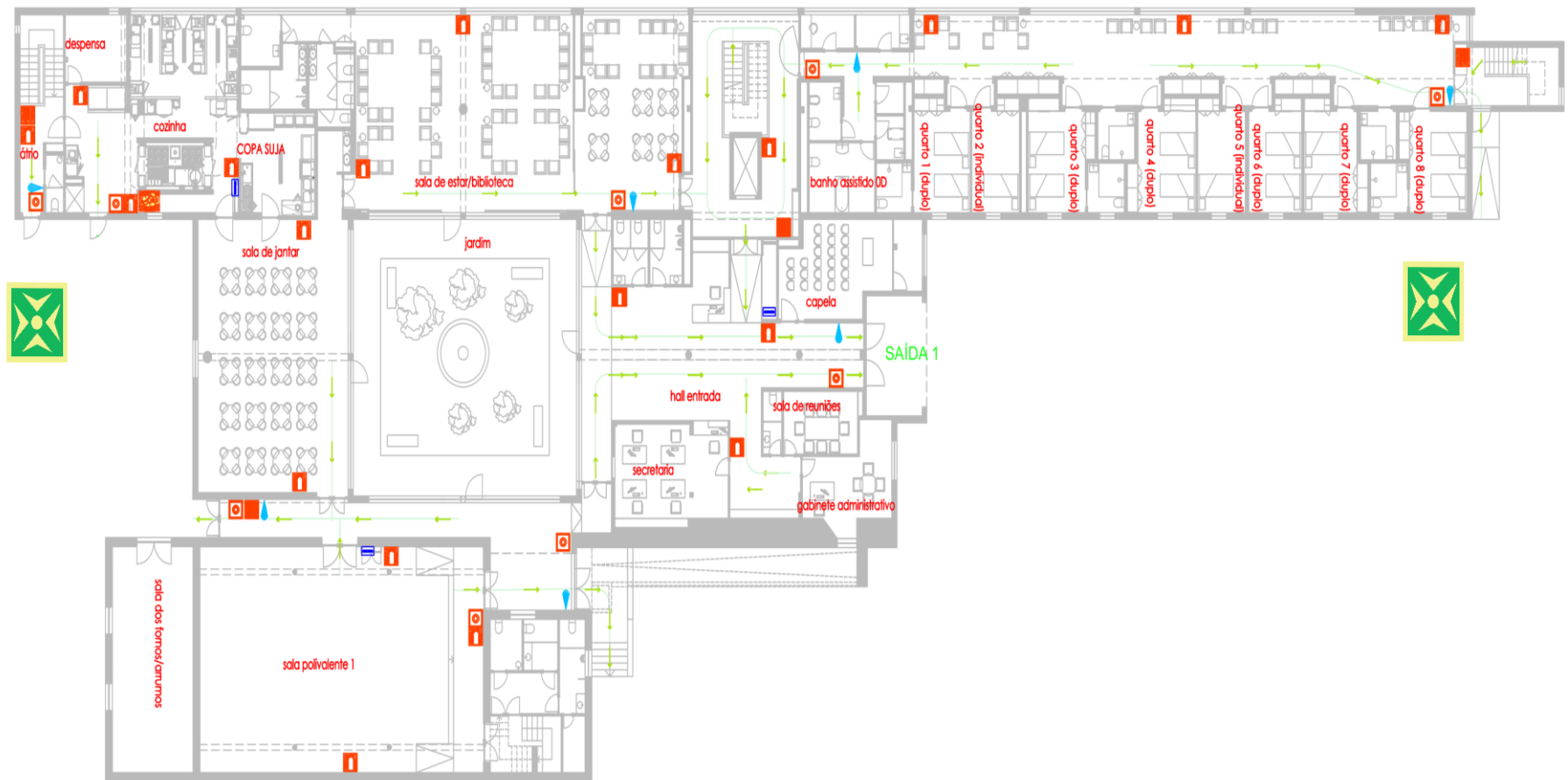


Figura 7 - Planta Piso 0

## Métodos e Aplicação

O piso 0 possui uma cozinha e um refeitório, Figura 8 e Figura 9, respetivamente, com saídas de emergência junto a cada divisão como demonstrado na Figura 7.



Figura 8 - Cozinha - Piso 0



Figura 9 - Refeitório - Piso 0

É possível analisar, na Figura 10, uma grande sala de estar/biblioteca, onde se podem realizar convívios e atividades dinâmicas com os utentes. Esta sala de estar tem ainda acesso a um pequeno jardim exterior, Figura 11, que dá uma harmonia importante ao espaço.



Figura 10 - Sala de estar - Piso 0



Figura 11 - Jardim exterior - Piso 0

No que diz respeito a dormitórios, este piso tem oito quartos, Figura 12, sendo seis deles duplos e dois individuais. Isto permite ter capacidade para acomodar 14 utentes. De salientar que neste piso se encontram os utentes com mobilidade reduzida ou até mesmo utentes sem mobilidade. Com isto, neste piso existe uma casa de banho para banho assistido.

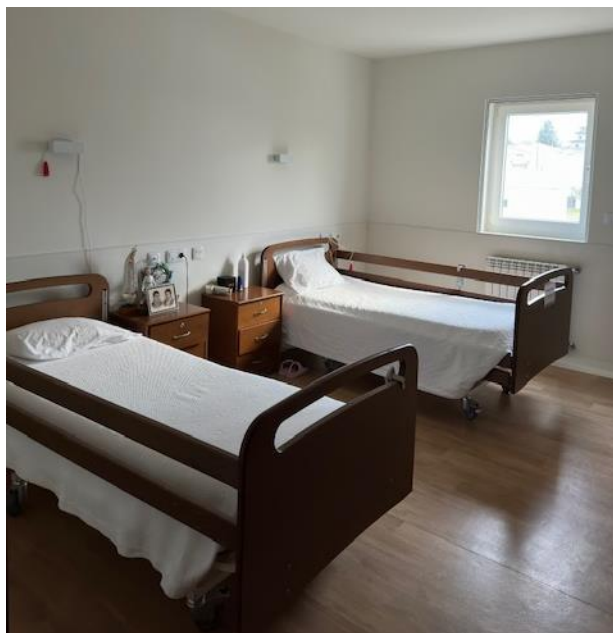


Figura 12 - Quarto tipo

Este piso conta ainda com uma capela, uma sala polivalente, a recepção, um gabinete administrativo e uma sala de reuniões.

No que diz respeito a saídas de emergência, o piso 0 conta com uma saída de emergência para o ponto de encontro norte (Figura 13), uma saída na extremidade sul e duas portas de emergência que funcionam como a porta de entrada principal e também dá acesso ao ponto de encontro sul (Figura 14).



Figura 13 - Saída de emergência norte (Piso 0)



Figura 14 - Saídas de emergência centrais (Piso 0)

### 3.2.3. Piso 1

Na Figura 16, observa-se a configuração do piso 1 e os caminhos de evacuação, daquele que é o maior piso do edifício.

O acesso a este piso pode ser efetuado através de um elevador, Figura 15, ou escadas.



Figura 15 - Elevador

Neste piso, é possível encontrar ainda pessoas com alguma perda de mobilidade distribuídas em vinte quartos, oito na ala direita, oito na ala esquerda e quatro na zona de enfermaria. Destes quartos doze deles são quartos duplos e oito individuais. Assim, é possível constatar que podem ser albergados trinta e dois utentes no piso 1.

Por último, analisa-se a presença de três casas de banho que permitem dar assistência aos utentes com menor mobilidade.

## Métodos e Aplicação



Figura 16 - Planta Piso 1

Neste piso 1, destaca-se a saída de emergência que dá acesso à rampa de evacuação e respetivo ponto de encontro, principalmente, de utentes que necessitam de cadeira de rodas e estão alocados neste piso, Figura 17.



Figura 17 - Rampa de acesso ao Piso 1

### 3.2.4. Piso 2

Na Figura 20, analisa-se a planta do piso 2 e as respetivas rotas de evacuação.

No sentido de acessos a este piso, estes podem ser realizados através de escadas de acesso ao piso 2, Figura 18, ou o elevador, como já demonstrado na Figura 15.

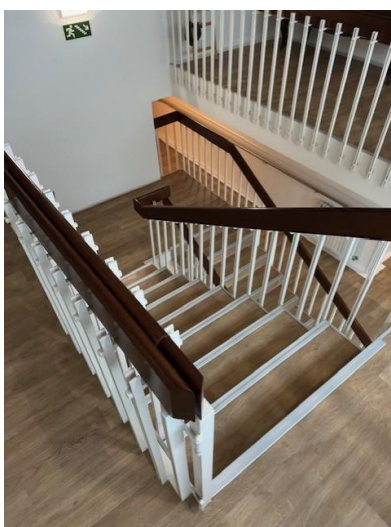


Figura 18 - Escadas de acesso aos pisos

## Métodos e Aplicação

Neste piso, constata-se a presença de uma sala de estar polivalente, contudo o uso da mesma é quase nulo.

Este piso tem apenas quartos na ala sul, pelo que neste mesmo piso estão alocados os utentes com maior mobilidade e lucidez, para que numa emergência seja mais fácil e ágil de evacuar. Com isto, o piso possui oito quartos, seis deles duplos e dois individuais. Desta forma, a alocação máxima deste piso são 14 utentes. Na Figura 19, observa-se o corredor de acessos aos quartos, que são idênticos em todos os pisos. Por último, existe ainda com uma casa de banho para assistência a utentes.



Figura 19 - Corredor de acesso aos quartos

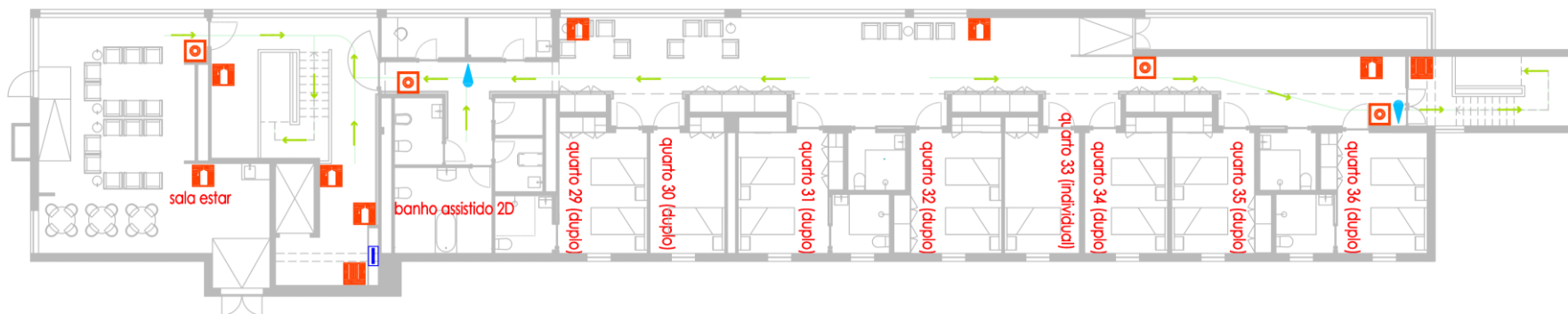


Figura 20 - Planta Piso 2

### 3.3. Estudo da Simulação

Como referido inicialmente, o *software* escolhido para a realização desta dissertação foi o *Pathfinder*. Desde modo, o estudo da evacuação do edifício residencial para idosos realizou-se com auxílio do mesmo.

Neste sentido, para a construção do modelo computacional foram realizadas medições no edifício real, com recurso a plantas do mesmo com as respetivas rotas de emergência cedidas pela gerência da ERPI Rainha Santa Isabel.

#### 3.3.1. Interface Gráfica e Visual

O *software Pathfinder* permite ao utilizador criar um modelo de simulação de evacuação de edifícios. Na Figura 21, é possível verificar a interface inicial apresentada ao utilizador na criação de um novo ficheiro.

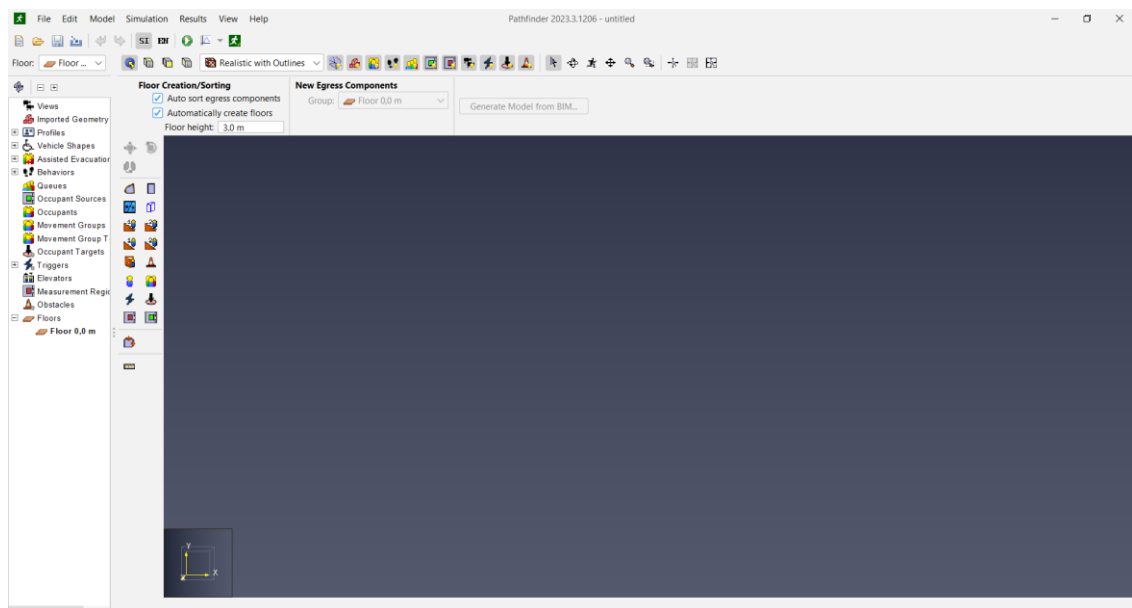


Figura 21 - Interface gráfica do *Pathfinder*

Num próximo passo, com o auxílio das plantas de construção do edifício cedidas foram realizadas medições para iniciar a construção do modelo computacional. Efetivamente, através da funcionalidade “*Model > New Background Image*” que permitiu importar as plantas para a realização de cada piso do edifício, como demonstrado na Figura 22. Posteriormente, existe a necessidade de definir o ponto de referência na planta, designado “*Anchor Point*” e, consequentemente, atribuir uma escada definida através da distância entre o ponto A e B, previamente medidos na planta de construção, exemplificado na Figura 23.

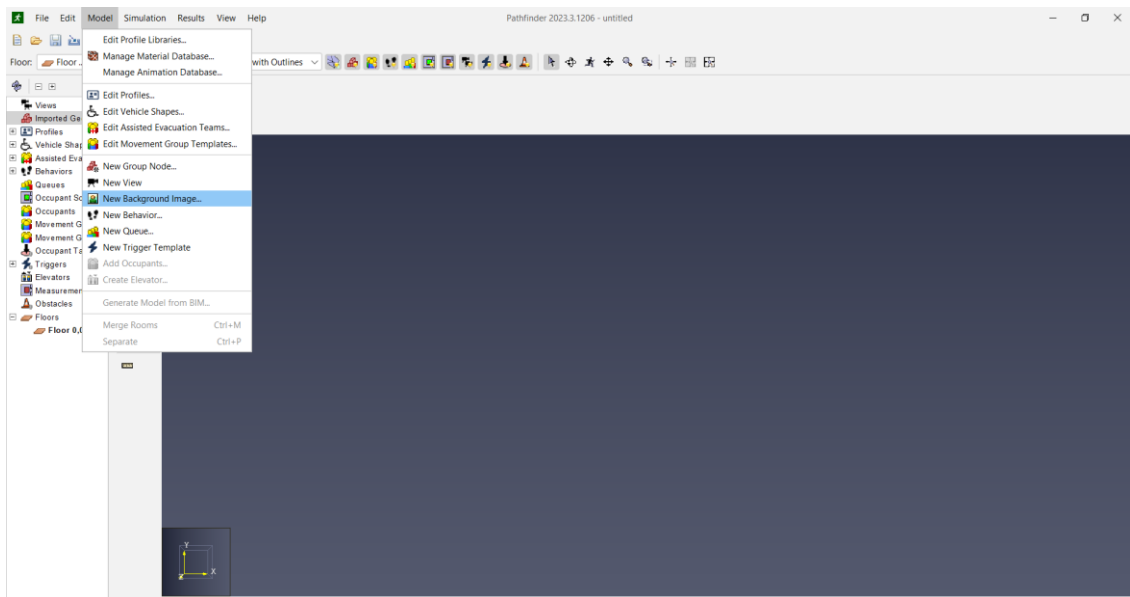


Figura 22 - Importar Plantas

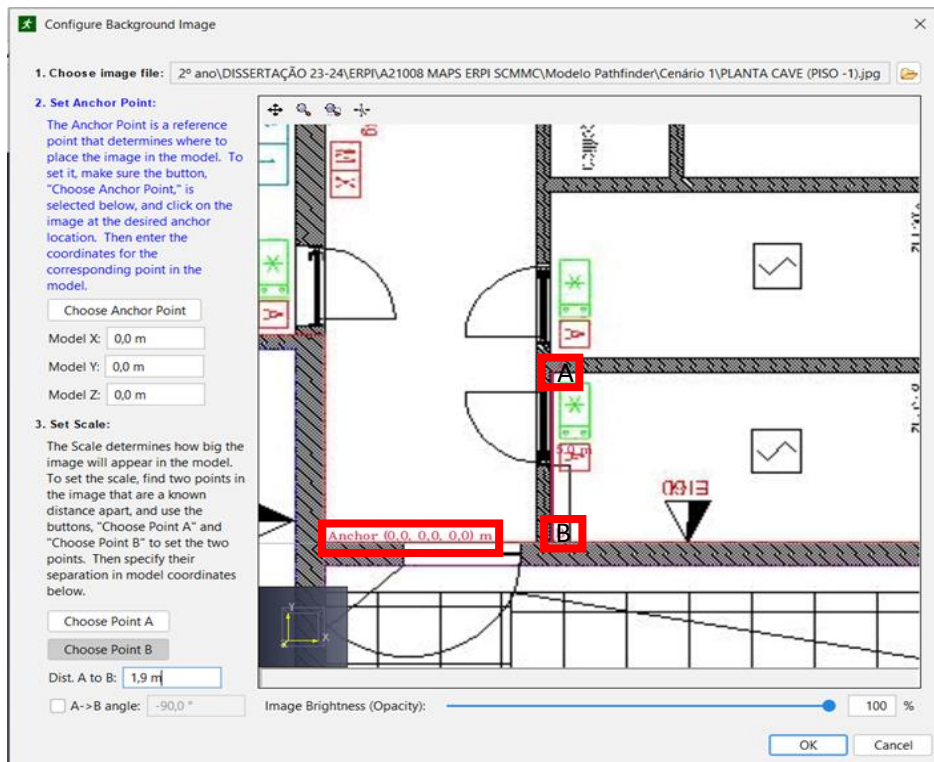


Figura 23 - Ponto de referência e escala

Em seguida, é possível criar as todas divisões de cada piso do lar de idosos através das funcionalidades “Add a Rectangular Room” ou “Add a Polygonal Room” (Figura 24). Em cada divisão é possível definir as cores ou o tipo de material que constituem cada divisão.

## Métodos e Aplicação

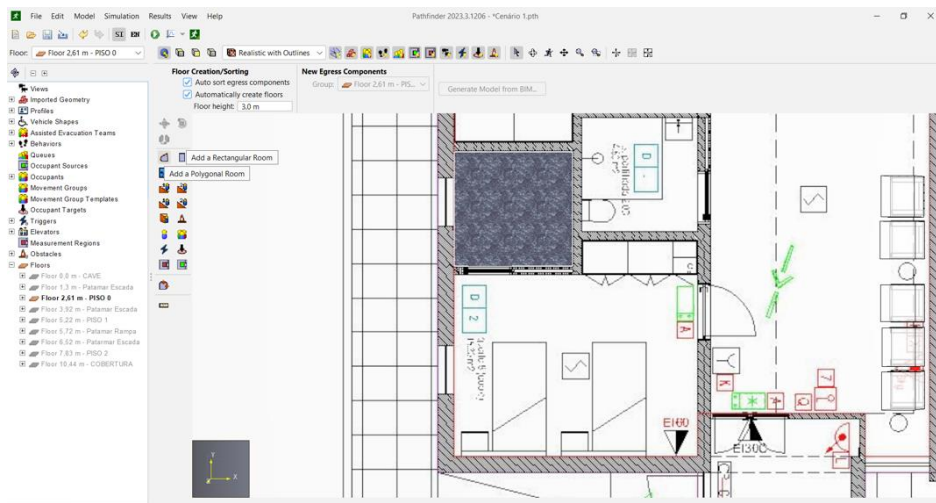


Figura 24 - Adicionar Divisões

Através da ferramenta disponível no software, “Add a New Door”, foram parametrizadas todas as portas do edifício, como demonstrado na Figura 25. As portas podem ser caracterizadas como portas simples que conectam diferentes áreas, Figura 25, ou portas de saída que conectam com o exterior do edifício, Figura 26. Após a criação das portas, podem ser definidos os sentidos de passagem, os perfis autorizados a passar por certas portas e o tempo de espera dos ocupantes. Como definido por lei, as portas para a passagem de cadeira de rodas devem ter estabelecida a largura mínima de vão livre de 800 cm.

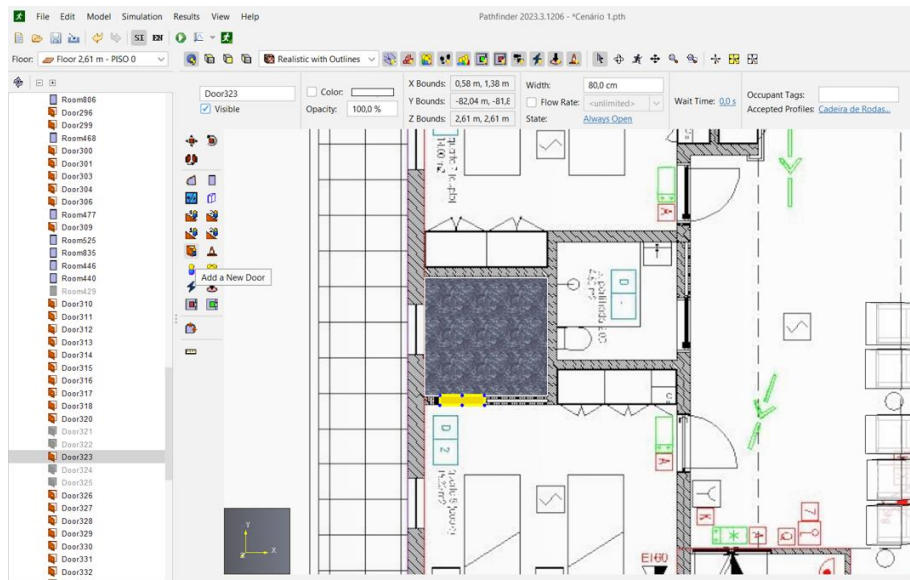


Figura 25 - Criação de uma nova porta

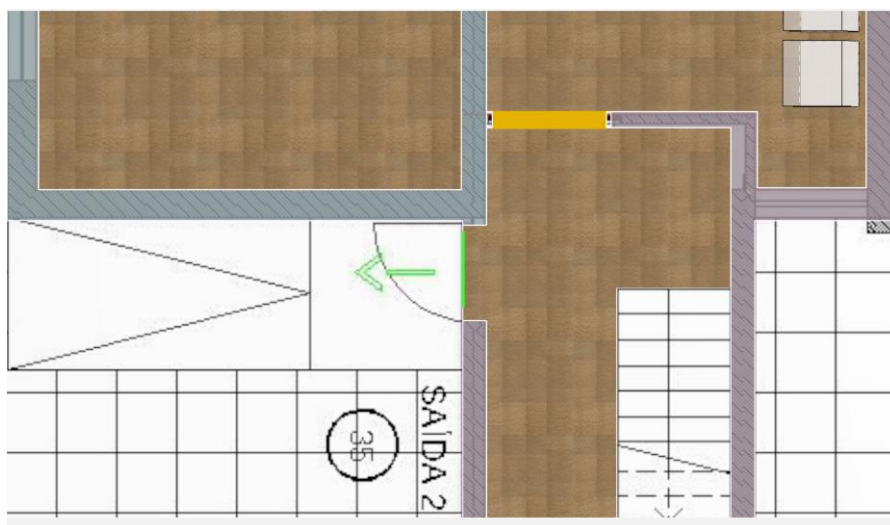


Figura 26 - Porta de saída (a verde)

Para realizar os acessos entre os pisos foram construídas escadas, rampas e elevadores. Na Figura 27, verifica-se a título de exemplo umas escadas. As escadas podem ser parametrizadas com o sentido de fluxo, os degraus e os perfis autorizados a usufruir das mesmas.

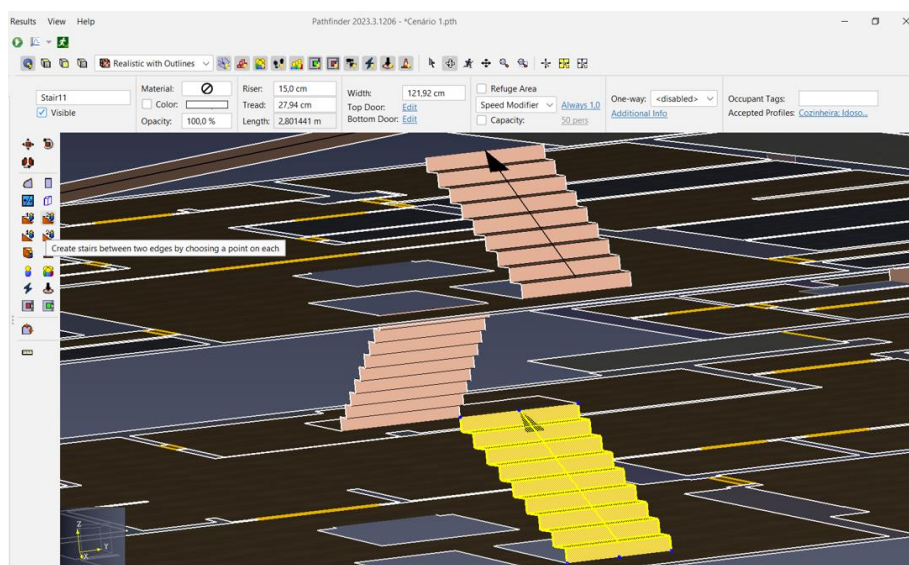


Figura 27 - Criação de escadas

Na Figura 28, é possível verificar um exemplo de criação de rampas. Nesta etapa é possível definir a largura das mesmas e a orientação de movimento.

## Métodos e Aplicação

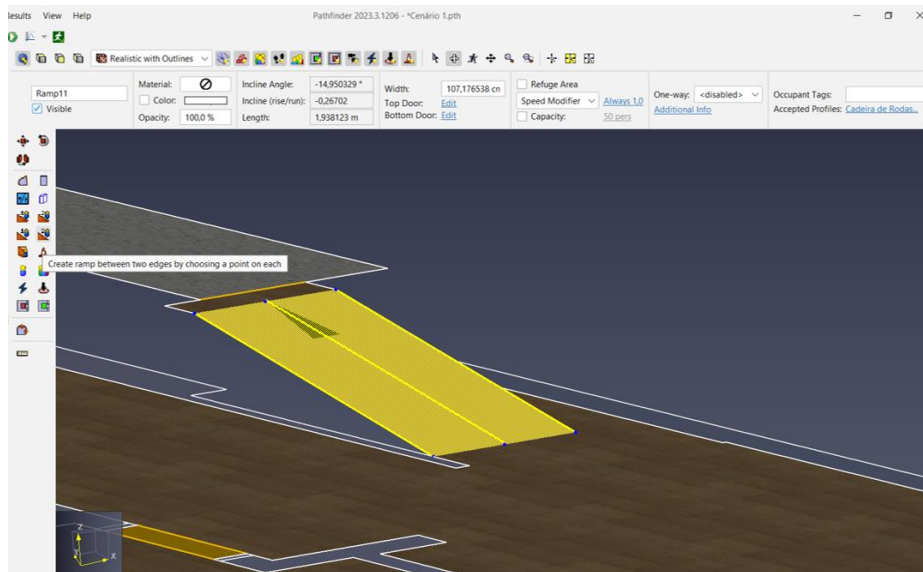


Figura 28 - Criação de rampas

Na Figura 29, é possível verificar a criação de um elevador através da ferramenta “*Create Elevator*” que conecta o piso -1 (cave) e o piso 2. Nesta função, podem ser definidos diversos parâmetros, nomeadamente, capacidade máxima, aceleração, velocidade máxima e tempo de espera de abertura e fecho de portas.

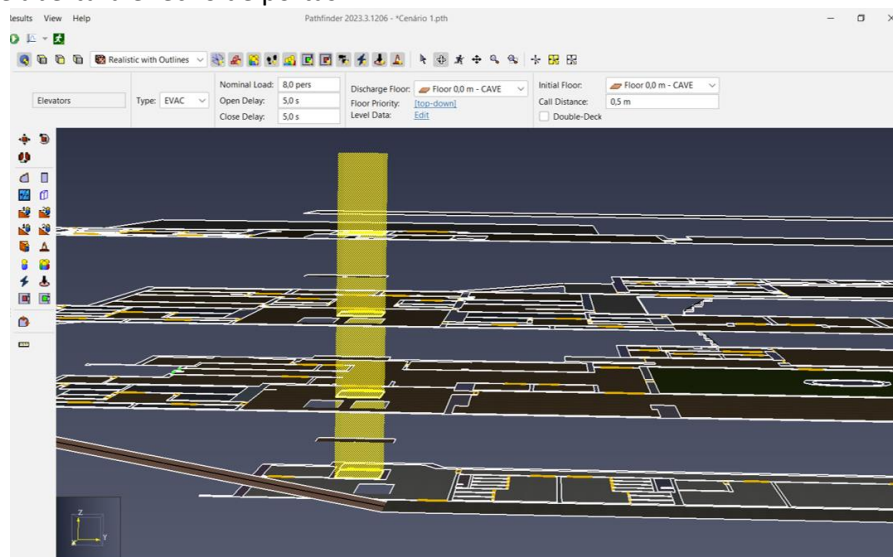


Figura 29 - Criação de elevadores

Após a realização destas etapas e de todos os pisos criados, procedeu-se à criação de obstáculos através da função “*Add an Obstacle*”, Figura 30. Importante realçar que os obstáculos também são um fator relevante no que toca ao tempo total de evacuação.

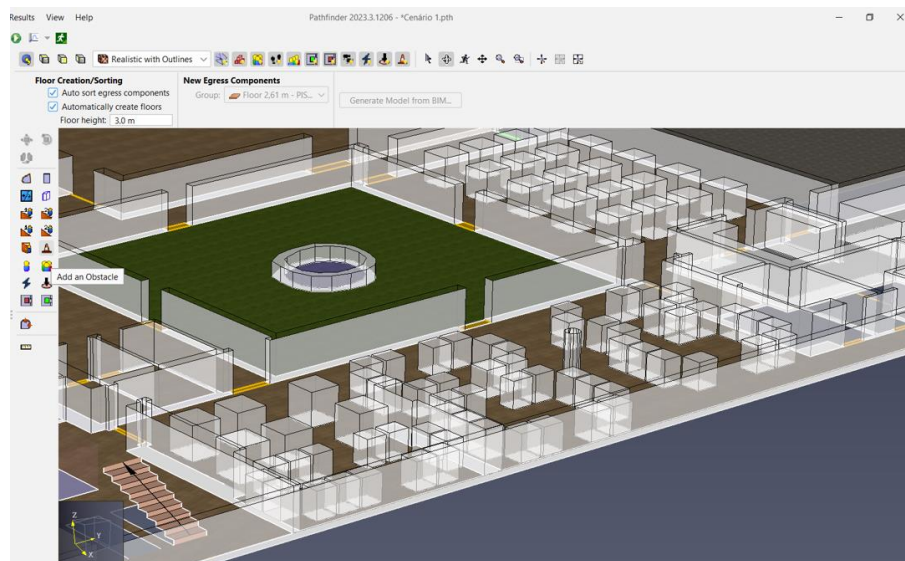


Figura 30 - Criação de obstáculos - Piso 0

Através da funcionalidade “Add a Profile”, criaram-se distintos perfis para os diferentes ocupantes existentes no edifício, Figura 31.



Figura 31 - Criação de Perfis

No que diz respeito às propriedades de cada perfil, Figura 32, esta função permite indicar a necessidade de auxílio do ocupante se mover (como por exemplo, os ocupantes de cadeira de rodas), a velocidade, o fator de redução e, também, a orientação de movimento de cada perfil através da definição de meio de movimento e de passagem de cada ocupante. Neste sentido, os ocupantes de cadeira de rodas têm de ser definidos como polígono, com formato de “Default Wheelchair” e todos os outros são representados como cilindros.

## Métodos e Aplicação

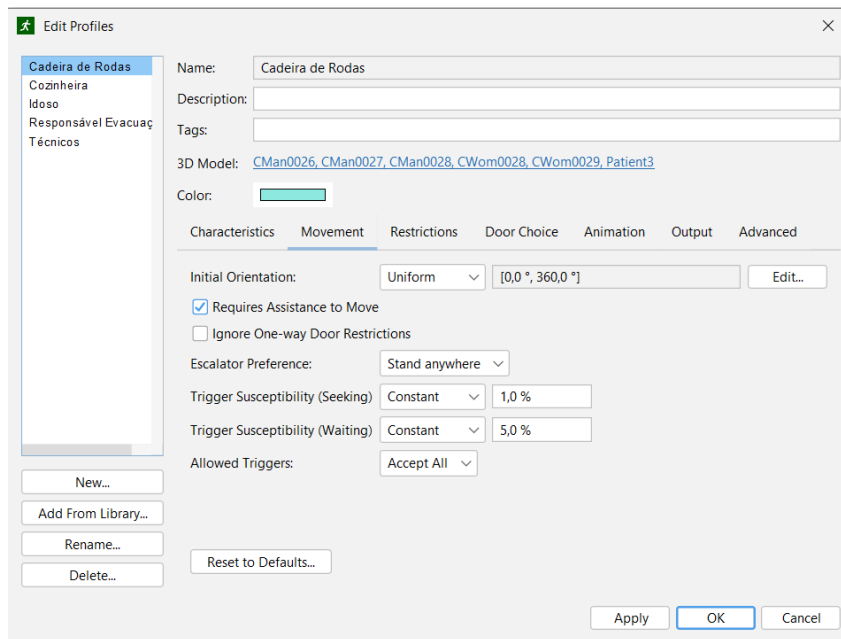


Figura 32 - Editar Perfis

Em seguida, é possível criar os diferentes tipos de ocupantes em cada área através da ferramenta “Add an Occupant”.

Consequentemente, é de extrema importância para a funcionalidade do modelo de simulação estabelecer para todos os ocupantes o tipo de comportamento no momento da evacuação. Assim, procedeu-se ao uso da ferramenta “Add a Behavior”, Figura 33.



Figura 33 - Criação dos comportamentos dos ocupantes

Na Figura 34, é possível verificar os diferentes tipos de comportamentos que podem ser estabelecidos nos ocupantes. A título de exemplo, através da interface na Figura 33, observa-se que os ocupantes “Responsáveis Evacuação” são responsáveis por fornecerem assistência aos ocupantes “Cadeira de Rodas” num momento de emergência.

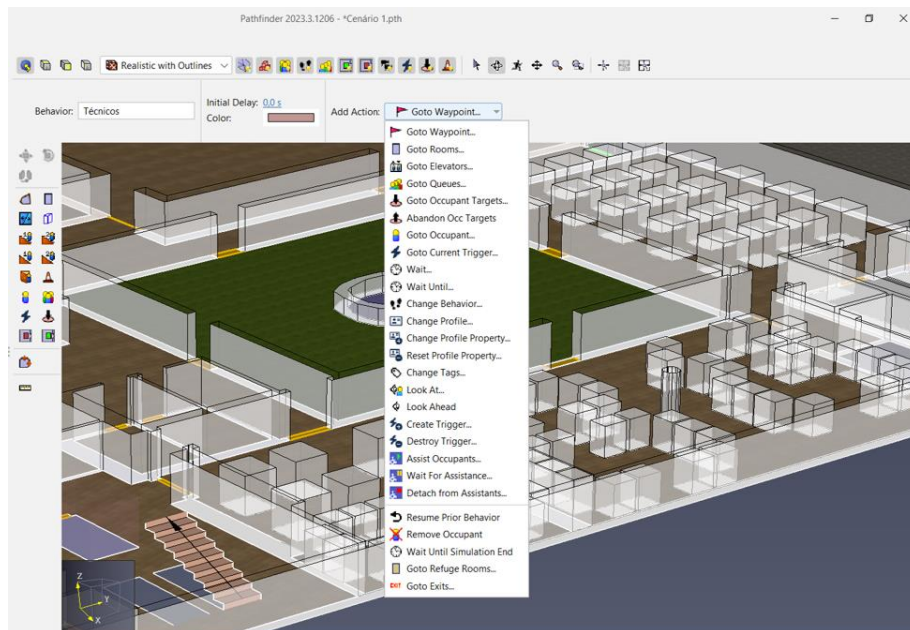


Figura 34 - Tipos de Comportamentos

Em termos visuais, o *Pathfinder* permite que os ocupantes sejam representados através de diversos perfis 3D à escolha, como demonstrado nas Figura 35 e Figura 36.

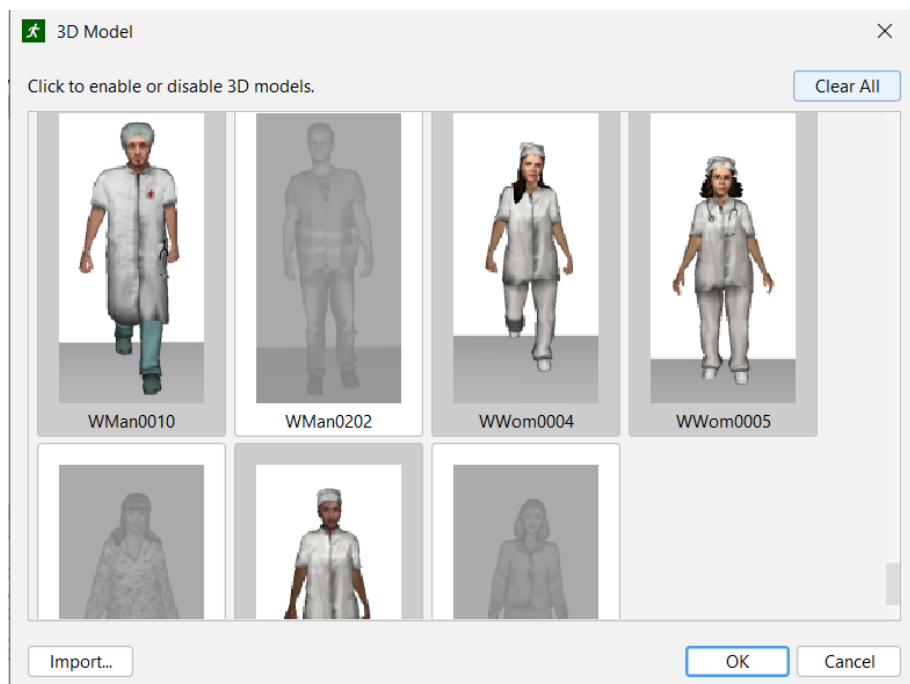


Figura 35 - Perfis 3D



Figura 36 - Criação de Perfis 3D

Por fim, como referido no capítulo da revisão bibliográfica, para a evacuação da Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel foi selecionado o modo de evacuação “*Steering*”, uma vez que é o indicado e mais realista para a simulação de evacuação de ocupantes. Assim, é possível verificar na Figura 37 os parâmetros de simulação do modelo criado no *software Pathfinder*.

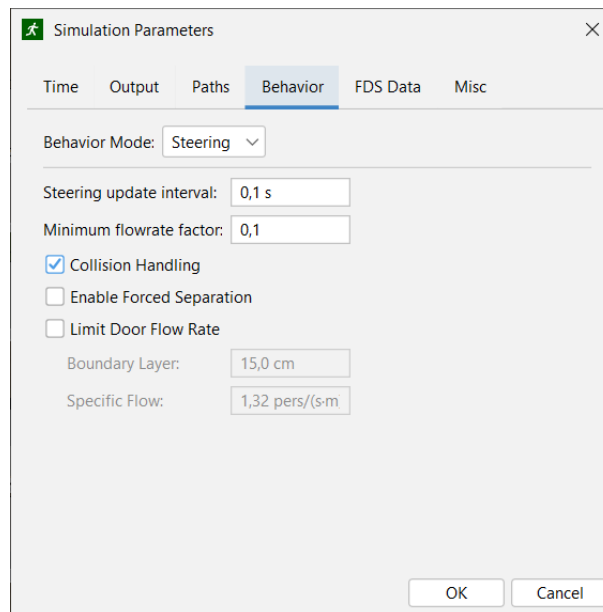


Figura 37 - Parâmetros do modelo de simulação

Após a construção de todo o modelo computacional de evacuação é possível verificar a simulação em tempo real e num modelo 3D, como exemplificado nas Figura 38 e Figura 39.



Figura 38 - Modelo Simulação ERPI Rainha Santa Isabel - Vista Cima

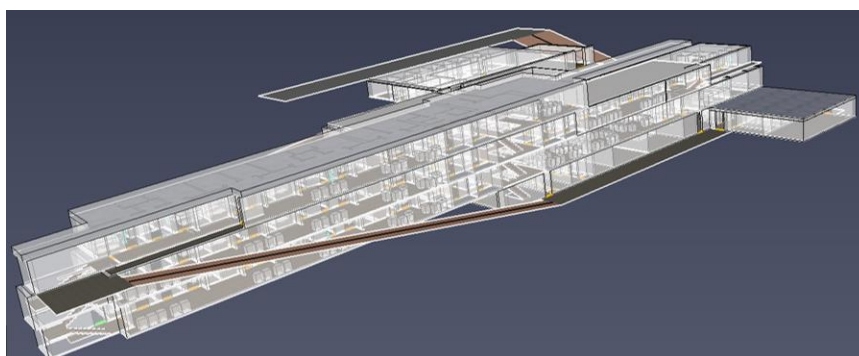


Figura 39 - Modelo Simulação ERPI Rainha Santa Isabel - Vista Lateral

### 3.3.2. Validação do Modelo Computacional

Neste subcapítulo, procedeu-se à validação do modelo de simulação criado no *software Pathfinder*. Para tal, foram realizadas medições de tempos de evacuação em ambiente real para que estes fossem comparados com os tempos obtidos do modelo computacional.

Efetivamente, foram efetuadas 22 cronometragens do tempo que uma pessoa idosa demora para se deslocar de vários pontos do edifício até à saída do mesmo, com ou sem elevador. Posto isto, tanto as cronometragens numa situação real como os tempos obtidos através do *software* foram simulados com uma velocidade de 1,2 m/s.

Mediante as Figura 7, Figura 16 e Figura 20 que demonstram os pisos 0,1 e 2, respetivamente, observa-se a identificação dos diversos pontos da localização inicial das cronometragens apresentados na Tabela 5.

Na Tabela 5, é possível observar o erro percentual obtido entre a simulação real e a simulação no modelo computacional através do *Pathfinder*.

Tabela 5 - Comparação entre a Simulação Real vs Simulação Computacional

Medição	Piso	Localização Inicial	Simulação Real (s)	Simulação no <i>Pathfinder</i> (s)	Erro Percentual (%)
1	Piso 0	Refeitório	18,06	17,30	4,21
2		Cozinha	13,69	12,50	8,69
3		Sala de estar/biblioteca	18,61	18,30	1,67
4		Quarto 3	33,42	32,80	1,86
5		Quarto 4	21,44	20,00	6,72
6		Quarto 6	17,71	16,00	9,66
7		Quarto 8	9,08	8,00	11,89
8		Espaço exterior (Jardim)	18,26	16,30	10,73
9	Piso 1	Quarto 16	68,34	64,80	5,18
10		Quarto 12	53,16	50,80	4,44
11		Quarto 9	42,11	41,80	0,74
12		Quarto 17	48,95	47,00	3,98
13		Quarto 21	42,46	41,80	1,55
14		Quarto 21 (com elevador)	54,09	53,80	0,54
15		Quarto 24	50,01	49,50	1,02
16		Quarto 28	62,42	63,00	0,86
17		Sala de enfermagem	45,56	46,80	2,72
18		Piso 2	Quarto 29	51,62	51,50
19	Quarto 29 (com elevador)		56,98	56,50	0,84
20	Quarto 31		56,12	55,30	1,46
21	Quarto 32		59,73	58,80	1,56
22	Quarto 36		70,01	72,80	3,99

Em suma, após a análise da Tabela 5, conclui-se que a variação dos tempos cronometrados e os obtidos pela simulação no *software*, estabelece-se entre o maior erro percentual de 11,89% e o menor de 0,23%. Portanto, constata-se que a média do erro percentual é de 3,84%. Por conseguinte, com estes resultados concluiu-se que o modelo de simulação do lar de idosos construído através do *Pathfinder* pode ser considerado válido.

### 3.4. Análise das Estratégias de Evacuação

No sentido de otimizar a evacuação da Estrutura Residencial para Pessoas Idosas, procedeu-se a um estudo de distintas estratégias. Efetivamente, criaram-se variáveis para que fosse possível analisar o comportamento dos ocupantes presentes no edifício. Neste projeto, para as estratégias de evacuação do edifício foram utilizados 82 ocupantes. Este grupo de ocupantes era constituído por 60 utentes, dos quais 5 necessitavam de cadeira de rodas para se locomoverem, 6 cozinheiras, 6 técnicos especializados, entre eles um médico e um enfermeiro, e, por último, 10 responsáveis treinados e capacitados para a correta evacuação do edifício. Segundo o Artigo n. 200 da Portaria 1532/2008, de 29 de dezembro, o responsável de segurança terá de nomear uma equipa de responsáveis de evacuação de, no mínimo, 6 elementos.

Desta forma, as estratégias de evacuação do lar de idosos foram desenvolvidas com o auxílio do modelo de simulação tiveram como destaque os seguintes parâmetros:

- Número de saídas disponíveis – o número de saídas disponíveis em cada cenário foram a principal variável para analisar o comportamento de todos os ocupantes e a influência no tempo total de evacuação;
- Utilização dos elevadores – foram realizadas simulações com as duas situações distintas, a utilização ou a não utilização do elevador configurado no modelo de simulação. Deste modo, os responsáveis de evacuação e os utentes com mobilidade reduzida, que necessitam de cadeira de rodas, usufruem maioritariamente do elevador no processo de evacuação;
- Tempo de pré-movimentação – como mencionado anteriormente, de acordo com (CFPA Europe, 2009), devido à maioria dos ocupantes necessitarem de auxílio para se moverem, o tempo médio de pré-movimentação é de 180 segundos.
- Perfis e comportamentos – no que diz respeito a esta variável, os ocupantes têm como prioridade estabelecida a escolha da saída mais adequada e próxima. De salientar que, o comportamento prioritário dos responsáveis de evacuação foi auxiliar os utentes de mobilidade reduzida, estabelecido no *software* com o uso da funcionalidade “*Add Action*” no momento de criação do *behavior* de cada ocupante, como se verificou na Figura 33;
- Velocidade de evacuação – relativamente a esta variável foi estabelecida uma velocidade constante de 1,4 m/s nos técnicos especializados e cozinheiras. A velocidade de evacuação estabelecida para os responsáveis de evacuação foi de 1,2 m/s. A velocidade de um ocupante com mobilidade reduzida, utilizando o auxílio de uma

cadeira de rodas, é de 0,69 m/s (Lúcia Lourenço et al., 2012). No entanto, visto que necessitam de auxílio dos responsáveis a velocidade aumenta de acordo com a velocidade estabelecida nestes ocupantes. Por último, mesmo que exista mobilidade nos utentes idosos, a mesma continua limitada, pelo que foi considerada uma velocidade de 1,2 m/s.

- Largura das portas – como mencionado anteriormente, segundo (Tanuwidjaja et al., 2018), a largura mínima de vão livre nas portas para a passagem de cadeira de rodas é de 800cm. Neste sentido, existiu o cuidado de todas as portas do edifício tivessem a mesma medida ou superior à permitida. De realçar que a largura das portas influencia no fluxo de movimento dos ocupantes, com a possibilidade de existência de *bottlenecks* no momento de evacuação;
- *Current Door Preference* – através da funcionalidade “*Edit Profiles > Door Choice*” pode-se definir a percentagem de escolha dos ocupantes mudarem ou não de porta durante o período de evacuação, sendo o nulo a maior permissão para os ocupantes mudarem de saída e 100% não permite a mudança de saída. Em todas as estratégias abordadas foi considerado nesta funcionalidade a 0%, uma vez que o pretendido foi a não orientação dos ocupantes, de forma que os ocupantes evacuem pela rota mais curta.

### 3.4.1. Cenário 1 – Todas as Saídas Disponíveis (com e sem elevador)

Neste primeiro cenário, todas as saídas do edifício estão disponíveis a serem utilizadas por todos os ocupantes durante o processo de evacuação. Efetivamente, as variáveis analisadas foram a utilização ou não do elevador e, posteriormente, o tempo médio de evacuação e a distância média percorrida. A velocidade dos ocupantes manter-se-á constante, contudo os técnicos e cozinheiras têm velocidade diferente dos idosos em geral, responsáveis de evacuação e dos utentes de cadeira de rodas, com 1,4 e 1,2 m/s, respetivamente. Esta estratégia teve em consideração a evacuação da capacidade máxima do edifício, mais concretamente 82 ocupantes. Para a análise de resultados não foi considerado o tempo de pré-evacuação.

Na Tabela 6, são demonstrados os resultados deste cenário tendo em conta a utilização, Figura 40, ou não do elevador para evacuar os utentes com cadeira de rodas, com o auxílio da equipa responsável pela evacuação.



Figura 40 - Evacuação de utentes cadeira de rodas pelo elevador

Tabela 6 – Tempos de Evacuação Cenário 1 – Todas as saídas disponíveis (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	45,1	39,9	167,2
Sem Elevador	47,4	42,4	156,9

Assim, pode-se verificar que o tempo total de evacuação da totalidade dos ocupantes do edifício foi de 167,2 e 156,9 segundos com e sem elevador, respetivamente. Observa-se que, tanto o tempo médio de evacuação por ocupante como a distância percorrida, são mais elevados na estratégia de evacuação sem o uso do elevador, visto que a evacuação dos utentes de cadeira de rodas acontece através da rampa de acesso ao piso 1, Figura 41. Contudo, essa distância superior não se reflete no tempo total de evacuação. Nesse sentido, é possível concluir que a espera que existe para transportar os utentes de cadeiras rodas de forma individual pelo elevador, não é compensatória na totalidade do processo de evacuação.

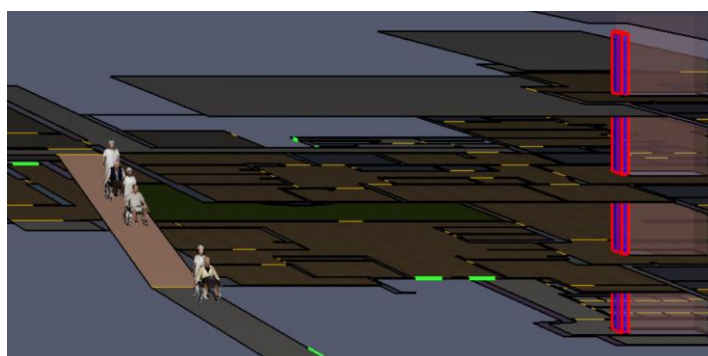


Figura 41 - Evacuação dos utentes de cadeira de rodas pela rampa

Na Figura 42, observa-se a evolução da evacuação dos utentes com recurso ao elevador. De salientar a estagnação do número de evacuados após o segundo 80, devido à espera do elevador para evacuar os utentes de cadeira de rodas do piso 1.

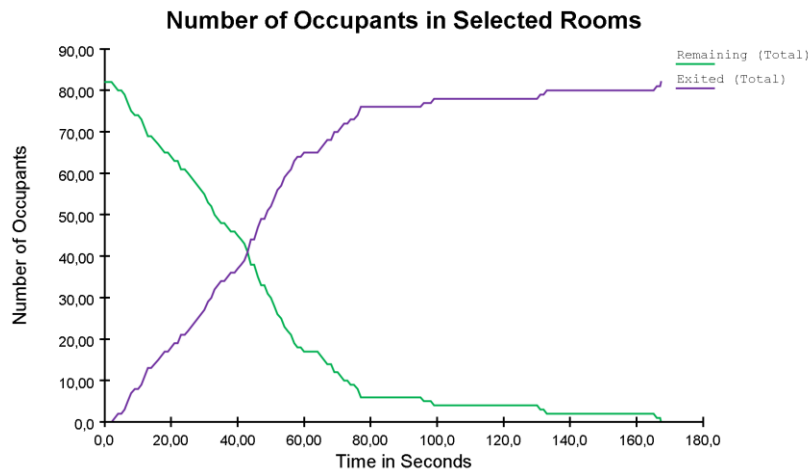


Figura 42 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 1)

Na Figura 43, pode-se observar que após o segundo 80 ficam, igualmente, apenas a faltar evacuar os utentes de cadeiras de rodas e os respetivos responsáveis, pelo que esta estratégia foi definida pelo tempo de evacuação dos utentes de cadeira de rodas ser mais demorado.

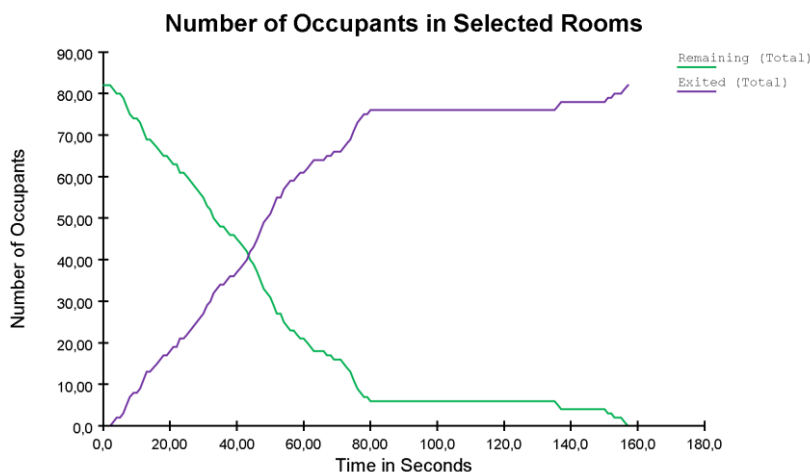


Figura 43 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 1)

Através das Figura 42 e Figura 43, analisou-se que 50% da população evacuada acontece em ambos os casos aos 43 segundos. Isto significa que esta percentagem de evacuados não recorre ao uso do elevador para efetuar a evacuação.

De realçar o ponto de estrangulamento nas escadas de acesso aos pisos inferiores, tanto escadas centrais como escadas sul, como a título de exemplo na Figura 44, existente em ambas as situações, entre o segundo 35 e 50, aproximadamente. Todavia, neste cenário é mais notório quando o elevador não é utilizado devido ao maior número de evacuados entre o segundo 60 e 80 devido ao congestionamento no fluxo de movimento entre cadeira de rodas e os restantes ocupantes.



Figura 44 - "Bottleneck" nas escadas (Cenário 1)

Na Figura 45, é de possível análise uma evacuação maior pela porta sul ("Door 193") numa fase inicial. Posteriormente, observa-se oscilações periódicas na utilização das portas centrais após o segundo 100 devido à evacuação dos utentes pelo elevador, como referido anteriormente.

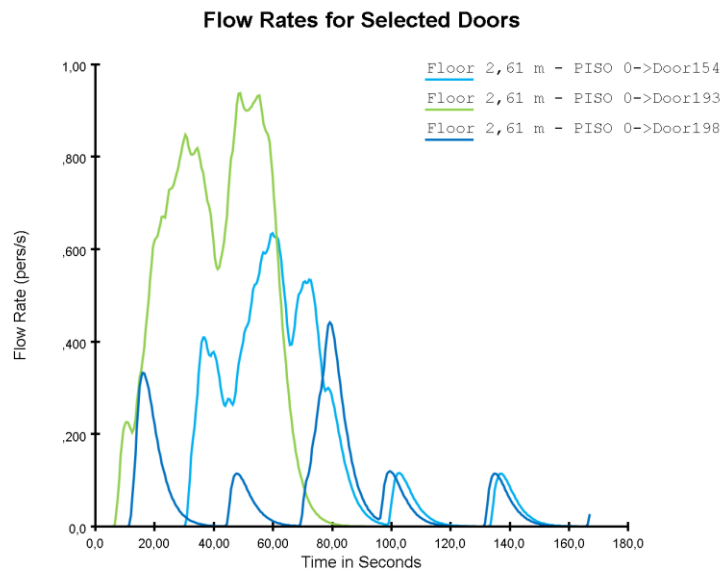


Figura 45 - Fluxo de evacuação nas portas de saída (Cenário 1 - com elevador)

Na Figura 46, à semelhança da análise de evacuação com recurso ao elevador verifica-se uma utilização mais elevada da porta sul na fase inicial. No entanto, na fase final pode-se analisar a utilização da porta de acesso à rampa de evacuação do piso 1 ("Door 470") para a evacuação das cadeiras de rodas sem o uso do elevador.

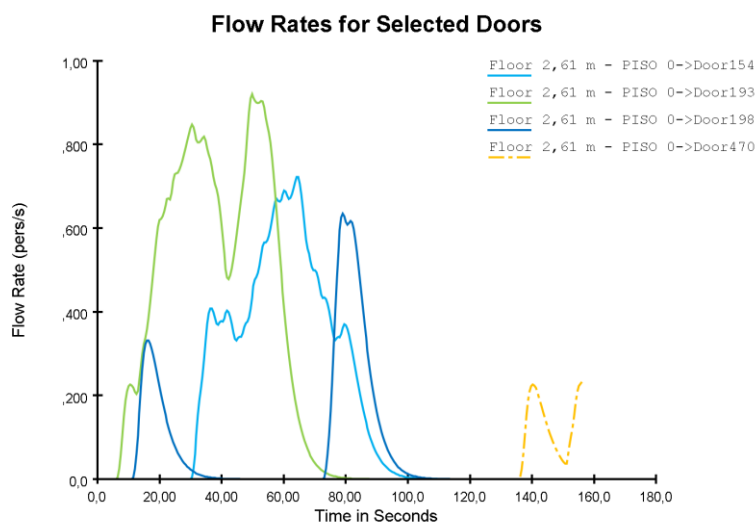


Figura 46 - Fluxo de evacuação nas portas de saída (Cenário 1 - sem elevador)

Em ambos os gráficos, é possível analisar a queda de número de evacuados entre os 35 e 50 segundos, o que justifica o ponto de estrangulamento existente nas escadas centrais e sul.

### 3.4.2. Cenário 2 – Portas Sul Fechadas Piso 2 (com e sem elevador)

Neste cenário, a estratégia passa por bloquear as portas sul do piso 2, como exemplificado a vermelho na Figura 47. O processo de evacuação realiza-se sem orientação, de forma aos utentes optarem pela saída mais próxima.

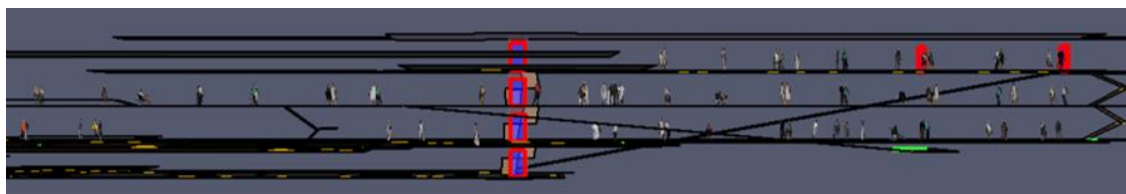


Figura 47 - Portas Sul Fechadas Piso 2 - Cenário 2

Na Tabela 7, apresentam-se os resultados deste cenário com a variável do acesso sul ao piso 2 bloqueado e o recurso ou não do elevador para evacuar os utentes com cadeira de rodas, com o auxílio da equipa responsável pela evacuação, à semelhança do primeiro cenário.

Tabela 7 - Tempos de Evacuação Cenário 2 – Porta Sul Fechada Piso 2 (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	51,6	45,2	174,8
Sem Elevador	54,0	47,6	156,6

Através dos resultados apresentados, analisa-se que apesar do tempo total de evacuação na situação de não utilizar o elevador para evacuar ser menor 18,2 segundos do que se recorrer ao elevador, embora tanto o tempo médio de evacuação como a distância média percorrida

por ocupante são superiores. Este facto deve-se devido à elevada espera de dois utentes em cadeira de rodas em simultâneo pelo elevador, como demonstrado na Figura 48.

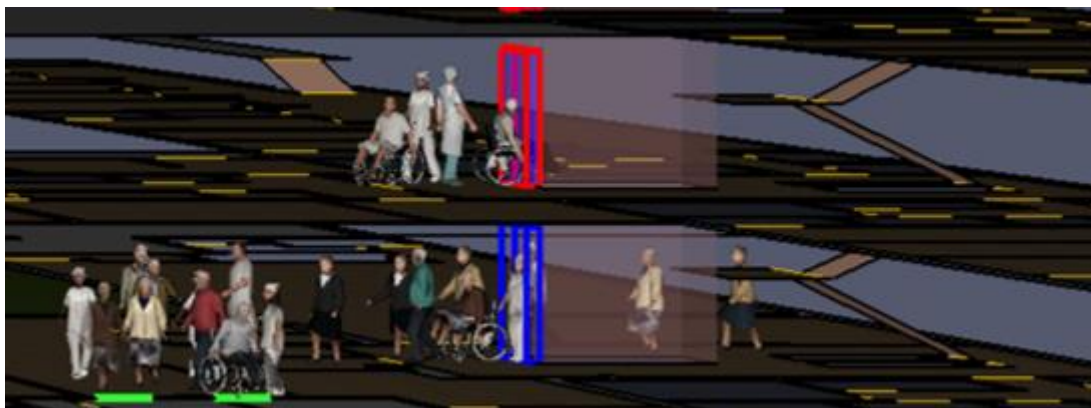


Figura 48 - Utentes em cadeira de rodas à espera em simultâneo (Cenário 2)

Na Figura 49, observa-se um ponto gargalo entre os 30 e 60 segundos nas escadas centrais (Figura 50). Efetivamente, o bloqueio das portas sul do piso 2 fez que a densidade de ocupantes nas escadas centrais fosse maior. Com esta evidência resultou o atraso e a espera excessiva dos responsáveis de evacuação para evacuar os utentes de cadeira de rodas. Após os 100 segundos, apenas faltavam evacuar esses mesmos utentes, mostrando que nesse momento a evacuação estagnou. Na estratégia com recurso ao elevador, pode-se observar também que foram evacuados 50% dos ocupantes aos 46 segundos.

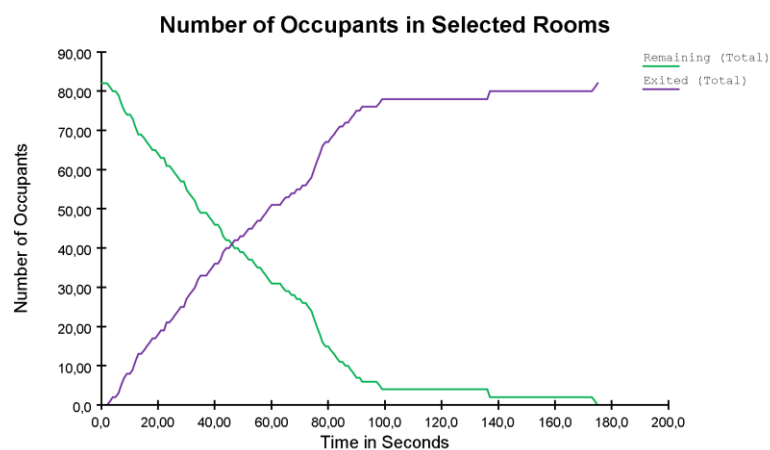


Figura 49 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 2)

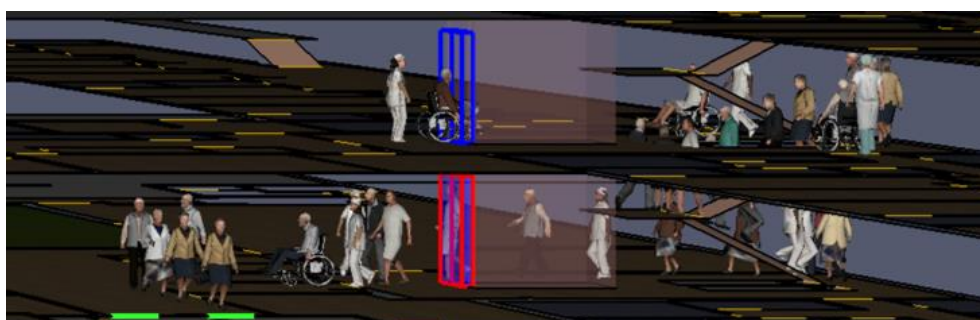


Figura 50 - "Bottleneck" nas escadas centrais (Cenário 2)

Na Figura 51, contempla-se igualmente um ponto de congestionamento devido à maior aglomeração de ocupantes nas escadas centrais de acesso a pisos inferiores, visto que nesta estratégia foram necessários 50 segundos para evacuar 50% dos ocupantes. Contudo, apesar da maior distância percorrida o tempo de evacuação dos utentes de cadeira de rodas foi inferior à espera do elevador.

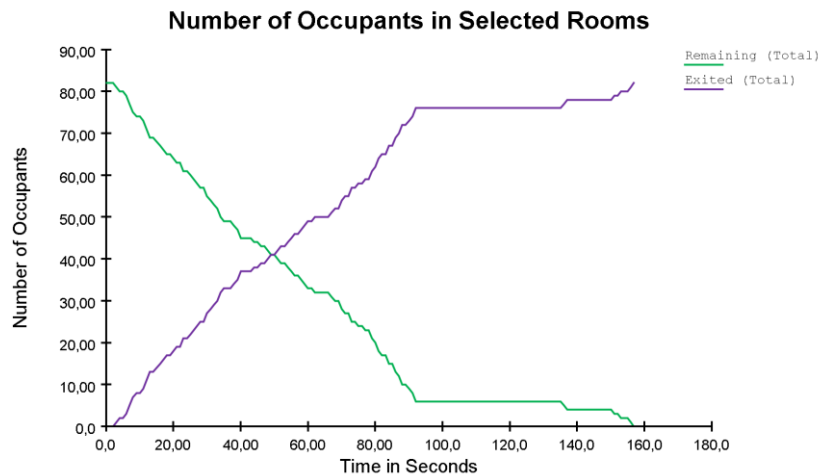


Figura 51 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 2)

Como é possível verificar nas Figura 52 e Figura 53, existe um enorme fluxo de movimento de ocupantes nas escadas centrais entre os 30 e 60 segundos.

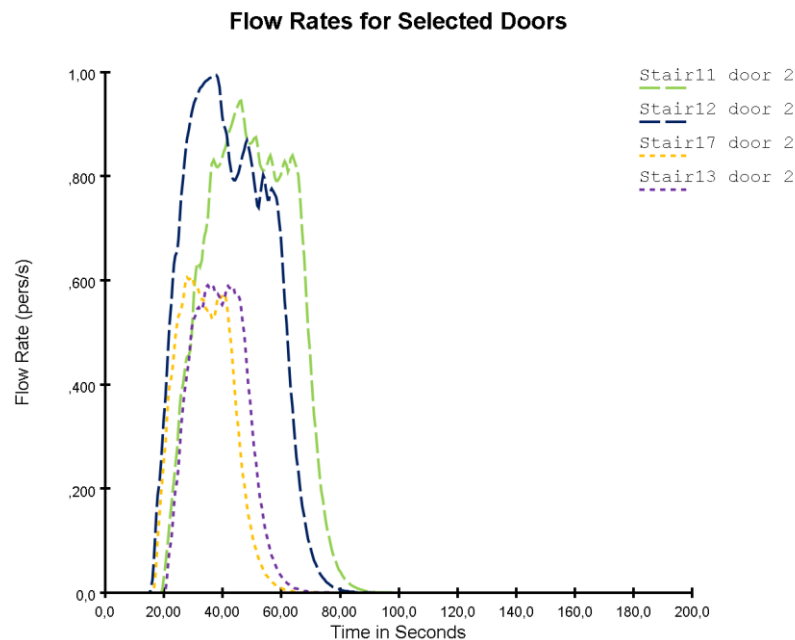


Figura 52 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 2 - com elevador)

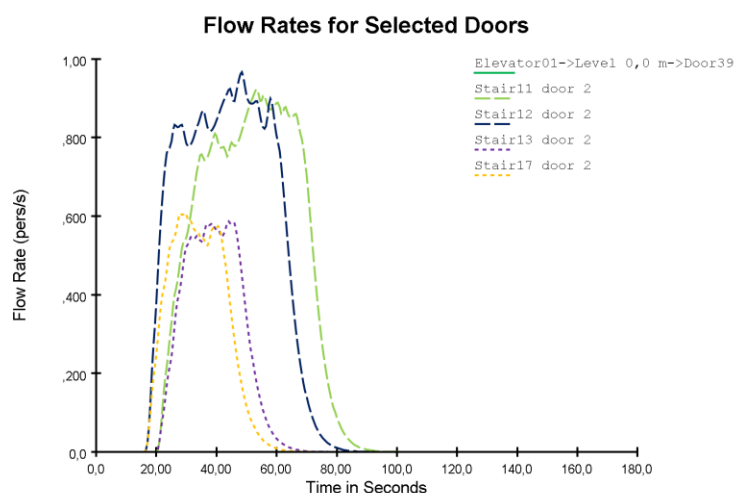


Figura 53 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 2 - sem elevador)

Na verdade, mais uma vez a evacuação dos utentes de cadeira de rodas pela rampa tem um impacto significativo no que diz respeito ao tempo total de evacuação.

Por último, realçar que os utentes que se encontram alocados mais próximos da porta sul conseguem evacuar mais rapidamente, uma vez que o fluxo de ocupantes e a distância para o exterior do edifício são menores.

### 3.4.3. Cenário 3 – Portas Norte Fechadas Piso 2 (com e sem elevador)

No cenário 3, a estratégia passa por bloquear as portas norte do piso 2, como se observa a vermelho na Figura 54. Tal como nos cenários anteriores o processo de evacuação foi efetuado sem orientação, assim, os utentes optam pela saída mais próxima.



Figura 54 - Portas Norte Fechadas Piso 2 - Cenário 3

Na Tabela 8, observam-se os resultados deste cenário com os acessos norte bloqueados no piso 2, ou seja, os utentes desse piso ficaram impossibilitados de evacuar tanto pelas escadas centrais como pelo elevador.

Tabela 8 - Tempos de Evacuação Cenário 3 – Portas Norte Fechadas Piso 2 (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	45,1	39,9	167,2
Sem Elevador	47,4	42,4	156,9

Na tabela apresentada, pode-se concluir que, à semelhança do cenário 1 e ao contrário do cenário 2, os utentes localizados no piso 2 não utilizam as escadas centrais para evacuar, uma vez que escadas sul se encontram mais próximas. Posto isto, é possível verificar que os tempos totais de evacuação são os mesmos do cenário 1. Em relação ao cenário 2, possível concluir que o tempo de evacuação sem utilizar o elevador é semelhante, apesar da distância média percorrida e do tempo médio de evacuação por ocupante se demonstrarem consideravelmente menores. Embora a distância percorrida seja menor na estratégia com a utilização do elevador, o tempo de espera do elevador consegue ser superior do que evacuar os utentes de cadeira de rodas pelo elevador.

Na verdade, nas Figura 55 e Figura 56, verifica-se que após os 80 segundos ficam apenas os utentes de cadeira de rodas do piso 1 por evacuar. Assim, é observada a ligeira diferença de tempo de evacuação desses utentes.

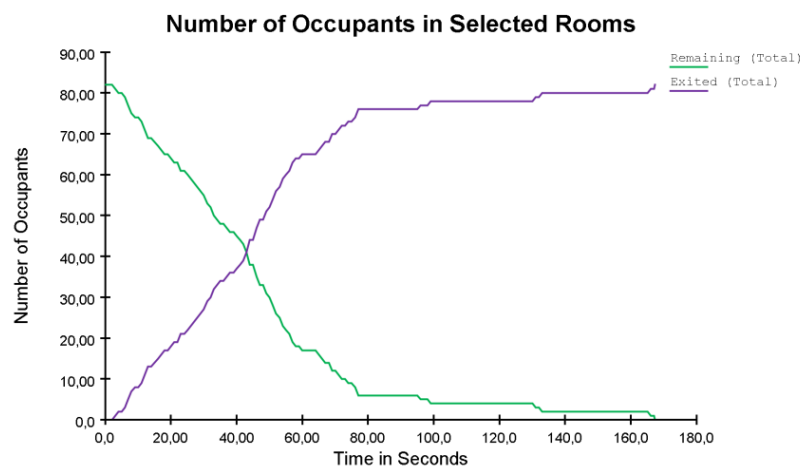


Figura 55 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 3)

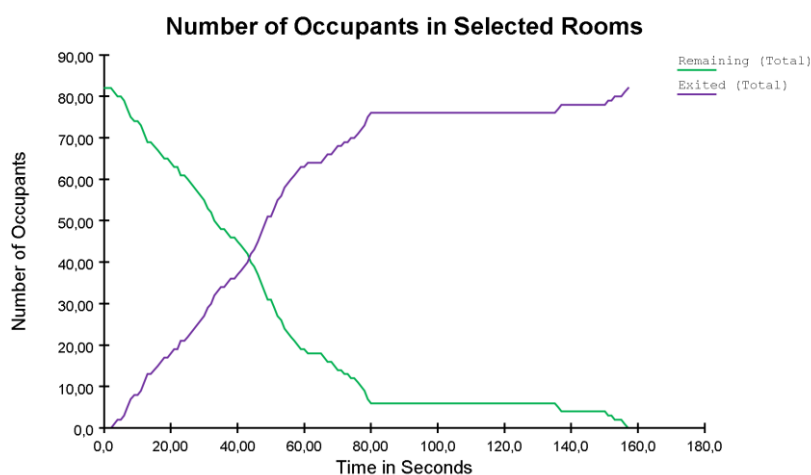


Figura 56 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 3)

Em ambas as estratégias, com e sem elevador, conclui-se que é possível evacuar metade dos ocupantes aos 43 segundos. Observa-se ainda maior concentração de ocupantes, no processo de evacuação, entre os 35 e 50 segundos nas escadas de acesso a pisos inferiores.

Em suma, de igual forma ao que aconteceu nos cenários anteriores o tempo total de evacuação de todos os ocupantes do edifício é definitivamente influenciado pelo processo de evacuar os utentes de cadeira de rodas do piso 1, tanto pelo elevador como pela rampa. Pelo que se observa a evacuação da totalidade dos restantes ocupantes até aos 80 segundos, aproximadamente.

### 3.4.4. Cenário 4 – Portas Sul Fechadas Piso 1 (com e sem elevador)

Neste cenário, a estratégia teve como objetivo bloquear as portas sul do piso 1, como se pode verificar sinalizado a vermelho na Figura 57. Tal como nos cenários anteriores o processo de evacuação foi efetuado sem orientação, assim, os utentes optam pela saída mais próxima.

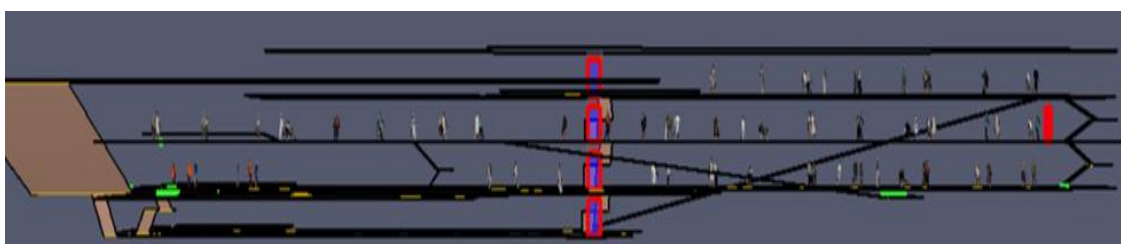


Figura 57 - Portas Sul Fechadas Piso 1 - Cenário 4

À semelhança dos cenários anteriores, a variável a analisar, no processo de evacuação da capacidade máxima do edifício, foi a utilização ou não do elevador. De realçar que, a velocidade dos ocupantes manteve-se constante, apenas os técnicos e cozinheiras têm velocidade diferente dos idosos em geral, responsáveis de evacuação e dos utentes de cadeira de rodas, com 1,4 e 1,2 m/s, respetivamente.

Na Tabela 9, demonstram-se os resultados obtidos através da simulação efetuada no *Pathfinder*, tendo em conta se os responsáveis de evacuação recorreram ao elevador ou não.

Tabela 9 - Tempos de Evacuação Cenário 4 – Portas Sul Fechadas Piso 1 (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	52,1	44,4	174,8
Sem Elevador	53,7	47,0	157,8

Após obtidos dos resultados, verifica-se que, como acontece no cenário 2, apesar do tempo total de evacuação na situação de não utilizar o elevador para evacuar ser menor do que se recorrer ao elevador, tanto o tempo médio de evacuação como a distância média percorrida por ocupante são superiores. Isto justifica-se devido à existência de um ponto de estrangulamento nas escadas centrais no acesso piso 1 para o piso 0. O que dificulta a passagem dos utentes de cadeira de rodas para o acesso ao elevador, Figura 58.



Figura 58 - "Bottleneck" nas escadas centrais (Cenário 4)

Nas Figura 59 e Figura 60, pode-se observar então o ponto de estrangulamento entre os 20 e 50 segundos. Portanto, conclui-se que o bloqueio da porta sul do piso 1 fez com que a densidade populacional nas escadas centrais se efetuasse mais cedo que no cenário 2. Efetivamente, é de possível análise que a evacuação, em ambos os casos, estagna a partir do segundo 90, pelo que se verifica que após esse momento apenas faltam evacuar os utentes de cadeira de rodas e os respetivos responsáveis, ou seja, todos os outros ocupantes já conseguiram evacuar.

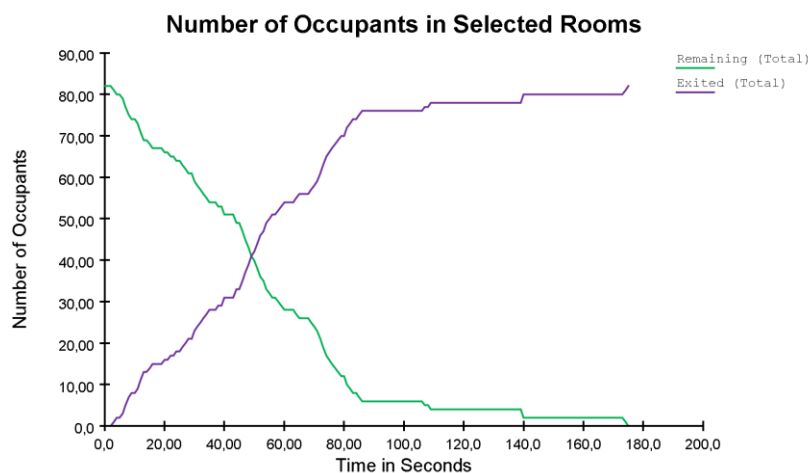


Figura 59 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 4)

Observa-se na Figura 59, após o momento em que apenas se encontram os utentes de cadeiras de rodas para evacuar, oscilações periódicas no tempo que traduzem o intervalo de espera pelo elevador para cada utente.

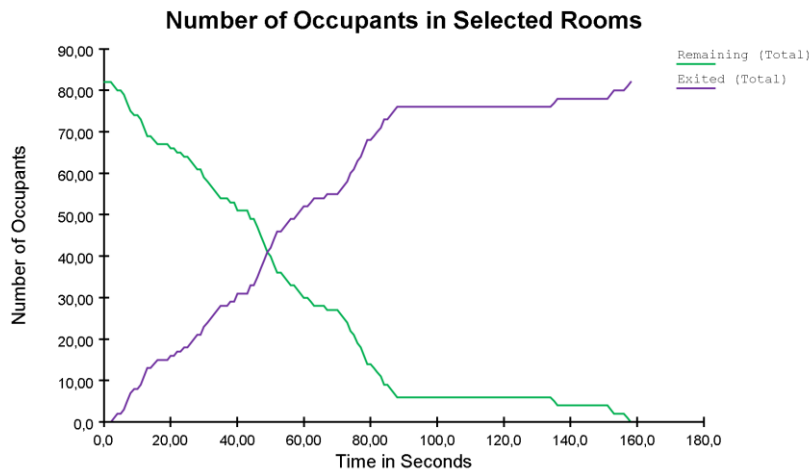


Figura 60 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 4)

Em análise à Figura 60, verifica-se que após os 90 segundos os responsáveis de evacuação percorrem um período mais longo com os respetivos utentes, contudo na fase final a evacuação acontece uns em seguida dos outros, ao contrário de quando se utiliza elevador. Deste modo, após esta análise é possível concluir que o tempo de espera do elevador, individualmente por utente, não é favorável para o tempo total de evacuação.

Tanto na evacuação com recurso ao elevador ou sem, foram necessários 49 segundos para a evacuação de 50% dos ocupantes.

Como é possível observar nas Figura 61 e Figura 62, existe uma afluência superior nas escadas centrais entre os 20 e 50 segundos, justificando, assim, o “*bottleneck*” mencionado anteriormente.

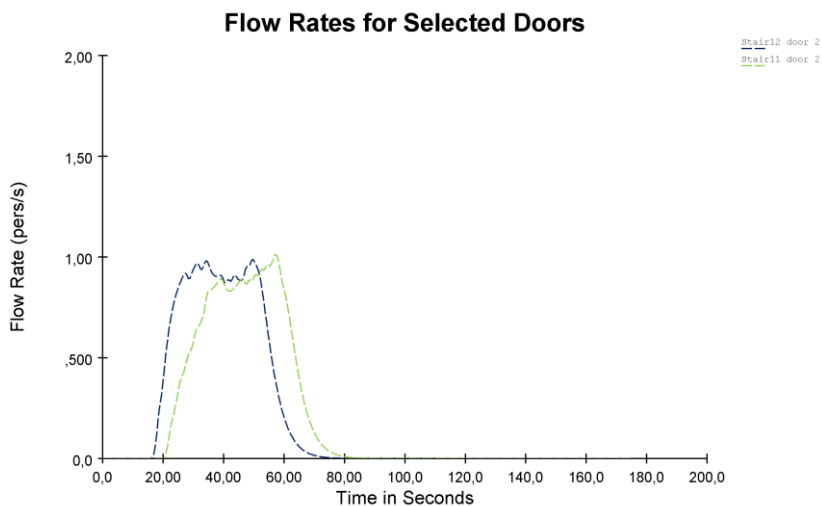


Figura 61 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 4 - com elevador)

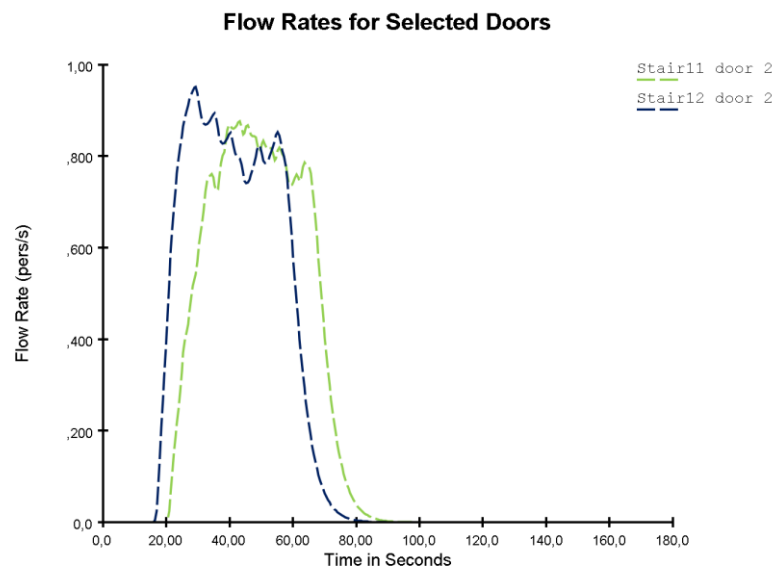


Figura 62 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 4 - sem elevador)

Em conclusão, enfatiza-se que, como nos cenários anteriores, a evacuação é superior e mais rápida na fase inicial pela porta sul (“Door 193”), pelo que após os 80 segundos todos os utentes que evacuam por este ponto já concluíram o processo. No entanto, verifica-se que no cenário em que não é utilizado o elevador a porta de acesso à rampa (“Door 470”) apenas é utilizada após os 135 segundos (Figura 63).

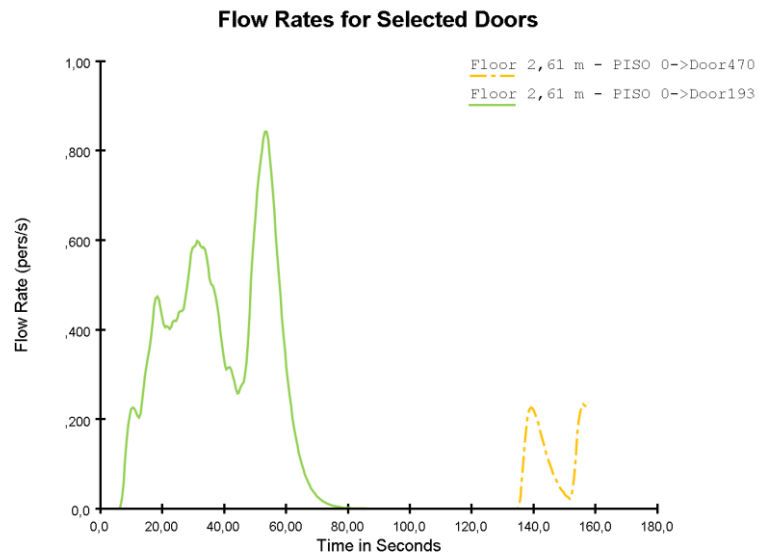


Figura 63 - Fluxo de evacuação nas portas de saída (Cenário 4)

### 3.4.5. Cenário 5 – Portas Norte Fechadas Piso 0 (com e sem elevador)

Neste cenário, observou-se o bloqueio das portas norte do piso 0 como se pode verificar sinalizado a vermelho na Figura 64. Este conjunto de portas de emergência é constituído pelas portas que dão acesso ao ponto de encontro da extremidade norte, já demonstrado

anteriormente, nomeadamente, a porta de acesso ao corredor lateral e as portas de evacuação rápida pela zona da cozinha. Assim como nos cenários anteriores o processo de evacuação realizou-se com o princípio de que os utentes optam pela saída mais próxima, utilizam ou não o elevador como meio de evacuação e a velocidade manteve-se constante.



Figura 64 - Portas Norte Fechadas Piso 0 - Cenário 5

Na Tabela 10, é de possível análise que os resultados do presente cenário com as variáveis do acesso norte ao piso 0 bloqueado e o recurso ou não do elevador para evacuar os utentes com cadeira de rodas, com o auxílio da equipa responsável pela evacuação

Tabela 10 - Tempos de Evacuação Cenário 5 – Portas Norte Fechadas Piso 0 (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
<b>Com Elevador</b>	47,5	43,1	167,2
<b>Sem Elevador</b>	49,8	45,6	156,9

Através dos resultados apresentados é possível observar que, em relação ao cenário em que se encontram todas as saídas disponíveis, existe em ambas as estratégias, com e sem elevador, maior distância percorrida e tempo médio de evacuação por ocupante. Isto prende-se ao facto de as cozinheiras terem de realizar uma maior distância até à saída mais próxima para evacuar. Contudo, uma vez mais como o tempo total de evacuação da capacidade máxima do edifício é definido exclusivamente pelos utentes de cadeira de rodas.

Efetivamente, pode-se concluir que os bloqueios dos acessos norte não têm uma influência significativa no tempo total de evacuação, visto que apenas estavam a ser utilizados pelas cozinheiras que auferem uma velocidade de movimento superior aos demais, 1,4 m/s.

Na Figura 65, analisa-se que após os 80 segundos apenas ficam a faltar evacuar os utentes de cadeira de rodas. Desta forma, verifica-se o tempo de espera pelo elevador entre cada responsável de evacuação e respetivo utente auxiliado.

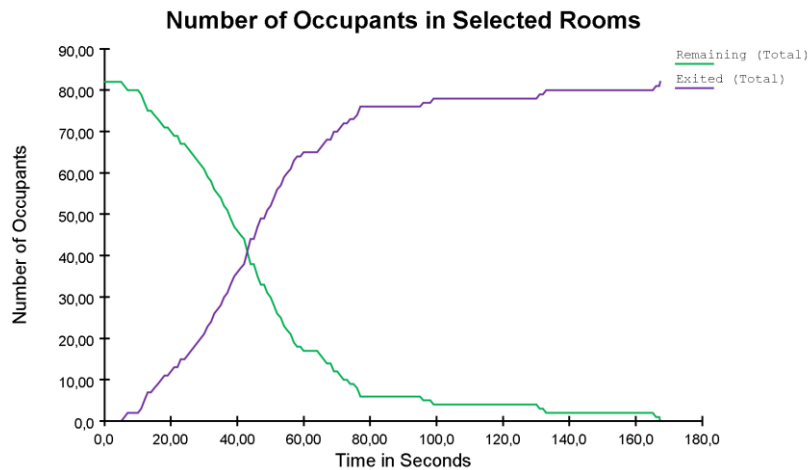


Figura 65 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 5)

Na Figura 66, pode-se concluir igualmente que a totalidade dos ocupantes, à exceção dos de cadeira de rodas, evacua num período de 80 segundos. Após esse período, verifica-se o tempo que os mesmos demoram a percorrer a distância pela rampa de acesso ao piso 1, contudo é notório que a evacuação se efetua, aproximadamente, 10 segundos mais rápida.

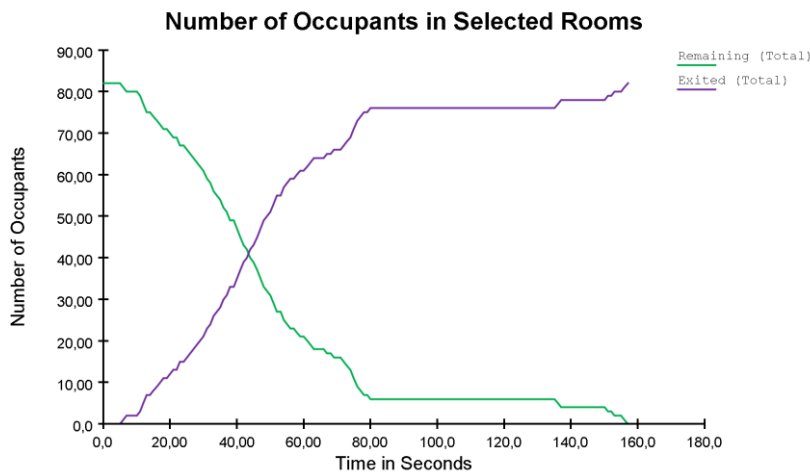


Figura 66 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 5)

Com a análise às Figura 65 e Figura 66, concluiu-se que em ambas as estratégias o tempo de evacuação de metade dos ocupantes é de 43 segundos e de todos os ocupantes que não utilizam o elevador é de 80 segundos. Posto isto, pode-se afirmar que a diferença no tempo total de evacuação está inteiramente ligada ao tempo de espera do elevador e que todos os elementos que não necessitam de auxílio para evacuar não recorrem ao elevador.

Nos gráficos apresentados observa-se que entre os 35 e 50 segundos existe um ligeiro ponto de estrangulamento, uma vez que no período após existe um maior número de evacuados, como se pode verificar também nas Figura 67 e Figura 68. Isto deve-se ao facto de existir conflito, no espaço do elevador e escadas centrais do piso 1, entre a passagem de utentes de cadeiras de rodas e a restante população.

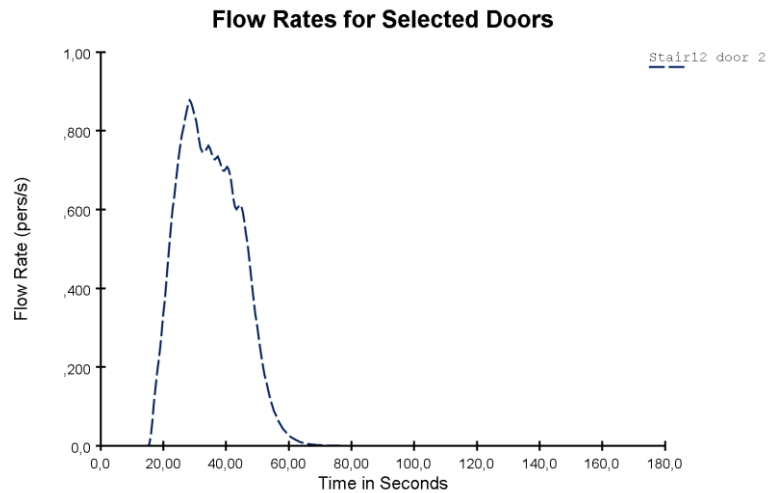


Figura 67 -Fluxo de evacuação na escada central piso 1 (Cenário 5 - com elevador)

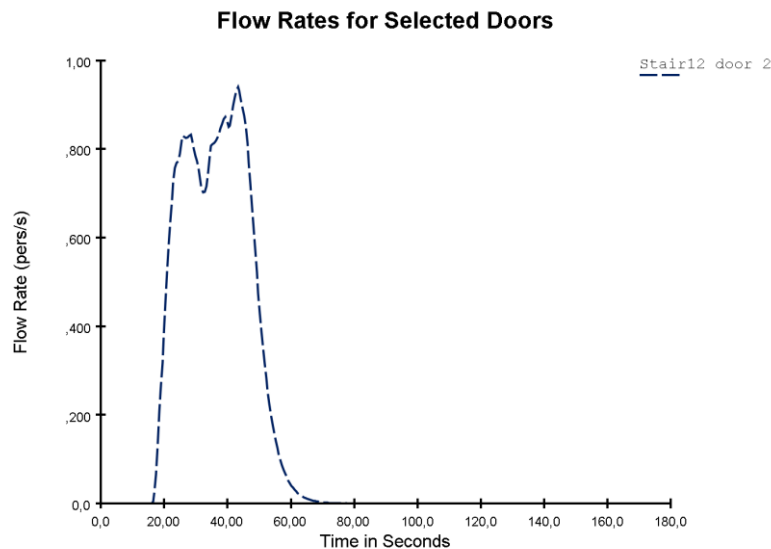


Figura 68 - Fluxo de evacuação na escada central piso 1 (Cenário 5 - sem elevador)

### 3.4.6. Cenário 6 – Portas Sul Fechadas Piso 0 (com e sem elevador)

No cenário 6, a estratégia teve como princípio o bloqueio das portas sul do piso 0, como se pode observar pela sinalização a vermelho na Figura 69. As portas de emergência sul do piso 0 são constituídas pelas portas principais que dão acesso ao átrio de entrada, a porta de acesso à escadaria sul de acesso aos pisos e a porta da rampa de acesso ao piso 1, que é por onde evacuam os utentes de cadeira de rodas localizados nesse mesmo piso quando existe a ausência do elevador. Desta forma, como efetuado nos cenários anteriores o processo de evacuação teve como objetivo que os utentes optem pela saída mais próxima, utilizem ou não o elevador como meio de evacuação e a velocidade manteve-se constante.

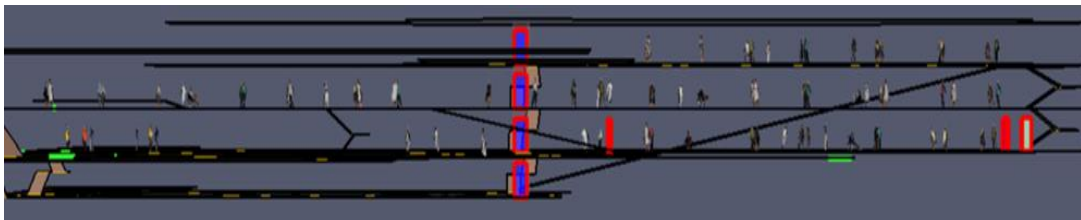


Figura 69 - Portas Sul Fechadas Piso 0 - Cenário 6

É possível analisar, na Tabela 11, os resultados do presente cenário com os acessos sul ao piso 0 bloqueados e o recurso ou não do elevador.

Tabela 11 - Tempos de Evacuação Cenário 6 – Portas Sul Fechadas Piso 0 (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	87,2	80,7	215,6
Sem Elevador	84,5	81,0	157,9

Com os resultados obtidos através do *software* de simulação, é possível analisar uma diferença significativa entre o uso ou não do elevador, ou seja, com recurso ao elevador o tempo de evacuação total da capacidade máxima do edifício mostrou-se mais lenta 57,7 segundos. Na Tabela 11, pode-se ainda observar que a distância média percorrida por ocupante com o bloqueio dos acessos sul é idêntica em ambas as estratégias. Contudo, é notória a diferença para os outros cenários, principalmente pelo bloqueio da porta principal central, existindo uma diferença de aproximadamente 30 metros por ocupante. A grande diferença entre as estratégias, como já referido, está no uso do elevador. De acordo com a Figura 70, evidencia-se um elevado tempo de espera entre cada utente que utiliza o elevador, sendo que entre o primeiro e último utilizador existe uma discrepância de cerca de 100 segundos.

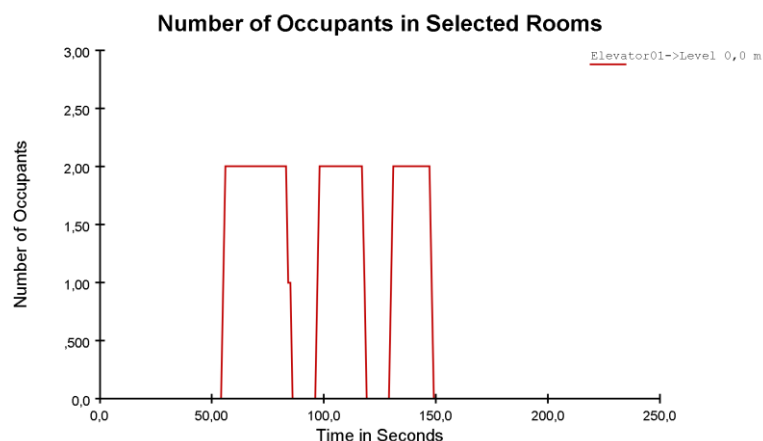


Figura 70 - Evolução do recurso ao elevador (Cenário 6)

Nas Figura 71 e Figura 72, analisa-se que 50% dos ocupantes alocados no edifício são evacuados aos 86 segundos. Posto isto, a influência do bloqueio das portas centrais é elevada, visto que

nos cenários anteriores o tempo que esses ocupantes demoravam a evacuar era bastante menor.

Na verdade, a Figura 71 demonstra que apenas aos 140 segundos todos os ocupantes, à exceção dos utentes de cadeiras de rodas e respetivos responsáveis, se encontram no exterior do edifício.

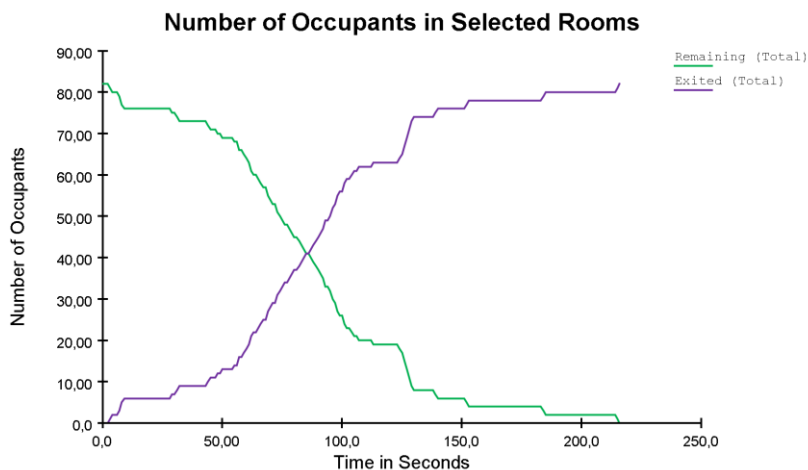


Figura 71 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 6)

Na Figura 72, observa-se que os utentes evacuem, à exceção dos utentes de cadeiras de rodas e respetivos responsáveis, na sua totalidade aos 135 segundos. Contudo, no sentido contrário do que na estratégia com elevador não existe tempo de espera pelo mesmo. Pelo que se verifica uma evacuação dos utentes de cadeira de rodas imediatamente após os restantes. Isto deve-se apenas ao facto de estes percorrem uma maior distância e com uma velocidade de movimento menor, nomeadamente, 1,2 m/s.

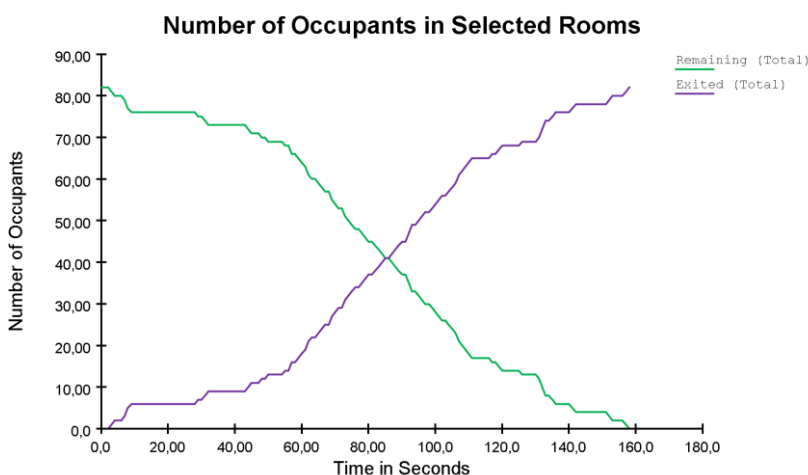


Figura 72 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 6)

Em ambos os gráficos, é possível verificar um ponto de estrangulamento entre os 20 e 60 segundos. Com isto, constatou-se que existe um elevado fluxo de movimento de pessoas nas vias de evacuação central, como se pode verificar na Figura 73, uma vez que, tanto os ocupantes do piso 1 como piso 2 evacuam pela mesma via.



Figura 73 - "Bottleneck" nas escadas centrais (Cenário 6)

A afluência e congestionamento neste ponto é visivelmente criado pela incompatibilidade da passagem entre os utentes de cadeiras de rodas e os restantes. Pelo que se pode concluir que, a via de passagem entre os diferentes perfis não é adequada e com largura suficiente.

Neste sentido, através das Figura 74 e Figura 75, comprova-se o facto de existir um elevado número de ocupantes a transitarem em simultâneo através das escadas centrais entre os 20 e 60 segundos. Assim, pode-se elucidar acerca do ponto de estrangulamento existente nesta via de evacuação.

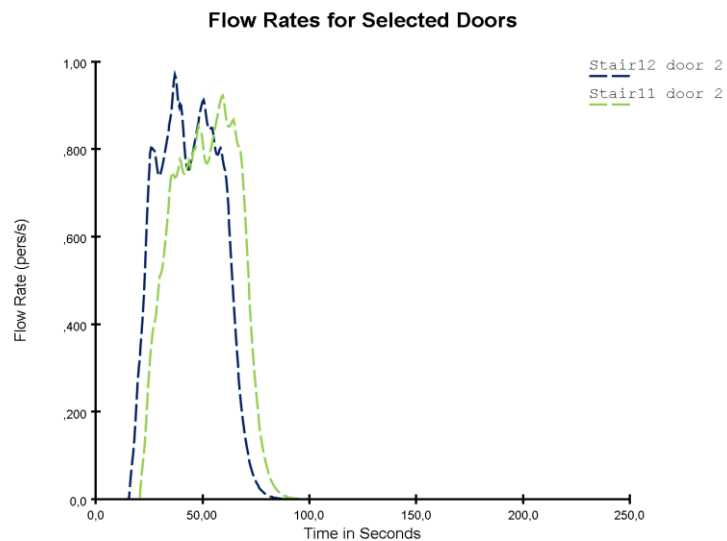


Figura 74 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 6 - com elevador)

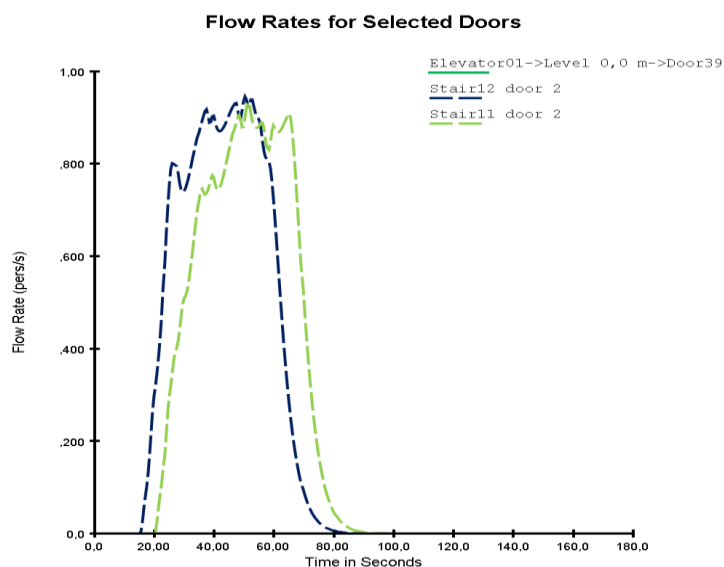


Figura 75 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 6 - sem elevador)

Em conclusão, comprovou-se novamente que os utentes de cadeira de rodas influenciam o tempo total de evacuação. No entanto, neste cenário foi mais notória a sua influência quando utilizado o elevador. Sem o recurso ao elevador a diferença para os restantes ocupantes não é significativa, apenas justificada pela distância a que se encontram da saída de emergência e a respetiva velocidade.

### 3.4.7. Cenário 7 – Apenas Saídas Principais Abertas (com e sem elevador)

Neste cenário, foi definido como cerne da estratégia o bloqueio de todas as portas de evacuação exceto as portas principais que dão acesso ao átrio de entrada e a porta de acesso à rampa do piso 1 (Figura 76), que tem como obrigatoriedade de estar disponível para a evacuação dos utentes de cadeira de rodas. Todavia, em caso de impossibilidade de evacuação pelas vias adequadas terão de ser adaptados meios evacuação através das janelas para evacuação de pisos superiores. À semelhança dos cenários anteriores, a evacuação regista ao longo de todo o processo uma velocidade constante (distintas nos diferentes perfis dos ocupantes). Os utentes realizam a evacuação sem orientação e procuram a saída mais próxima.



Figura 76 - Apenas Saídas Principais disponíveis - Cenário 7

Na Tabela 12, são apresentados os resultados da estratégia inerente a este cenário, com recurso ou não do elevador para a evacuação dos utentes de cadeira de rodas do piso 1.

Tabela 12 - Tempos de Evacuação Cenário 7 – Apenas Saídas Principais Piso 0 (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	69,5	58,6	170,7
Sem Elevador	70,7	61,1	157,9

Através dos resultados demonstrados, é possível verificar que existe uma diferença entre o recurso ou não do elevador de, aproximadamente, 13 segundos. Na verdade, apesar de a distância percorrida por ocupante e o tempo médio de evacuação serem ligeiramente superiores quando não se utiliza o elevador, a diferença não é significativa uma vez que apenas existem as portas principais como saídas de emergência. Esta diferença apenas se justifica pela distância que os responsáveis de evacuação têm de realizar para evacuar os utentes de cadeira de rodas pela rampa de acesso ao piso 1. Uma vez mais, como acontece nos restantes cenários, o tempo de espera do elevador é mais elevado do que a o tempo que se faz para percorrer a rampa de evacuação.

Nas Figura 77 e Figura 78, observa-se que metade dos ocupantes completam o processo de evacuação aos 71 segundos. Assim, pode-se afirmar que esses ocupantes não necessitam de recorrer ao elevador, visto que o tempo de evacuação é o mesmo nas duas estratégias. De realçar que, dado que apenas as portas principais estão disponíveis, todos os ocupantes realizam a evacuação total em 105 segundos, à exceção dos utentes que necessitam de auxílio para se moverem. No que diz respeito a esses ocupantes, o tempo total de evacuação difere entre o tempo de espera pelo elevador e a distância percorrida pela rampa, tal como acontece nos restantes cenários.

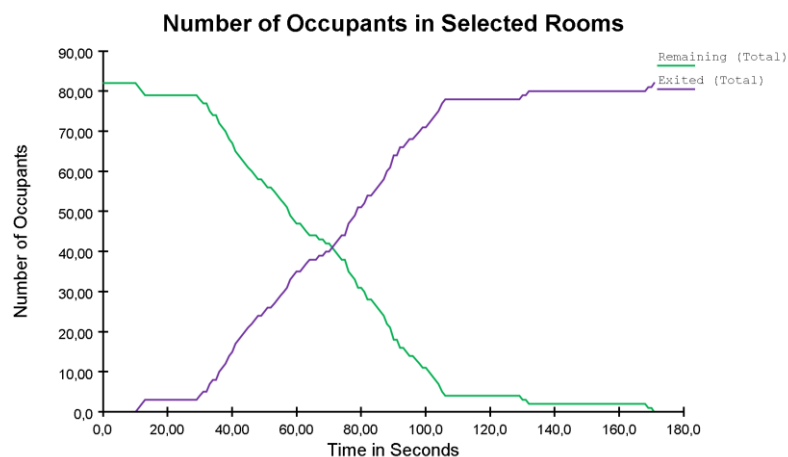


Figura 77 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 7)

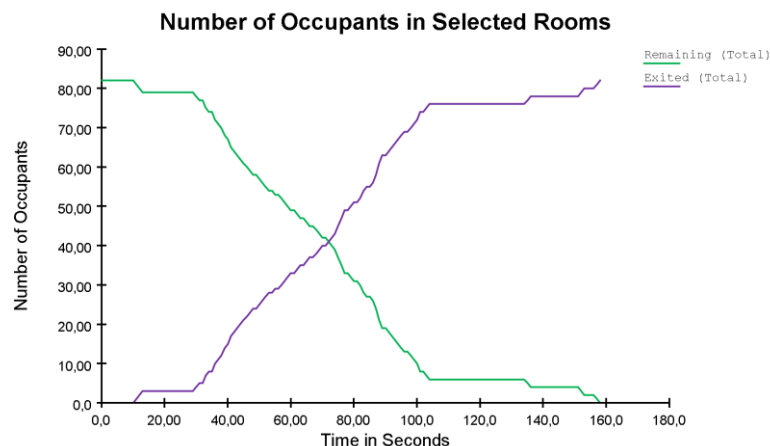


Figura 78 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 7)

Em ambas as situações verifica-se que, na fase inicial, existe um tempo de espera após os primeiros ocupantes evacuarem devido à distância a que os restantes se encontram da porta principal.

Efetivamente, tanto na estratégia com recurso ao elevador como na que não utiliza o mesmo, observam-se pontos de estrangulamento entre os 30 e 70 segundos. Deste modo, analisa-se que existe um fluxo de movimento elevado nas escadas centrais devido ao conflito entre as cadeiras de rodas e os restantes ocupantes (Figura 79). Posteriormente, existe também grande afluência junto às saídas de emergência centrais, visto que são as únicas disponíveis para evacuar, como demonstrado na Figura 80.

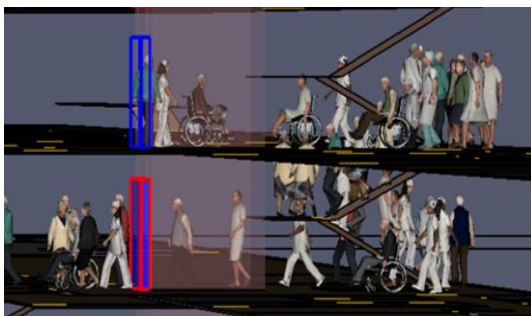


Figura 79 - "Bottleneck" nas escadas centrais (Cenário 7)



Figura 80 - "Bottleneck" nas portas centrais (Cenário 7)

Como se pode verificar na Figura 81, existe maior afluência de ocupantes nas escadas centrais entre os 30 e 70 segundos. Contudo, nas portas centrais de evacuação apenas começa a existir afluência após os 40 segundos até aos 70 segundos, onde se encontra a maior aglomeração no processo de evacuação nesta passagem (Figura 82). Ainda se pode analisar que não existe uma discrepância significativa entre o último ocupante a evacuar pela porta central e o primeiro utente de cadeira de rodas que utiliza a rampa de acesso ao piso 1, no caso de não se utilizar elevador. Assim, conclui-se que este cenário é mais favorável sem o uso do elevador.

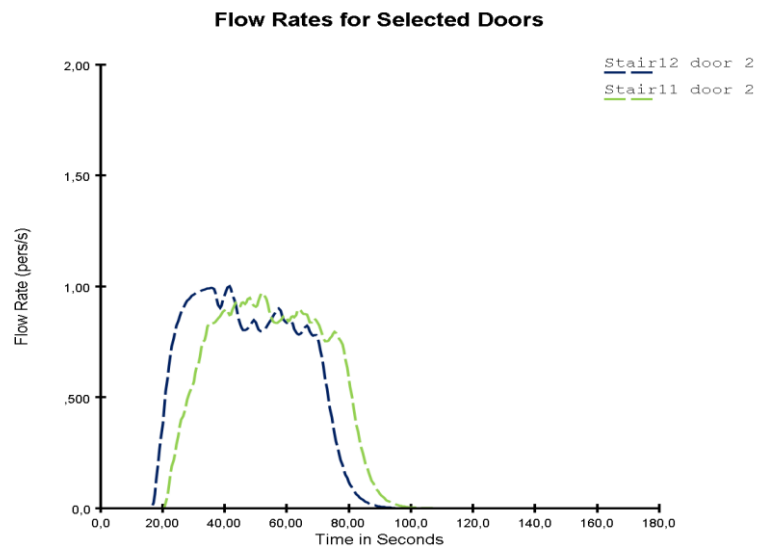


Figura 81 - Fluxo de evacuação nas escadas centrais (Cenário 7)

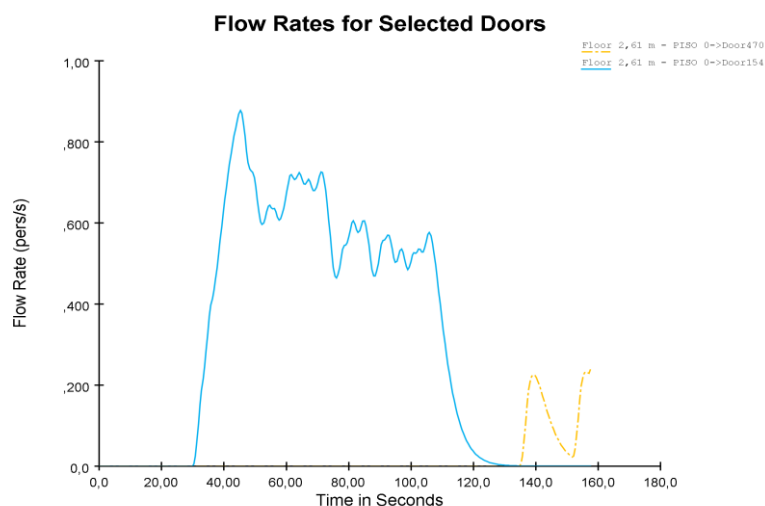


Figura 82 - Fluxo de evacuação pelas portas principais (Cenário 7 - sem elevador)

### 3.4.8. Cenário 8 – Escadas Centrais Bloqueadas (com e sem elevador)

No oitavo cenário, a evacuação do edifício acontece tendo em conta o bloqueio das escadas centrais, como exemplificado na Figura 83. Dado que as escadas centrais são um ponto fulcral no que diz respeito ao processo de evacuação, visto que o elevador é utilizado maioritariamente para evacuar os utentes de cadeira de rodas, foi de extrema importância observar a realização deste processo sem o recurso às mesmas. Deste modo, todos os ocupantes evacuem pela porta mais próxima, dado que todas as saídas de emergência se encontram disponíveis. Tal como em todos os cenários anteriores, a simulação foi realizada segundo o princípio de que os ocupantes usam ou não o elevador como meio de transporta entre pisos para conseguirem evacuar e a velocidade se manteve constante, apesar de diferente consoante o perfil de cada ocupante.

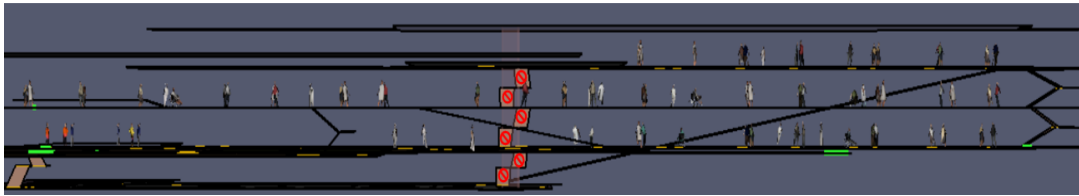


Figura 83 - Escadas centrais bloqueadas - Cenário 8

Na Tabela 13, pode-se verificar os resultados da estratégia de acordo com as variáveis mencionadas previamente.

Tabela 13 - Tempos de Evacuação Cenário 8 – Escadas centrais bloqueadas (Com e sem elevador)

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
Com Elevador	54,7	45,5	173,5
Sem Elevador	57,0	48,6	198,4

Após os resultados obtidos através da simulação realizada no *Pathfinder*, pode-se concluir que o bloqueio das escadas centrais de acesso aos pisos foi prejudicial em ambas as estratégias. Desta forma, uma vez que esta via de passagem era utilizada pela maioria dos ocupantes notou-se, assim, a influência da mesma no que toca ao tempo total de evacuação.

Na verdade, observou-se que neste cenário a estratégia com recurso ao elevador foi mais rápida, aproximadamente, 25 segundos. Posto isto, verifica-se um tempo de evacuação média e distância média percorrida por ocupante com menor expressão do que na estratégia em que não se recorre ao elevador. Não obstante, neste cenário o elevador é utilizado, maioritariamente, pelos utentes que não necessitam de auxílio na sua mobilidade, ou seja, pela demora que os utentes de cadeira de rodas têm em chegar ao ponto onde se encontra o elevador, o mesmo já se encontra em utilidade. Assim, os responsáveis de evacuação optam por evacuar os utentes sem mobilidade pela rampa de acesso ao piso 1, mesmo na estratégia com recurso ao elevador, como demonstrado na Figura 84.

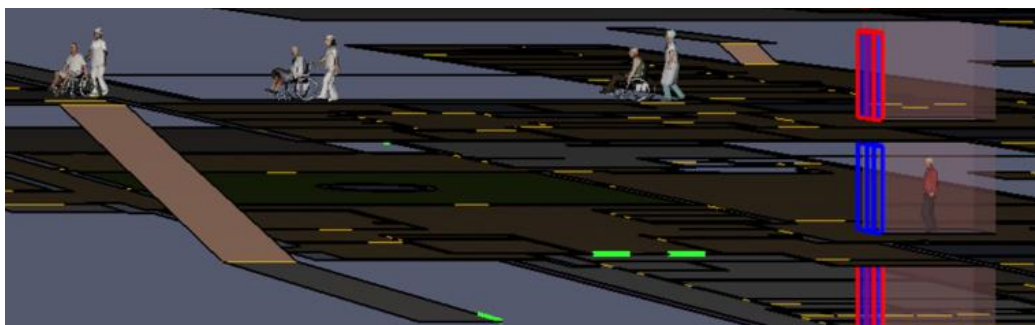


Figura 84 - Utentes de cadeira de rodas evacuam pela rampa (Cenário 8 - Com elevador)

Através da Figura 85, observa-se que, à exceção dos utentes de cadeiras de rodas e respetivos responsáveis, os ocupantes realizam o processo de evacuação na sua totalidade aos 115

segundos. Após esse instante é possível observar o tempo que os utentes demoram a evacuar pela rampa.

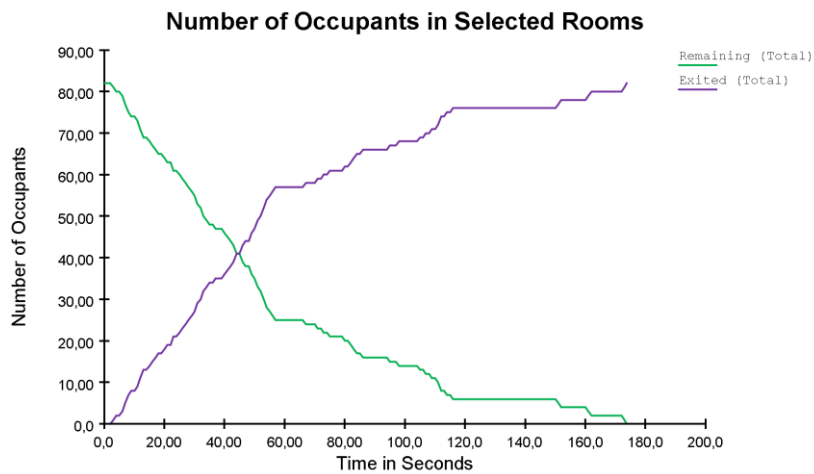


Figura 85 - Evolução dos utentes evacuados com elevador (Cenário 8)

Na Figura 86, é possível concluir que, à exceção dos utentes de cadeiras de rodas e respetivos responsáveis, os restantes ocupantes efetuam a rota até ao exterior do edifício aos 125 segundos. Esta diferença é justificada pelo ponto de congestionamento mais acentuado nesta segunda estratégia.

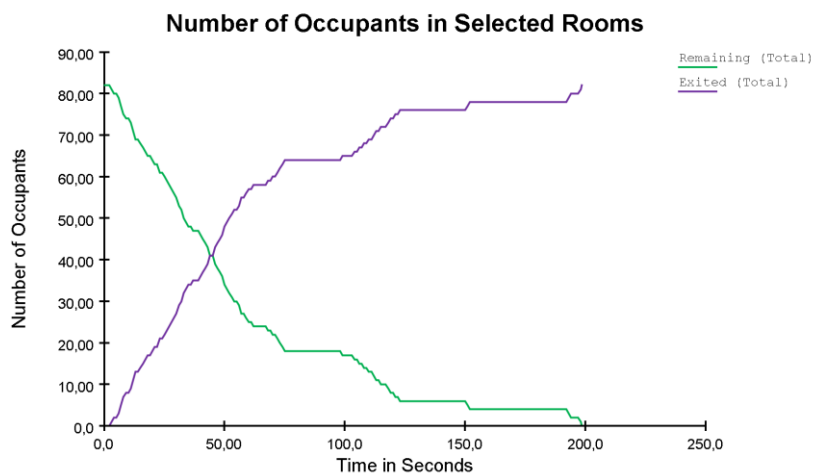


Figura 86 - Evolução dos utentes evacuados sem elevador (Cenário 8)

Como se pode analisar em ambos os gráficos, 50% dos ocupantes evacuam em 45 segundos.

De salientar o ponto de estrangulamento existente neste cenário, aproximadamente, entre os 50 e 100 segundos, tendo em conta as duas variáveis analisadas. Contudo, este acontecimento é visivelmente mais acentuado quando não se utiliza o elevador. Deste modo, o congestionamento acontece devido ao enorme fluxo de movimento na via de passagem central no piso 1. Uma vez que as escadas estão bloqueadas, a maioria dos utentes do piso 1 evacuam diretamente pela saída de emergência sul. Em sentido contrário, os utentes de cadeira de rodas têm obrigatoriedade de evacuarem pela rampa. Assim, existem rotas de evacuação em sentidos

contrários o que leva a um estrangulamento nessa mesma passagem, como é exemplificado pela Figura 87.



Figura 87 - "Bottleneck" na via de passagem central piso 1 (Cenário 8)

Consequentemente, passou a existir maior volume de ocupantes nas escadas de acesso à saída sul, em ambas as estratégias apresentadas, como se comprova pela Figura 88 e Figura 89.

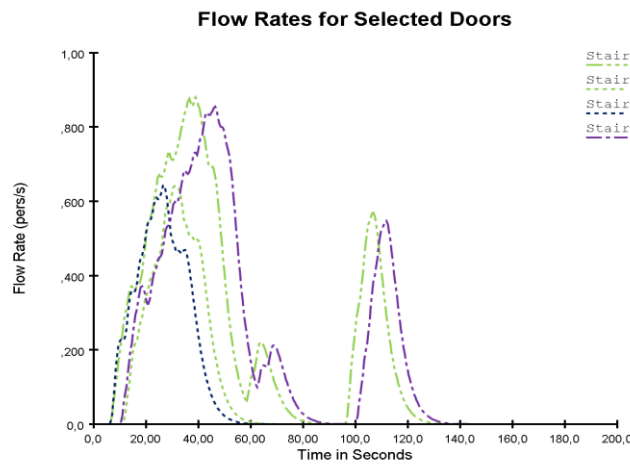


Figura 88 - Fluxo de evacuação nas escadas sul (Cenário 8 - com elevador)

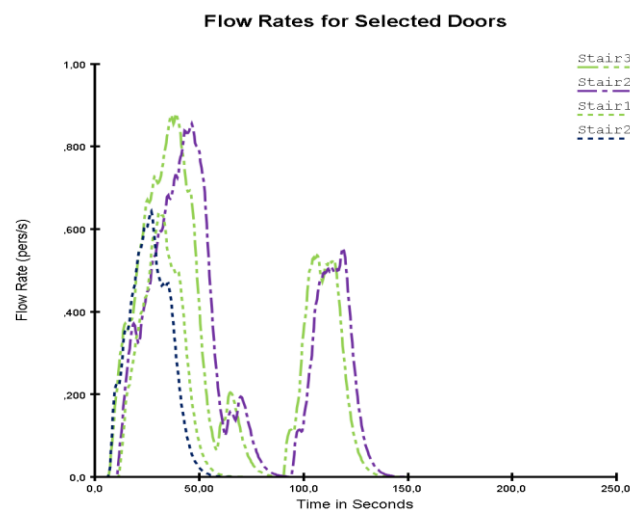


Figura 89 - Fluxo de evacuação nas escadas sul (Cenário 8 - sem elevador)

### 3.4.9. Cenário 9 – Disposição dos Ocupantes no Horário de Refeições

Neste último cenário, em contradição com os restantes não se observou a evacuação tendo em conta se os ocupantes recorreram ou não ao elevador. Este facto deve-se a neste cenário os 82 ocupantes se encontrarem distribuídos na totalidade pelo piso 0. Efetivamente, os ocupantes estão dispersos de acordo como se estivessem em horário de refeições. Assim, a maioria dos ocupantes estão distribuídos pelo refeitório ou sala de estar, como se pode observar na Figura 90. Contudo, visto que os utentes alocados no piso 0 têm menor mobilidade permaneceram nos respetivos quartos durante esse período.



Figura 90 - Disposição dos ocupantes em hora de refeição (Cenário 9)

De salientar que, para as variáveis neste cenário teve-se como foco o bloqueio ou não de todas as saídas de emergência, Figura 91, exceto as portas principais. Incluindo na zona da cozinha as respetivas ocupantes podem evacuar pelas portas situadas nessa divisão, como nos cenários anteriores, ou apenas pela porta principal.



Figura 91 - Todas as portas fechadas, exceto as centrais - Cenário 9

Neste sentido, este cenário teve como objetivo analisar o processo de evacuação, nomeadamente, o tempo médio de evacuação por ocupante, a distância percorrida por ocupante e o tempo total de evacuação. Para tal, todos os ocupantes, como em todos os cenários anteriores, iniciaram a evacuação sem orientação e optaram pela rota de emergência mais curta. Na verdade, a velocidade dos ocupantes manteve-se constante, embora os técnicos e cozinheiras têm velocidade diferente dos idosos em geral, responsáveis de evacuação e dos utentes de cadeira de rodas, com 1,4 e 1,2 m/s, respetivamente.

Na Tabela 14, é possível analisar os resultados do presente cenário com as variáveis mencionadas anteriormente, tendo em conta a utilização de todas as saídas de emergência ou apenas as duas portas centrais. Embora não exista a necessidade de evacuar os utentes de cadeira de rodas pelo elevador, os mesmos requerem de auxílio dos responsáveis de evacuação para concluírem o processo de evacuação de forma eficiente.

Tabela 14 - Tempos de Evacuação Cenário 9 – Disposição em Hora de Refeições Piso 0

Variáveis	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
<b>Todas as portas abertas</b>	25,1	20,3	74,6
<b>Só porta principal aberta</b>	43,7	40,4	84,9

Através dos resultados obtidos, evidencia-se que, como seria de esperar, a existência da variável de todas as portas abertas é efetivamente mais eficaz no que toca ao processo de evacuação. Pode-se observar que o tempo médio de evacuação e a distância percorrida por ocupante é metade do que quando apenas as portas principais estão livres. No entanto, este facto não se reflete no tempo total de evacuação.

Como se pode analisar na Figura 92, o processo de evacuação ocorre num estado quase linear. Assim, apenas se ressalva que na fase final, após os 53 segundos, existe um momento em que, à exceção de todos os restantes ocupantes, fica um utente de cadeiras de rodas e o seu respetivo responsável por evacuar. Posto isto, o tempo que esse último utente demora a se mover, a uma velocidade de 1,2 m/s, define o tempo total de evacuação.

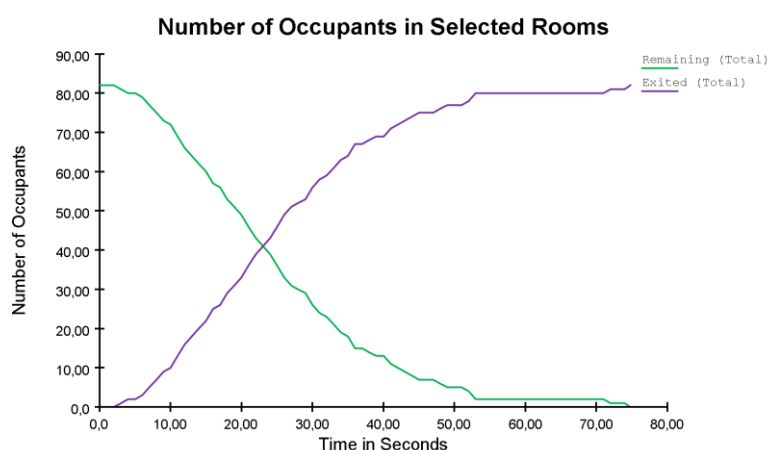


Figura 92 - Evolução dos utentes evacuados com todas as portas abertas (Cenário 9)

De realçar que existe um ponto de estrangulamento entre os 20 e os 40 segundos, no acesso à saída de emergência norte pelo refeitório, como demonstrado na Figura 93. Desta forma, é possível evidenciar que a maioria dos ocupantes evacua por essa mesma porta, enquanto os restantes pelas portas centrais. Por último, os ocupantes alocados nos quartos do piso 0 acabam por evacuar pela saída de emergência localizada na zona sul do edifício.



Figura 93 - "Bottleneck" no acesso à saída de emergência pelo refeitório (Cenário 9 - Todas as portas abertas)

Na Figura 94, é possível analisar que o primeiro ocupante a evacuar só ocorre após 10 segundos. Isto significa que o ocupante mais próximo da porta central demora esse intervalo de tempo a atravessar essa passagem. Na verdade, nesta estratégia, como já mencionado, a distância média percorrida por ocupante é bastante superior, ou seja, quando os ocupantes estão em horas de refeição estão mais próximos da saída de emergência norte.

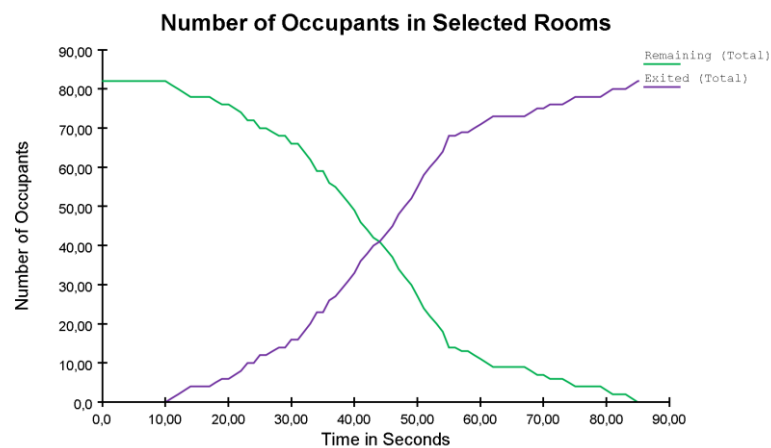


Figura 94 - Evolução dos utentes evacuados com apenas as portas principais abertas (Cenário 9)

À semelhança do que acontece na outra estratégia existe um ponto de estrangulamento, contudo pode-se afirmar que nesta estratégia este acontecimento é mais evidenciado. O congestionamento acontece devido à elevada aglomeração de ocupantes no fluxo de evacuação junto às portas centrais, como ilustrado na Figura 95.



Figura 95 - "Bottleneck" no acesso às saídas de emergências centrais (Cenário 9 - Apenas as portas centrais abertas)

Em suma, analisa-se que devido à elevada distância a que a porta central se encontra do refeitório, o bloqueio, essencialmente, da porta de emergência norte prejudica de forma

evidente o tempo total de evacuação da capacidade máxima do edifício. Na verdade, como é demonstrado nas Figura 92 e Figura 94, o intervalo de tempo que 50% dos ocupantes demoram a concluir o processo de evacuação é de 23 e 44 segundos, respetivamente.

página propositadamente em branco

## 4. Resultados e Discussão

Neste capítulo, o principal objetivo é a apresentação e a discussão de resultados obtidos através dos diversos cenários realizados e abordados anteriormente.

Na verdade, analisou-se que o número e a localização das saídas de emergência, o sentido de evacuação dos ocupantes e o recurso aos elevadores influenciam no tempo de evacuação total. Na Tabela 15, pode-se observar o resumo de todos os resultados obtidos ao longo da simulação computacional da evacuação do lar de idosos.

Tabela 15 - Resumo dos cenários elaborados

Cenário	Uso de elevadores	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)	Redução de tempo sem elevador (s)
1	Sim	45,1	39,9	167,2	-10,3
	Não	47,4	42,4	156,9	
2	Sim	51,6	45,2	174,8	-18,2
	Não	54,0	47,6	156,6	
3	Sim	45,1	39,9	167,2	-10,3
	Não	47,1	42,4	156,9	
4	Sim	52,1	44,4	174,8	-17,0
	Não	53,7	47,0	157,8	
5	Sim	47,5	43,1	167,2	-10,3
	Não	49,8	45,6	156,9	
6	Sim	87,2	80,7	215,6	-57,7
	Não	84,5	81,0	157,9	
7	Sim	69,5	58,6	170,7	-12,8
	Não	70,7	61,1	157,9	
8	Sim	54,7	45,5	173,5	+24,9
	Não	57,0	48,6	198,4	

Através dos resultados apresentados, observa-se que a evacuação sem recorrer ao elevador é vantajosa, sendo em média 13,96 segundos mais rápida do que com a utilização do elevador. Deste modo, como comprovado na maioria dos cenários apresentados foi possível observar que o uso do elevador nas rotas de evacuação tende a prejudicar no que diz respeito ao tempo de evacuação. Este facto acontece devido ao tempo de espera do mesmo e ao aglomerado de ocupantes criado junto às vias de evacuação central. Assim, pode-se analisar que o processo de

evacuação dos utentes de cadeira de rodas alocados no piso 1 pela rampa de acesso ao exterior é favorável. Efetivamente, apesar de maior distância, o tempo que os responsáveis de evacuação demoravam no transporte dos utentes era significativamente menor. Portanto, um elevador com capacidade de transporte de mais do que um utente de cadeira de rodas ou com tempo de espera menor, significaria uma diminuição do principal objetivo a atingir numa evacuação. Porém, no cenário 8 existe uma exceção, o recurso ao elevador torna-se vantajoso devido às escadas centrais junto ao elevador estarem bloqueadas. Posto isto, o aglomerado de ocupantes na zona do elevador é maior, forçando até a evacuação dos utentes de cadeira de rodas a evacuem pela rampa. Assim, pode-se concluir que na via de evacuação central as escadas desempenham um papel preponderante no que diz respeito ao tempo que os ocupantes levam a evacuar até ao exterior na sua totalidade. Dado ao tempo de espera do elevador, observa-se então que as escadas, visto que se encontram à mesma distância, significam uma alternativa de evacuação mais rápida.

É possível afirmar e identificar que os utentes de cadeira de rodas definem o tempo total de evacuação em todos os cenários, como referido anteriormente, por necessitarem de auxílio e, conseqüentemente, a sua velocidade de evacuação ser menor. Dado que os restantes ocupantes completam a evacuação até ao exterior do edifício sempre em tempo menor.

Verifica-se que assim que se desce sucessivamente nos pisos, a influência da restrição na disponibilidade de acessos aumenta. Embora o tempo de evacuação total não sofra alterações significativas, pode-se observar que o tempo médio de evacuação e a distância média percorrida por ocupante tende a aumentar.

Após a análise dos resultados da simulação no *software Pathfinder*, foi possível identificar pontos de congestionamento, principalmente junto às vias de evacuação centrais, nomeadamente, o elevador e as escadas. Nessa mesma zona, existiu elevado conflito entre o fluxo de evacuação dos utentes de cadeira de rodas e os restantes idosos. Este facto revelou-se mais crítico no piso 1, uma vez que o mesmo se define como o piso de maior capacidade de utentes. De acordo com a revisão bibliográfica, através da Portaria 1532/2008, de 29 de dezembro, a largura útil da via de evacuação deve ser adequada a cada edifício. Estas vias de evacuação podem ser medidas na unidade teórica UP (Unidades de passagem). Assim, concluiu-se que o aumento da via de evacuação horizontal nesta zona ou uma via adequada para cadeira de rodas poderia traduzir na mitigação de estrangulamento e otimização do fluxo de evacuação.

Com a análise dos cenários apresentados anteriormente, verifica-se a importância das escadas localizadas na extremidade sul para a evacuação dos utentes localizados nessa ala. Portanto, os utentes alocados na ala sul do edifício evacuam rapidamente numa fase inicial por esse mesmo acesso ao exterior.

Na Tabela 16, apresentam-se os melhores resultados onde o tempo de evacuação total é menor por cenário.

Tabela 16 - Melhores tempos de evacuação total por cenário

Cenário	Uso de Elevadores	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)
1	Não	47,4	42,4	156,9
2	Não	54,0	47,6	156,6
3	Não	47,1	42,4	156,9
4	Não	53,7	47,0	157,8
5	Não	49,8	45,6	156,9
6	Não	84,5	81,0	157,9
7	Não	70,7	61,1	157,9
8	Sim	54,7	45,5	173,5

Em suma, observa-se que a evacuação da capacidade máxima do edifício é de 159,3 segundos, o que significa que a evacuação sem recorrer ao elevador é mais rápida. Todavia, a distância com esta variável é superior na maioria dos casos. Identifica-se também que o bloqueio de acessos tende a ser nevrálgico no que diz respeito a pisos inferiores. Pelo que se observa, no cenário 6 e 7, o bloqueio de acessos do piso 0 significa num aumento tanto da distância média percorrida como no tempo de evacuação por ocupante. Embora o cenário 5 também seja o bloqueio de acessos do piso 0, pode-se observar que as saídas de emergência norte em situação normal não são regularmente utilizadas para evacuação dos utentes. Apenas se verifica a evacuação do setor da cozinha nesse sentido. Através do cenário 8, observa-se o bloqueio da via de evacuação mais utilizada pelos utentes, o que resulta num aumento de aproximadamente 14 segundos em relação à média do tempo de evacuação dos 82 ocupantes. Sendo este o único cenário em que compensa a utilização do elevador, uma vez que as restantes vias de evacuação se encontram mais distanciadas.

Num último cenário, foi simulada a evacuação dos utentes em horário de refeição. Posto isto, como os utentes se distribuíram unicamente pelo piso 0, não foi necessário o recurso ao elevador. Desta forma, analisou-se este cenário disponibilizando todas as saídas de emergência ou apenas as saídas centrais que têm acesso ao ponto de encontro na extremidade sul do edifício. Na Tabela 17, observam-se os resultados obtidos na simulação de evacuação tendo em conta a distribuição dos ocupantes em horário de refeição.

Tabela 17 - Resultados do cenário em horário de refeição

Cenário	Saídas de emergência	Tempo Médio de Evacuação (s)	Distância Média Percorrida (m)	Tempo Total de Evacuação (s)	Redução de tempo (s)
9	Todas abertas	25,1	20,3	74,6	10,3
	Apenas saída principal	43,7	40,4	84,9	

## Resultados e Discussão

Através dos resultados obtidos, conclui-se que em caso de horário de refeição as portas principais se encontram distanciadas do refeitório e sala de estar. Efetivamente, observa-se que o tempo médio de evacuação e distância percorrida por ocupante é duplicado. Na estratégia onde todas as portas se encontram abertas, os utentes localizados no refeitório optam por evacuar pela saída de emergência norte. Este facto não se reflete no tempo de evacuação total, dado a diferença é de 10,3 segundos.

Em conclusão, observa-se que os cenários, na medida em que as saídas de emergência se encontram todas disponíveis, nomeadamente, cenário 1 e 9, o tempo total de evacuação é inferior comparativamente com os restantes. Não obstante, também se pode considerar o cenário 3 como um cenário favorável, visto que se verificaram os mesmos tempos de evacuação do primeiro cenário. Com isto, pode-se concluir que as portas bloqueadas nesse piso não são utilizadas no processo de evacuação. No entanto, apesar de nos cenários 1 e 3, o tempo total de evacuação não seja demasiado significativo em relação aos outros, o que os diferencia com maior relevância, tanto nestes como no 9, é a nível do tempo médio e distância percorrida por ocupante. Assim, é possível aferir os tempos de evacuação total são 156,9 e 74,6 segundos, respetivamente. Todavia, os primeiros cenários têm distribuição dos ocupantes pelo edifício diferente do cenário 9.

## 5. Conclusão

Neste capítulo, são tecidas conclusões sobre a presente dissertação desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, ramo de Gestão Industrial no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

A presente dissertação consistiu no desenvolvimento de um modelo de simulação de evacuação no *software Pathfinder* de um lar de idosos. Este trabalho teve como principal objetivo a análise de diferentes cenários e estratégias de otimização do processo de evacuação do edifício. Neste sentido, são abordados os principais contributos e valor acrescentado para a Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel. Posteriormente, são apresentadas as dificuldades encontradas ao longo deste trabalho, bem como trabalhos futuros a realizar.

### 5.1. Conclusões Finais e Principais Contributos

A presente dissertação permitiu a elaboração de um modelo computacional do edifício da Estrutura Residencial para Pessoas Idosas e analisar cenários e estratégias distintas ao longo do processo de evacuação. Efetivamente, este estudo teve como objetivo a otimização deste mesmo processo, determinando a estratégia que permite diminuir o tempo total de evacuação. Assim, o projeto desenvolvido permitiu:

- Analisar e averiguar o impacto do recurso ao elevador no tempo total de evacuação ao longo do processo;
- Identificar que as escadas de acesso aos pisos centrais são o principal ponto de estrangulamento do edifício;
- Analisar que o impacto do bloqueio de saídas de emergência em pisos inferiores é mais significativo devido à mobilidade reduzida dos ocupantes;
- Averiguar que a largura de passagem na zona central não é adequada, visto que existe bastante conflito no fluxo de movimentação entre os utentes de cadeira de rodas e os restantes, resultando em congestionamento nessa zona;
- Observar que a rampa de acesso ao piso 1 é fulcral para uma evacuação mais rápida e eficaz;
- Analisar que em horário de refeição a saída de emergência norte é evidentemente mais utilizada, visto que se encontra mais próxima;

## Conclusão

- Identificar que a saída de emergência sul permite uma evacuação mais rápida na fase inicial aos utentes que se encontram nessa ala;
- Analisar que o bloqueio de acessos norte ou sul tem menor impacto em pisos superiores;
- Permitiu a elaboração de uma ferramenta didática da demonstração do processo de evacuação de um lar de idosos.

## 5.2. Valor acrescentado para a ERPI Rainha Santa Isabel

A elaboração da presente dissertação permitiu dar conhecimento das diversas estratégias de evacuação à Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel. O desenvolvimento do edifício num *software* de simulação permitiu identificar pontos críticos e o respetivo impacto na evacuação da capacidade máxima do edifício, designadamente, 82 ocupantes.

Na verdade, a utilização do *Pathfinder* em lares de idosos ainda não tem uma presença ampla, pelo que este projeto poderá ser uma maior valia para o futuro desta tipologia de edifícios, uma vez que, neste tipo de estruturas os ocupantes podem apresentar grande nível de dependência. Deste modo, a otimização do processo de evacuação traduz-se numa maior segurança para todos os ocupantes num espaço onde a velocidade de evacuação é bastante reduzida na grande maioria.

## 5.3. Dificuldades Encontradas

A principal dificuldade encontrada ao longo do desenvolvimento deste projeto foi a aprendizagem e utilização de um novo *software*, designadamente, o *Pathfinder*. Na verdade, o tempo de aprendizagem das funcionalidades necessárias para conceber o modelo do edifício teve um impacto bastante significativo neste projeto, de forma a efetuar de maneira mais realista possível.

## 5.4. Limitações e Trabalhos Futuros

A existência de elevada possibilidade de diversas combinações de variáveis de simulação permite aprofundar este tema e extrapolar limitações existentes. Desta forma, a simulação é um pilar da Indústria 4.0 em constante crescimento e inovação. Portanto, são descritas abaixo possíveis formas de otimização do projeto desenvolvido:

- Interligação entre os *softwares Pathfinder* e o *Pyrosim* podendo, assim, proceder à simulação em situações de incêndio e analisar os resultados comportamentais dos utentes;
- Analisar o impacto no tempo total de evacuação caso este fosse realizado com orientação dos ocupantes;

- Analisar o impacto da alteração de velocidade dos ocupantes ao longo do processo de evacuação;
- Simular e observar o impacto no tempo total de evacuação o tempo de espera antes de atravessar a porta, de modo a obter resultados realistas quando se necessita de chave para que a porta seja aberta;
- Simular o impacto do desenvolvimento de uma via exclusivamente para o uso de cadeira de rodas.

## Conclusão

página propositadamente em branco

## Referências

- Abir, I. M., Mohd Ibrahim, A., Toha, S. F., & Shafie, A. A. (2022). A review on the hospital evacuation simulation models. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 77). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103083>
- Alam, M. J., Habib, M. A., & Husk, D. (2022). Evacuation planning for persons with mobility needs: A combined optimization and traffic microsimulation modelling approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103164>
- Alonso-Gutierrez, V., & Ronchi, E. (2016). The simulation of assisted evacuation in hospitals. In *Fire and Evacuation Modelling Technical Conference, FEMTC*.
- Bako, B., & Božek, P. (2016). Trends in simulation and planning of manufacturing companies. *Procedia Engineering*, 149, 571–575. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.707>
- Banks, J. (1998). Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. *John Wiley & Sons*.
- Barjis, J. (2008). The importance of business process modeling in software systems design. *Science of Computer Programming*, 71(1), 73–87. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2008.01.002>
- Bish, D. R., Tarhini, H., Amara, R., Zoraster, R., Bosson, N., & Gausche-Hill, M. (2017). Modeling to Optimize Hospital Evacuation Planning in EMS Systems. *Prehospital Emergency Care*, 21(4), 503–510. <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1302531>
- Boonngam, H., & Patvichaichod, S. (2020). Fire evacuation and patient assistance simulation in a large hospital building. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 715(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/715/1/012004>
- Bossel, H. (2018). Modeling and Simulation. In *AK Peters/CRC Press*.
- Brown, L. M., Dosa, D. M., Thomas, K., Hyer, K., Feng, Z., & Mor, V. (2012). The effects of evacuation on nursing home residents with dementia. *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias*, 27(6), 406–412. <https://doi.org/10.1177/1533317512454709>
- Carpenter, C. R., Southerland, L. T., Lucey, B. P., & Prusaczyk, B. (2022). Geriatric Research Principles: Implementation Science Challenges and Opportunities for Aging Adults with “StaRI-65.” In *Journal of the American Geriatrics Society* (Vol. 70, Issue 12, pp. 3620–3630). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jgs.17993>
- Carson, J. S. (2005). INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 1–8.
- CFPA Europe. (2009). *Fire safety engineering concerning evacuation from buildings*. [www.cfpa-e.eu](http://www.cfpa-e.eu)
- CFPA Europe. (2011). *Fire safety in care homes for the elderly*. [www.cfpa-e.eu](http://www.cfpa-e.eu)
- CFPA Europe. (2023). *Fire safety engineering concerning evacuation from buildings*. [www.cfpa-e.eu](http://www.cfpa-e.eu)
- Chen, S., Fu, H., Qiao, Y., & Wu, N. Q. (2022). Route Choice Behavior Modeling for Emergency Evacuation and Efficiency Analysis Based on Type-II Fuzzy Theory. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 6934–6949. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3064085>
- Chen, W., Guinet, A., & Ruiz, A. (2015). Modeling and simulation of a hospital evacuation before a forecasted flood. *Operations Research for Health Care*, 4, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.02.001>

## Referências

- Childers, A. K., Visagamurthy, G., & Taaffe, K. (2009). Prioritizing patients for evacuation from a health-care facility. *Transportation Research Record*, 2137, 38–45. <https://doi.org/10.3141/2137-05>
- Chu, G., Sun, J., Wang, Q., & Chen, S. (2006). Simulation study on the effect of pre-evacuation time and exit width on evacuation. *Chinese Science Bulletin*, 51(11), 1381–1388. <https://doi.org/10.1007/s11434-006-1381-0>
- Cope, D. G. (2015). Case Study Research Methodology in Nursing Research. *Oncology Nursing Forum*, 42(6), 681–682.
- Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The case study approach. *BMC Medical Research Methodology*, 11. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100>
- Depari, A., Flammini, A., Fogli, D., & Magrino, P. (2018). Indoor localization for evacuation management in emergency scenarios. In *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Divya, K. L., Mhatre, P. H., Venkatasalam, E. P., & Sudha, R. (2021). Crop Simulation Models as Decision-Supporting Tools for Sustainable Potato Production: a Review. In *Potato Research* (Vol. 64, Issue 3, pp. 387–419). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09483-9>
- Dragović, B., Tzannatos, E., & Park, N. K. (2017). Simulation modelling in ports and container terminals: literature overview and analysis by research field, application area and tool. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29(1), 4–34. <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9239-5>
- Dulebenets, M. A., Abioye, O. F., Ozguven, E. E., Moses, R., Boot, W. R., & Sando, T. (2019). Development of statistical models for improving efficiency of emergency evacuation in areas with vulnerable population. *Reliability Engineering and System Safety*, 182, 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.res.2018.09.021>
- Erboz, G. (2017). How to Define Industry 4.0: The Main Pillars Of Industry 4.0. *Faculty of Economics and Social Sciences, Business and Management*, 761–767.
- ERPI. (2024). *Estrutura Residencial para Pessoas Idosas Rainha Santa Isabel*. <https://scmmarco.com/erpi-rainha-santa-isabel/>
- Ferreira, L. P., Ares, E., Peláez, G., Resano, A., Luis, C. J., & Tjahjono, B. (2012). Simulation of a closed-loops assembly line. *Key Engineering Materials*, 502, 127–132. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.502.127>
- Folk, L., Gonzales, K., Gales, J., Kinsey, M., Carattin, E., & Young, T. (2020). Emergency egress for the elderly in care home fire situations. *Fire and Materials*, 44(4), 585–606. <https://doi.org/10.1002/fam.2820>
- Folk, L., Kinsey, M., & Gales, J. (2016). Evacuation Simulation of the Elderly: Data Collection and Model Validation. *Proceedings of the 8th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 100. <https://www.researchgate.net/publication/309388786>
- Forsberg, 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>
- Fu, L., Cao, S., Song, W., & Fang, J. (2019). The influence of emergency signage on building evacuation behavior: An experimental study. *Fire and Materials*, 43(1), 22–33. <https://doi.org/10.1002/fam.2665>
- Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0 - The Industrial Internet of Things. *Apress*, 195–225. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4>
- Golmohammadi, D., & Shimshak, D. (2011). Estimation of the evacuation time in an emergency situation in hospitals. *Computers and Industrial Engineering*, 61(4), 1256–1267. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.07.018>

- Golshani, N., Shabanpour, R., Mohammadian, A., Auld, J., & Ley, H. (2019). Evacuation decision behavior for no-notice emergency events. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 364–377. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.025>
- Grikštaitė, J. (2008). Business process modelling and simulation: advantages and disadvantages. *Global Academic Society Journal: Social Science Insight*, 1(3), 4–14. [www.ScholarArticles.net](http://www.ScholarArticles.net)
- Haghpanah, F., Ghobadi, K., & Schafer, B. W. (2021). Multi-hazard hospital evacuation planning during disease outbreaks using agent-based modeling. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102632>
- Han, L. D., Yuan, F., & Li, T. U. (2007). What Is an Effective Evacuation Operation? *Journal of Urban Planning and Development*. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-94882007133:13>
- Han, T., Huang, Q., Zhang, A., & Zhang, Q. (2018). Simulation-based decision support tools in the early design stages of a green building-A review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su10103696>
- Heale, R., & Twycross, A. (2018). What is a case study? *Evidence Based Nursing*, 21(1), 7–8. <https://doi.org/10.1136/eb-2017-102845>
- Hsu, Y. T., & Peeta, S. (2015). Clearance Time Estimation for Incorporating Evacuation Risk in Routing Strategies for Evacuation Operations. *Networks and Spatial Economics*, 15(3), 743–764. <https://doi.org/10.1007/s11067-013-9195-5>
- Hulida, E., Pasnak, I., Koval, O., & Tryhuba, A. (2019). Determination of the critical time of fire in the building and ensure successful evacuation of people. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1), 308–316. <https://doi.org/10.3311/PPci.12760>
- Ibrahim, A., Asmawaty Abdul Kadir, T., & Kamaludin, A. (2020). Industry 4.0: Eyeing the Future via Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 769(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/769/1/012001>
- Ingalls, R. G. (2011). Introduction to simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference (WSC)*, 1374–1388.
- Jiang, Z. M., Zhang, P. H., Shang, R. X., & Tian, X. L. (2014). Investigation and simulation on human evacuation behaviour in large hospital building in Shenyang. *Procedia Engineering*, 71, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.014>
- Johnson, C. W. (2006). Using Computer Simulations to Support A Risk-Based Approach For Hospital Evacuation. *Department of Computing Science Briefing*. <http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson>
- Kane, R. L., Rockwood, T., Hyer, K., Desjardins, K., Brassard, A., Gessert, C., & Kane, R. (2005). Rating the importance of nursing home residents' quality of life. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(12), 2076–2082. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.00493.x>
- Kassem, A., Al-Haddad, K., & Komljenovic, D. (2017). Concentrated solar thermal power in Saudi Arabia: Definition and simulation of alternative scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 75–91. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.157>
- Kotzias, K., Bukhsh, F. A., Arachchige, J. J., Daneva, M., & Abhishta, A. (2023). Industry 4.0 and healthcare: Context, applications, benefits and challenges. In *IET Software* (Vol. 17, Issue 3, pp. 195–248). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1049/sfw2.12074>
- Kumar, A., Krishnamurthi, R., Nayyar, A., Sharma, K., Grover, V., & Hossain, E. (2020). A Novel Smart Healthcare Design, Simulation, and Implementation Using Healthcare 4.0 Processes. *IEEE Access*, 8, 118433–118471. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004790>
- Li, J., Wang, J., Jin, B., Wang, Y., Zhi, Y., & Wang, Z. (2020). Evacuation of Nursing Home Based on Massmotion: Effect of the Distribution of Dependent Elderly. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(4), 1330–1337. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1374-6>

## Referências

- Lin, C. S., & Wu, M. E. (2018). A study of evaluating an evacuation time. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(4). <https://doi.org/10.1177/1687814018772424>
- Liu, H., Chen, H., Hong, R., Liu, H., & You, W. (2020). Mapping knowledge structure and research trends of emergency evacuation studies. *Safety Science*, 121, 348–361. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.020>
- Lovreglio, R., Kuligowski, E., Gwynne, S., & Boyce, K. (2019). A pre-evacuation database for use in egress simulations. *Fire Safety Journal*, 105, 107–128. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.009>
- Lúcia Lourenço, A., Santos Batista, J., & Alves de Oliveira, P. (2012). *Emergency evacuation exercises in a Non-Governmental Organization of Social Solidarity with 4 areas of activity*. 187–189. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2012.07.010>
- Melouk, S. H., Freeman, N. K., Miller, D., & Dunning, M. (2013). Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 269–276. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.001>
- Mikulik, J., Cempel, W. A., Kracik, S., & Dąbal, D. (2014). A simulation model for emergency evacuation time and low-cost improvements of a hospital facility using FlexSim healthcare: A case study. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 230, 333–342. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39881-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39881-0_28)
- Mirahadi, F., McCabe, B., & Shahi, A. (2019). IFC-centric performance-based evaluation of building evacuations using fire dynamics simulation and agent-based modeling. *Automation in Construction*, 101, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.007>
- Moretto, N., Comans, T. A., Chang, A. T., O’Leary, S. P., Osborne, S., Carter, H. E., Smith, D., Cavanagh, T., Blond, D., & Raymer, M. (2019). Implementation of simulation modelling to improve service planning in specialist orthopaedic and neurosurgical outpatient services. *Implementation Science*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s13012-019-0923-1>
- Mu, N., Song, W. G., Qi, X. X., Lu, W., & Cao, S. C. (2014). Simulation of evacuation in a twin bore tunnel: Analysis of evacuation time and egress selection. *Procedia Engineering*, 71, 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.048>
- Nepomuceno, T. C. C., Silva, W. M. N., Nepomuceno, K. T. C., & Barros, I. K. F. (2020). A DEA-Based Complexity of Needs Approach for Hospital Beds Evacuation during the COVID-19 Outbreak. *Journal of Healthcare Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2020/8857553>
- Njie, B., & Asimiran, S. (2014). Case Study as a Choice in Qualitative Methodology. *Journal of Research & Method in Education*, 4(3), 35–40.
- Ordu, M., Demir, E., Tofallis, C., & Gunal, M. M. (2021). A novel healthcare resource allocation decision support tool: A forecasting-simulation-optimization approach. *Journal of the Operational Research Society*, 72(3), 485–500. <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1700186>
- Perry, R. W. (2007). Incentives for evacuation in natural disaster: Research based community emergency planning. *Journal of the American Planning Association*, 45(4), 440–447. <https://doi.org/10.1080/01944367908976988>
- Pinheiro, J. (2012). *Medidas de Autoproteção de Segurança Contra Incêndio em Edifícios. Autoridade Nacional de Proteção Cível*.
- Pita, P., Sara, B., Machado, R., De, J., & Simões, A. (2011). Health Systems in Transition. In *Portugal Health system review* (Vol. 13, Issue 4).
- Qin, J., Liu, C., & Huang, Q. (2020). Simulation on fire emergency evacuation in special subway station based on Pathfinder. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100677>
- Rahouti, A., Lovreglio, R., Gwynne, S., Jackson, P., Datoussaïd, S., & Hunt, A. (2020). Human behaviour during a healthcare facility evacuation drills: Investigation of pre-evacuation and travel phases. *Safety Science*, 129. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104754>

- Retuerta-Martínez, L. B., Pérez-García, S., Gallego-García, S., & García-García, M. (2022). Design and Implementation of Adaptable Self-Protection Plans for Public Buildings: A Nursing Home Case in Spain. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/app12126161>
- Ronchi, E., Corbetta, A., Galea, E. R., Kinateder, M., Kuligowski, E., McGrath, D., Pel, A., Shiban, Y., Thompson, P., & Toschi, F. (2019). New approaches to evacuation modelling for fire safety engineering applications. *Fire Safety Journal*, 106, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.05.002>
- Şahin, C., Rokne, J., & Alhadj, R. (2019). Human behavior modeling for simulating evacuation of buildings during emergencies. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 528. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121432>
- Sharma, S., Ogunlana, K., Scribner, D., & Grynovicki, J. (2018). Modeling human behavior during emergency evacuation using intelligent agents: A multi-agent simulation approach. *Information Systems Frontiers*, 20(4), 741–757. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9791-x>
- Su, B., Kwak, J., Pourghaderi, A. R., Lees, M. H., Tan, K. B. K., Loo, S. Y., Chua, I. S. Y., Quah, J. L. J., Cai, W., & Ong, M. E. H. (2021). A Model-based Analysis of Evacuation Strategies in Hospital Emergency Departments. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 2021-December*. <https://doi.org/10.1109/WSC52266.2021.9715522>
- Tanuwidjaja, G., Lisandra, F., Magdalena, A., Negara, J. M., & Hayati, A. (2018). Service Learning on Inclusive Design: Adaptive Home for Wheelchair-Using Persons with Disabilities. *SHS Web of Conferences*, 59, 01012. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20185901012>
- Tayfur, E., & Taaffe, K. (2009). A model for allocating resources during hospital evacuations. *Computers and Industrial Engineering*, 57(4), 1313–1323. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.06.013>
- Taylor, R., & Thomas-Gregory, A. (2015). Case study research. *Nursing Standard*, 41(29), 36–40.
- Thornton, C., O’Konski, R., Hardeman, B., & Swenson, D. (2011). Pathfinder: An Agent-Based Egress Simulator. In *Pedestrian and Evacuation Dynamics* (pp. 889–892). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8\\_94](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9725-8_94)
- Thunderhead Engineering. (2023). *Pathfinder - Technical Reference Manual*.
- Wang, D., Wan, K., & Ma, W. (2020). Emergency decision-making model of environmental emergencies based on case-based reasoning method. *Journal of Environmental Management*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110382>
- Wang, L., Xiang, Z., Chen, Y., Li, D., & Wang, J. (2022). Simulation and Optimization of Emergency Evacuation of Huoshenshan Hospital Based on BIM and Pathfinder. *SHS Web of Conferences*, 151, 01004. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202215101004>
- Willuweit, L., & O’Sullivan, J. J. (2013). A decision support tool for sustainable planning of urban water systems: Presenting the dynamic urban water simulation model. *Water Research*, 47(20), 7206–7220. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.060>
- Yakhou, N., Thompson, P., Siddiqui, A., Abualdenien, J., & Ronchi, E. (2023). The integration of building information modelling and fire evacuation models. *Journal of Building Engineering*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105557>
- Yazdani, M., Mojtahedi, M., Loosemore, M., & Sanderson, D. (2022). A modelling framework to design an evacuation support system for healthcare infrastructures in response to major flood events. *Progress in Disaster Science*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100218>
- Yuan, F., & Han, L. D. (2009). Improving evacuation planning with sensible measure of effectiveness choices. *Transportation Research Record*, 2137, 54–62. <https://doi.org/10.3141/2137-07>

## Referências

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102354>
- Zhang, H., & Long, H. C. (2021). Simulation of Evacuation in Crowded Places Based on BIM and Pathfinder. *Journal of Physics: Conference Series*, 1880(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1880/1/012010>
- Zhang, H., Miao, Z. H., Lv, H. N., & Leng, Z. L. (2022). Evacuation Simulation of Large Theater Based on Pyrosim and Pathfinder. *Journal of Physics: Conference Series*, 2289(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2289/1/012017>
- Zhang, W., & Yao, Z. (2010). A Reformed Lattice Gas Model and Its Application in the Simulation of Evacuation in Hospital Fire. In *Institute of Systems Engineering*.
- Zheng, P., wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. In *Frontiers of Mechanical Engineering* (Vol. 13, Issue 2, pp. 137–150). Higher Education Press. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- Zou, B., Lu, C., & Li, Y. (2020). Simulation of a hospital evacuation including wheelchairs based on modified cellular automata. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102018>

## **Declaração de Integridade**

### 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. ISEP,

NOME: Diogo António da Silva Cardoso

Porto, 14 de junho de 2024

